



Nyugat-magyarországi Egyetem



Kosztka Miklós, Markó Gergely,
Péterfalvi József, Primusz Péter

Erdészeti utak tervezése, építése, fenntartása

ISBN 978-963-334-162-9

Műszaki metaadatbázis alapú fenntartható
e-learning és tudástár létrehozása

TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0067



A projekt az Európai Unió támogatásával,
az Európai Szociális Alap
társfinanszírozásával valósul meg.

A pályázat keretein belül létrehoztunk egy speciális, felhő alapú adatbázist, tudásfelhő néven, ami egymástól függetlenül is értelmes tudásmorzsákból építkezik. Ezekből az elemi építőkövekből lehet felépíteni egy-egy órai tananyagot, vagy akár egy tantárgy teljes jegyzetét. A létrejött tananyagokat a program online „fordítja” le egy adott eszközre, így a tananyagok optimálisan tudnak megjelenni a diákok okostelefonján, vagy akár egy nagy előadó kivetítőjén is. A projektben résztvevő oktatók a saját maguk által fejlesztett, létrehozott tananyagokat feltöltötték a felhő alapú adatbázisba. A felhasznált anyagok minden eleme mindig magával viszi az eredetileg megadott metaadatokat (pl. fénykép készítője), így a felhasználás során a hivatkozás automatikussá válik.

Ma nagyon sok oktatási kísérlet zajlik a világban, de még nem látszik pontosan, hogy a „fordított osztály” (flipped classroom) vagy a MOOC (massive open online courses) nyílt videó anyagai jelentik a járható utat. Az azonban mindenki számára világos, hogy változtatni kell a megszokott módszereken. A kidolgozott tudásfelhő keretrendszer egyszerre képes kezelni az egyéni tanulási utakat, de akár ki tud szolgálni több ezer hallgatót is egyszerre.

Minden oktató a saját belátása szerint tudja alkalmazni, használni, alakítani az adatbázisát, valamint szabadon használhatja a mások által feltöltött tananyag elemeket anélkül, hogy a hivatkozásra külön hangsúlyt kellene fektetnie. Az egyes elemekből összeállított „jegyzetek” akár személyre szabhatók, ha pontosan behatárolható a célcsoport tudásszintje.

Az elkészült tananyagok nem statikus, nyomtatott (PDF) jegyzetek, hanem egy állandóan változó, változtatható képekből, videókból és 3D modellekből felépített dinamikus rendszer. Az oktatók az ipar által megkövetelt legmodernebb technológiákat naprakészen tudják beépíteni a tudásfelhőben tárolt dinamikus „jegyzeteikbe” anélkül, hogy új „PDF” jegyzetet kellene kiadni. Ez az online rendszer biztosítja a tananyagoknak és magának az oktatásnak a fenntarthatóságát is.

A dinamikus, metaadat struktúrára épülő tananyagainknak ebben a jegyzetben, csak egy pillanatfelvétele, lenyomata tud megjelenni. A videóknak, az interaktív és 3D struktúráknak, valamint a frissülő tartalmaknak a megjelenítésére így nincsen lehetőségünk.

Az e-learning nem feleslegessé teszi a tanárokat, hanem lehetővé teszi számukra, hogy úgy foglalkozhassanak a diákjaikkal, ahogy a mai, felgyorsult világ megköveteli.

TARTALOMJEGYZÉK

ERDŐFELTÁRÁSRÓL ÁLTALÁBAN	2
ERDÉSZETI FELTÁRÓHÁLÓZATOK TERVEZÉSE.....	12
ÚTPÁLYA ÉS AZ ÚTPÁLYÁRA HATÓ ERŐK	21
GÉPJÁRMŰ-ELLENÁLLÁSOK ÉS A VONÓERŐ	27
FÉKEZÉSEK ÉS ELŐZÉSEK.....	34
GÉPJÁRMŰVEK HALADÁSA ÍVEKBEN.....	43
FORGALOM ÉS KIÉPÍTÉS KAPCSOLATA	54
KERESZTMETSZET FORGALMI ÉS GEOMETRIAI TERVEZÉSE	57
ÚTKERESZTSZELVÉNYEK RÉSZLETEI	60
ÚTTARTOZÉKOK ÉS ÚTBURKOLATI JELEK	66
VÍZSZINTES VONALVEZETÉS.....	71
MAGASSÁGI VONALVEZETÉS.....	79
BURKOLATSZÉLEK VONALVEZETÉSE TÚLEMELÉS-KIFUTTATÁSNÁL.....	86
BURKOLATSZÉLEK VONALVEZETÉSE PÁLYASZÉLESÍTÉSÉNél.....	92
LÁTÓTÁVOLSÁG BIZTOSÍTÁSA, ÉS ELLENŐRZÉSE A VONALVEZETÉS TERVEZÉSEKOR	105
TÉRBELI VONALVEZETÉS.....	109
VÍZSZINTES TENGELYSZÁMÍTÁS ÉS KITŰZÉS	116
MAGASSÁGI TENGELYSZÁMÍTÁS.....	129
CSEMÓPONTOK TERVEZÉSE	133
ÜZEMI LÉTESÍTMÉNYEK.....	142
KISZÁLLÍTÓUTAK TERVEZÉSE	149
KISZÁLLÍTÓUTAK MŰSZAKI JELLEMZŐI ÉS KIALAKÍTÁSUK.....	149
TERVMŰVELETEK JELLEGE ÉS TARTALMA	153
ERDÉSZETI UTAK NYOMOZÁSÁNAK SZEMPONTJAI.....	160
SEMLEGES VONAL ALKALMAZÁSA AZ ÚTTERVEZÉSBEN	165
NYOMJELZÉSI MÓDSZEREK	175
ÉPÍTÉSI TERV KÉSZÍTÉSE.....	190
TERVEZÉST TÁMOGATÓ SZOFTVEREK.....	205
ERDÉSZETI UTAK KORSZERŰ TERVEZÉSE	221

ERDŐFELTÁRÁS

ERDŐFELTÁRÁSRÓL ÁLTALÁBAN

Az erdőfeltárás fogalomköre

Az erdőfeltárás az erdő behálózása a természetközeli, többcélú erdőgazdálkodás céljait szolgáló közlekedési és anyagmozgatási pályákkal. Ide soroljuk mindazokat a

- szállítópályákat,
- eszközöket,
- berendezéseket,
- tevékenységeket,

amelyek azt a célt szolgálják, hogy az erdő egyes részei megközelíthetők legyenek, úgy hogy a talaj, a faállomány és a táj a lehető legkisebb mértékben károsodjon.

Feltártság Magyarországon

A magyar feltáróhálózat hossza 9144 km (2006):

- Feltáróút: 2669 km
- Kiszállítóút: 4175 km
- Vasút: 340 km
- Egyéb utak: 1800 km
- Vízi út: 160 km

Erdőterület domb- és hegyvidéken: 950.000 ha

Teljes erdőterület: 1.800.000 ha

Feltártság: domb és hegyvidéki erdőterületen: 9,63 fm/ha, teljes erdőterületre: 5,08 fm/ha

Erdészeti úthálózat 2006-ban

Útosztályok	Utak összes hossza	Utak nyilvántartott értéke összesen
	km	ezer Ft
Mind összesen	6 843,7	6 294 524
Feltáró utak	2 669,0	5 050 144
I. o. feltáró utak	279,4	542 153
II. o. feltáró utak	2 389,6	4 507 991
Kiszállító utak	4 174,7	1 244 380

Feltártsági mutató 2006-ban

Útsűrűség útosztályok szerint	Feltártsági mutató fm/ha
Feltáró utak	2,81
Kiszállító utak	4,39
Összes nyilvántartott út	7,20

Feltártság Ausztriában:

- Államerdészetnél: 30-40 fm/ha
- Nagy magánbirtokon: 40-50 fm/ha
- Kis magánbirtokon: 50-60 fm/ha

Értelmezése: csak erdészeti utak, vonatkoztatási alap a teljes erdőterület.

Az erdőfeltárás történetének főbb fejezetei

Keskeny nyomközű erdei vasútvonalak:

- 1875-ben építették az első keskeny nyomközű erdei vasútvonalat;
- Az erdei vasutak fejlesztésének intenzív szakasza 1925-ig tartott;
- 1945-ig csak kisebb bővítések történtek;
- A korszak végére az erdei vasúthálózatunk: 656 km.

Erdészeti útépitések:

- Az erdészeti útépités 1920-ban indult meg. 1945-ig 204 km burkolt utat és 644 km földutat építettek.
- Az erdészeti útépités első szakasza: 1947-1957 gerincutak épültek meg, főként makadám pályaszerkezetekkel.
- Az erdészeti útépités második szakasz: 1957-től 1990-es évek elejéig.
 - Cornides György vezetésével kidolgozták a feltáráshálózatok tervezésének alapelveit. Alaptervek
 - Az útburkolatok építésénél áttértek a kötőanyag felhasználására.
- Legújabb időszak 1990-es évek elejétől számítható.

Az erdőfeltárás és a rendszerváltás

Hazánkban az erdőfeltárás az 1980-as évektől kezdődően a társadalmi kritikák elmarasztaló keresztüzébe került. A társadalom két táborra oszlott, amelynek egyike az erdőfeltárásban kereste minden baj forrását, illetve egy másikra, amely minden gond megoldását az erdőfeltárástól várta. Ezek a konfliktusok a rendszerváltás első éveiben annyira felerősödtek, hogy a teljes erdőfeltárás és az erdészeti útépités ügye mélypontra zuhant, gyakorlatilag megszűnt.

1995-től ismételt fellendülés:

- Támogatások megindulása
- Reorganizációs támogatások
- Új jogszabályok: erdőtörvény

Elsőfokú építési hatóság: korábban ÁESz, jelenleg megyei kormányhivatal erdészeti igazgatósága.

Az erdőfeltárás helye az erdőgazdálkodásban

Az erdőgazdálkodás az a nemzetgazdasági ágazat, amely lehetővé teszi az erdő javainak hasznosítását a társadalom számára. Az erdővel szemben a társadalom hármaskövetelményt támaszt:

- fedezze szükségleteit,
- hajtson közgazdasági hasznot,
- az erdő folyamatosan maradjon fenn.

Az erdőgazdálkodással az előbbi igényeket kell kielégíteni, ami a gazdálkodó szintjén

- a szükségletfedezés
- a gazdaságosság
- a tartamosság

követelményének formájában jelenik meg.

A társadalom szükségletei különböző formában jelennek meg. A gazdálkodó szintjén az erdőgazdálkodás tevékenységi körében ezek:

- alapanyagtermelés,
- közjóléti feladatok teljesítése,
- erdővédelmi és védő feladatok ellátása.

A szükségletfedezés érdekében tehát többcélú erdőgazdálkodást kell folytatni a természetközeli, többcélú erdőgazdálkodás elveinek betartásával, figyelembe véve a tulajdonosi érdekeket is.

A gazdaságos és nyereséges működés egy általános gazdálkodási alapelve, amelynek mértékét mindig a tulajdonosnak és a gazdálkodónak együttesen kell meghatározni.

Az erdők hosszú távú fenntartása a hazai erdőgazdálkodás évszázados alapelve, amelyet a tartamosság fogalmával fejezett ki. Korunkban ezen kívül követelmény a fenntartható gazdálkodás elveinek megtartása is. Ezeket az alapelveket a természetközeli erdőgazdálkodás valósítja meg (Pl.: Pro Silva elvek). A természetközeli erdőgazdálkodás alapja az ökológiailag stabil erdő. Ennek feltétele:

- megfelelő üzemmód alkalmazása
- termőhelyhez igazodó, kis területű beavatkozások
- természetes felújítás
- mozaikszerű erdőművelés
- megelőző erdővédelem
- erdőhigiéniai feladatok ellátása

Osztrák elemzések szerint 110 éves gazdasági erdő élete alatt 28 beavatkozás történik hektáronként.

Az alapanyag termelést a természetközeli erdőgazdálkodásban kíméletes fahasználati módszerekkel kell megvalósítani. A cél:

- minden talaj és állomány károsodásának elkerülése,
- műszaki eszközök és eljárások kritikus kiválasztása,
- gépek munkájának megalapozott, átfogó tervezése, ellenőrzése,
- a természet- és környezetvédelmi igények fokozott figyelembevétele,
- védő és védelmi területeken alárendelt használat.

A közjóléti feladatokat azzal tudjuk teljesíteni, hogy az erdőt megnyitjuk a nagyközönség számára, de az igénybevétel lehetőségét korlátozzuk. Ezt úgy érhetjük el, hogyha tanulmányozzuk az emberek pihenési szokásait és az ezekből leszűrt tapasztalatok alapján alakítjuk ki azokat az erdőterületeket, amelyeket a széles tömegek előtt megnyitunk.

Az erdő egy korlátozott használatú tulajdon, ezért az erdőgazdálkodással szemben támasztott társadalmi követelmények teljesítése független a tulajdonostól. A társadalom által elfogadott erdőgazdálkodási forma:

- a többcélú,
- természetközeli,
- több tulajdonosú.

A feltáróhálózat többfunkciós létesítmény:

- Erdőhasználati funkciójában biztosítja a költségkímélő és kármegelőző fakitermelést és közelítést;
- Az erdőgazdálkodás logisztikai rendszerének meghatározó része;
- Erdőművelési funkciójában elősegíti az állományok stabilitásának növelését, a kíméletes erdőművelési eljárások megvalósítását;
- Vadgazdálkodási funkciójában elősegíti a vadászati, vadvédelmi tevékenységek színvonalasabb és hatékonyabb végzését;
- Erdővédelmi funkciójában lehetővé teszi az erdőhigiéniai beavatkozások elvégzését, valamint a kialakult biotikus és abiotikus károk megszüntetését és lokalizációját;
- Általános védő és védelmi funkciójában segíti a talaj, a víz, a levegő és más természetes vagy mesterséges objektumok védelmét;
- Üdülési, pihenési funkciójában lehetővé teszi az erdő megközelítését és szabályozza azt, változatos tájat alakít ki, tájkép alakításával és bemutatásával növeli annak értékét;
- Kistérségi hatásában az erdőgazdasági munkák szociális körülményeinek javításán keresztül munkahely megtartó, a szolgálatok kiterjesztésével munkahely teremtő, összekötő hatásával a térségi kapcsolatok megteremtője és fenntartója, vagyis a vidék és a térségfejlesztés eleme.

Mindezeket a funkciókat tartamos erdőhasználat és nyereséges kereskedelem mellett kell megvalósítani. Feltárás nélkül tehát erdőgazdálkodást folytatni nem lehet.

Az erdőfeltárás célja

Az erdőfeltárás célja, hogy

- létrehozzuk az erdészeti szállítások lebonyolítására alkalmas szállítópálya hálózatot és az erdészeti munkák elvégzését lehetővé tevő munkaterületeket;
- elősegítsük az erdő közjóléti és védelmi szerepének hatékonyabb megvalósulását;
- megteremtsük ezek egységét

úgy, hogy a talaj, az élő környezet és benne elsősorban a faállomány, valamint a táj a lehető legkisebb mértékben károsodjon. Egyben biztosítjuk az erdőterületek ökológiai terhelésének és az erdőgazdálkodás önköltségének csökkenését a hozamvesztés elkerülésével együtt.

A feltáráshálózattal elfoglalt terület az erdőtalaj azon része, amelyet az erdőgazdálkodás folyamán hosszabb-rövidebb ideig nem fatermesztés céljából használunk.

Az erdőfeltárás eszközei

Vízi:

- hajózás
- úsztatás
- tutajozás

Szárazföldi:

- erdei vasút
- csúszdák
- köteles berendezések:
 - kötélpálya
 - telepített kötélدارu
 - mobil kötélدارu
 - köteles (csőrlős) vonszolás
- erdészeti utak:
 - feltáróút
 - kiszállítóút
- közelítőnyomok

Légi:

- helikopter
- léghajó

A felsorolt eszközök különbözőképpen tudják kielégíteni az erdőfeltárással szemben támasztott igényeket. Ezért egy terület feltárását nem mindig lehet megoldani egyetlen eszközzel, hanem azok sorozatát kell a célnak és a körülményeknek megfelelően igénybe venni, kialakítva egy feltárási koncepciót.

Hazai földrajzi, domborzati, talaj és klimatikus viszonyaink között a jelenlegi műszaki színvonalon a szárazföldi berendezések terjedtek el. A feltárásban döntő szerepe van az erdészeti utaknak, kisebb mértékben a köteles berendezéseknek, jelentőségében erősen lecsökkenve az erdei vasutaknak.

A vízi szállítás a feltételek hiánya miatt elenyésző. A csúszdák, a légi berendezések, a köteles anyagmozgatás eszközeinek egy része és a közelítőnyomok elsősorban a termőterület feltárásával a fahasználat igényeit – a termelési technikát – szolgálják. A feltáráshálózat tervezésekor, a feltárási koncepció megválasztásánál ezek igényeit is messzemenően figyelembe kell venni.

Erdőfeltárás hatása az erdőgazdálkodásra

Az erdő feltárása az erdő életébe komoly beavatkozást jelent, amely nem valósítható meg pillanatnyi kompromisszumok nélkül. Amennyiben a hálózat kialakításakor a szükséges kompromisszumokat nem elvtelenül, hanem helyesen kitűzött, hosszú távú célnak megfelelően érjük el, akkor az erdőgazdálkodás folyamán létrejön az erdő és a feltáráshálózat közötti összhang.

Hosszabb időszakot megfigyelve azt tapasztaljuk, hogy az erdőgazdálkodás és a feltáráshálózat kölcsönhatására megváltoznak az erdőművelési eljárások és az erdőkép a feltáráshálózat struktúráját veszi fel. A tartamos erdőgazdálkodásban ezekkel a módszerekkel a biológiai és műszaki beavatkozások ökonómiai egyensúlyát valósítjuk meg. Az erdőfeltárás ebben az esetben azt biztosítja, hogy az erdő életébe szükséges beavatkozásokat folyamatosan a megfelelő időben és módon hajthassuk végre. Mivel az erdőfeltárással megteremtjük annak lehetőségét, hogy az erdő minden részletébe könnyen eljussunk, egyben megteremtjük a tervezés, kivitelezés és ellenőrzés lehetőségét is az erdőgazdálkodás minden (biológiai, műszaki és egyéb szolgáltatások) területén. Segítségével olyan megoldásokat is alkalmazhatunk, amelyek egyébként a részlet megközelíthetlensége miatt szóba sem jöhetnek.

Területfeltárás

Az erdőgazdálkodás, mint tevékenység és ennek terméke nagy területen, közel egyenletes eloszlásban jelenik meg térben és időben egyaránt. Az erdőfeltárásnak éppen a munkák területi elrendeződése miatt a teljes területet fel kell tárnunk, tehát területfeltárásként kell megvalósulni.

A területfeltárási hálózat csak akkor nyújtja az elvárható szolgáltatásokat, ha azt hálózati szemlélettel, a teljes gravitációs körzetre egyszerre tervezzük meg, majd fokozatosan kiépítjük. Nem tartható helyesnek az a szemlélet, amikor csak egy-egy pillanatnyilag fontos vonalat tervezünk, majd építünk meg a teljes hálózat kialakításának ismerete nélkül.

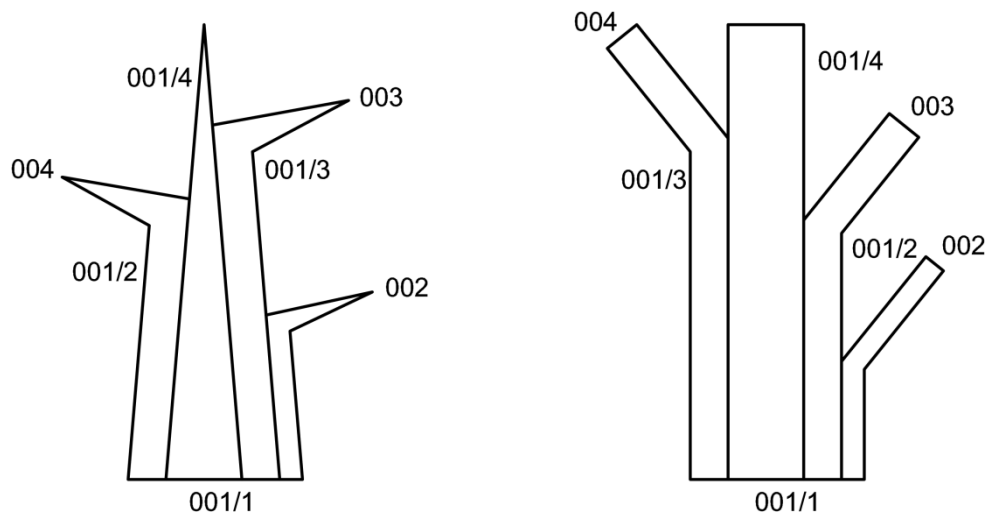
A változatos tulajdonviszonyok miatt a feltáráshálózatokat nem lehet mindig úgy kialakítani, hogy azok egyes vonalai ne érintsenek idegen területeket. A tulajdonosokkal a terület igénybevételeiről, a beruházási és útfenntartási költségek megosztásáról meg kell állapodni. Az ilyen szemlélettel kialakított hálózat komplex célokat szolgál és integrált feltárásnak nevezhető.

A feltáráshálózat forgalmának jellemzői

Az erdőfeltárással az üzemen belüli szállításokat kívánjuk megoldani. Ez a tevékenység a termelési folyamatokkal szorosan összefügg, ezért ennek előfeltételeit is magunknak kell megteremtteni. Az erdőgazdálkodásban az üzemen kívüli szállítás elsősorban az értékesítéshez kapcsolódik és főként a közforgalmú szállítópályákon történik, amelyekre nincs befolyásunk.

A feltáráshálózat kialakításakor egy közlekedési hálózatot hozunk létre, amelynek forgalma mennyiségileg és minőségileg is eltér a közforgalmú hálózat forgalmától. A forgalom sűrűsége a feltáráshálózatban általában kisebb, mint a közforgalmú hálózatban. A tartamos erdőgazdálkodásban megvalósított területfeltárási hálózatban évenként ez közel egyenletes, míg a külterjes erdőgazdálkodás esetén a koncentrált fakitermeléseknek megfelelően forgalmi csúcsokban jelentkezik.

A területfeltárási hálózatban gyűjtő és elosztó szállítás valósul meg. A termőterület irányából a közforgalmú hálózat felé haladva a keletkező forgalom koncentrációja fokozatosan nő, míg a termőterület felé irányuló forgalom koncentrációja csökken. A nem területet feltárási, hanem két forgalomkeltő pontot – pl.: települést, csomópontot, – összekötő hálózatban a két pont között keletkező forgalom közel egyenletes.



Területfeltárási és összekötő hálózat forgalmi ábrái

A forgalom összetételében a tartamos és belterjes erdőgazdálkodás keretei között, ahol a műszaki és biológiai követelmények azonos súlyúak, megnő a személyszállítás szerepe. Ekkor az erdészeti utak csak kis részben szolgálják a termékszállítást, nagyobb részben egyéb feladatokat látnak el. A külterjes erdőgazdálkodást folytató területekre a teherforgalom túlsúlya lesz jellemző.

Az erdészeti utak forgalmában $2/3 : 1/3$ arányban fordulnak elő személygépjárművek és tehergépjárművek. Az erdészeti utak tervezésekor a mértékadó jármű ennek ellenére a tehergépkocsi lesz, mert ennek az igényeit kielégítve megteremtjük azt a szolgáltatási színvonalat, amit az erdészeti úttól meg lehet követelni. A személygépkocsik által kihasználható magasabb szolgáltatási színvonal kielégítése nem célja az erdészeti útépitésnek. A szállítási távolság az erdészeti feltáráshálózatban általában kisebb, mint a közforgalmú hálózatban, mert az üzemi belső szállítás általában rövidebb, mint az üzemen kívüli szállítás. Ez befolyásolja a feltáráshálózatban haladó forgalom sebességét is, ami ezért alacsonyabb lehet, mint a közforgalmú hálózatban. A szállítás gazdaságossága azonban ettől a forgalomtól is megkövetel egy minimális sebességet. Ennek nagysága függ attól, hogy

- a szállítási folyamat melyik szakaszában vagyunk,
- a szállítóeszköztől,
- a szállítási távolságtól,
- a talajviszonyoktól,
- a terepalakulattól,

- az időjárási viszonyoktól stb.

A feltáráshálózat tagolódása

A területfeltáró erdőfeltárás három szinten valósul meg:

- az első szinten bekapcsolja az erdőt a közforgalmú közlekedési hálózatba (fő feltáráshálózat),
- a második szinten bekapcsolja az erdőrészletben keletkező forgalmat a fő feltáráshálózatba (mellék feltáráshálózat),
- a harmadik szinten biztosítja az erdőrészleten belül minden részterület megközelíthetőségét különféle eszközökkel és berendezésekkel.

A fő és mellékhálózat együttesen alkotja az állományfeltárást, mert ezzel kapcsoljuk be a gravitációs körzetben lévő erdőállományt a közforgalomba, ez biztosítja a közforgalmú pálya és a termőterület kapcsolatát. A harmadik szint a termőterület saját feltárása, amelyet ezért termőterületi feltárásnak, vagy finom feltárásnak nevezünk.

A feltáráshálózat tagolódása

Állomány feltárás Durva feltárás		Termőterületi feltárás Finom feltárás
Szállítás	Kiszállítás	Közelítés
Állandó, vagy annak tekinthető nyomvonal, amelynek kialakulása független a fatermesztés folyamatától, elsődleges célja a részlet megközelíthetőségének biztosítása		A fatermesztés idején kialakított faállomány mentes közelítő pászták, amelyek különböző közelítő eszközök telepítését teszik lehetővé, elsődlegesen az erdőrészleten belüli mozgás lehetőségének megteremtésére és szabályozására
Fő feltáráshálózat	Mellék feltáráshálózat	A közelítőpászták hálózata, a közelítőhálózat
Feltáróutak (vízi út, vasút)	Kiszállítóutak	Közelítőnyom, épített közelítőnyom, kötélpálya
Erdőfeltárás - Feltáráshálózat		Termelési technika Közelítőhálózat

A feltáráshálózat két fő részének funkciói és jellemzői

- az állomány feltárás, vagy más néven durva feltárás az anyagmozgatási folyamat szállítási és kiszállítási szakaszát foglalja magába. Állandó nyomvonalon haladnak, amelyek kialakítása jórészt független a fatermesztés folyamatától és elsődleges célja a részlet megközelíthetőségének biztosítása.
- a termőterületi feltárás vagy finom feltárás az anyagmozgatás szempontjából a közelítési szakaszt foglalja magába. Kialakítása a fatermesztés ideje alatt folyamatosan történik.

A feltáráshálózat tagolódása megfelel az erdőszeti anyagmozgatás pályától és körülményektől függő szakaszolásának is, amely a következő:

- Közelítés: a termőterületen történő anyagmozgatás. A forgalom koncentrációja itt a legkisebb, a keletkező költségek a legmagasabbak, ezért ennek a szakasznak a lerövidítésére kell törekedni. A feltáráshálózatnak ez a része a finom feltárás.

- Kiszállítás: anyagmozgatás ekkor a termőterületből kivont, elsődlegesen az anyagmozgatás céljából kialakított pályán folyik. Mivel a forgalom koncentrációja még itt is kicsi, elég egyszerűbb műszaki megoldásokat alkalmazni.
- Szállítás: nagy teherbírású, gyors szállító-eszközökkel végzik a faanyagmozgatást, minden időben járható szállítópályán, viszonylag hosszabb szállítási úton.

A szállítási költségek csökkentése érdekében a minden időben járható szállítópályákat kell a legmagasabb műszaki színvonalon kialakítani. Az anyag-mozgatás szállítási szakasza a főfeltáró-hálózatra esik. A közjóléti feladatokból származó forgalom itt a legnagyobb és arra kell törekedni, hogy ezekre is koncentrálódjon.

A feltáróhálózat, mint infrastrukturális létesítmény

Az infrastruktúrának két jellemzője van:

- közvetlenül nem vesz részt a termelésben,
- gazdasági előnyei és terhei megoszlanak a gazdaság szereplői között.

Az erdészeti utat – különösen, ha annak többcélú hasznosítását is figyelembe vesszük – az első feltétel szerint besorolhatjuk az infrastruktúra körébe.

Az egyértelműen infrastrukturális beruházást jelentő közutaknál a létesítés terheit az állam viseli. A járművek üzemköltségei és a teljes forgalmi költségekben keletkező megtakarítások az egyre nagyobb számú magánvállalkozónál jelentkeznek.

A kimondottan gazdasági célokat szolgáló utaknál a terhek és a megtakarítások egy helyen a vállalkozásokban jelentkeznek, tehát a megtakarításokból elvben finanszírozható a hálózat létesítése. Ez az állapot volt korábban jellemző az erdészeti és a mezőgazdasági úthálózatokra.

Ha a társadalom megköveteli az immateriális szolgáltatások nyújtását, akkor az ezekből származó közgazdasági terhekből is részt kell vállalnia. Ennek megfelelően az állami erdőgazdálkodásban kialakított úthálózatokat közgazdaságilag az infrastrukturális szférához kell sorolni, mert a ráfordítások és megtakarítások nem azonos helyen jelentkeznek, ezért megtérülése sem képzelhető el csak a megtakarításokból.

A feltáróhálózat megvalósítása, az erdészeti útépités

A feltáróhálózat megvalósítása műszaki megoldásokat igényel. A műszaki beavatkozások elveit és gyakorlatát az adott időszak műszaki színvonala határozza meg. A legfontosabb annak biztosítása, hogy az erdészeti feltáróhálózat műszaki létesítményei biztonságosak legyenek, költségkímélő legyen építésük és fenntartásuk, valamint a legkisebb beavatkozást jelentsék az ökológiai rendszerbe.

Az ökonómiai irányultságú erdőgazdálkodás feltételei között az erdészeti utak tervezőit mindig erősen befolyásolta a rendelkezésre álló szűkös anyagi lehetőség. Ez sokszor a költségek kritikátlan csökkentéséhez vezetett, a helyes és hosszútávon gazdaságos műszaki megoldások terhére. Az így kialakult helytelen beruházói szemléletet és tervezői gyakorlatot a technikai minimum félreértelmezett elvével próbálták igazolni. A technikai minimumra való törekvés nem azt jelenti, hogy a teljes útüzem gazdaságosságának figyelembevétele nélkül a kivitelezési költségek csökkentésére törekszünk, hanem azt, hogy az alapvetően szállítópálya szerepet betöltő utakat – feltáró és kiszállító utak – a nekik megfelelő műszaki paraméterekkel építjük meg. Az építést az ökológiai feltételek figyelembevételével kell megoldani, ami általában további költségnövekedéssel jár.

A technikai minimum elvének helyes értelmezése szerint az erdészeti utakat olyan műszaki paraméterekkel és olyan költségszinten kell megépíteni, ami összhangban van az úton haladó erdészeti forgalom nagyságával, összetételével és igényeivel, elégséges műszaki biztonságot nyújt és megfelel a környezetvédelmi feltételeknek is. Tehát a tervezési és építési előírásokat határozzuk meg úgy, hogy azok rövid távú költségek csökkenéséhez vezessenek helyes műszaki megoldások mellett. Ezek betartásáról minőségellenőrzéssel gondoskodunk.

A szükséges műszaki beavatkozások csak etikus mérnöki magatartással lehet helyesen megvalósítani, amely az alábbiakat jelenti:

- folyamatos törekvés a káros környezeti hatások megszüntetésére,
- távlati, átfogó ökológiai és ökonomikus gondolkodás,
- saját szakterület példamutató kezelése.

Az ilyen szemlélettel végzett mérnöki tevékenységgel a káros környezeti hatások jelentősen lecsökkenthetők, ami a konfliktusokat is mérsékelni fogja.

Műszaki értelemben az etikus mérnöki magatartás elvei azt jelentik, hogy létesítményeinket:

- nem alakítjuk ki nagyobbra a szükségesnél (arányosság elve),
- biztosítjuk a külső és belső állékonyságot (állékonyság elve),
- fenntartható szerkezeteket hozunk létre (fenntarthatóság elve),
- gondos anyagfelhasználást és gazdálkodást valósítunk meg (anyagfelhasználás elve).

Az anyagfelhasználás elveinek figyelembevétele a káros környezeti hatások mérséklésének egy lényeges pontja. Akkor járunk el helyesen, ha a következő alapelveket betartjuk:

- élettartam növelése,
- célszerű, az igénybevételnek megfelelő anyagok beépítése,
- fölösleges anyagok elhagyása,
- helyettesítő anyagok felhasználása,
- újrahasznosított, vagy újrahasznosítható anyagok alkalmazása,
- pontos adagolás, „a kevés esetenként több” elve,
- technológiai váltás, amely előnyben részesíti a „mechanikai elven (kiékelés, súrlódás)” alapuló megoldásokat.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy az etikus kompromisszumokkal kialakított műszaki megoldások közgazdasági és környezetvédelmi szempontból egyaránt kedvező megoldások lesznek. Ezeket az alapelveket ismerve és az út megvalósításának folyamatában folyamatosan betartva, ökonomiai és ökológiai szempontokból egyaránt megfelelő létesítményeket hozhatunk létre.

A természetvédelem és az erdőfeltárás

Az erdőfeltárás és benne az útépités a természetvédelem és erdőgazdálkodás között állandó konfliktusok forrása. Az érvek és ellenérvek ütköztetésekor meg kell vizsgálni, hogy

- az érvek, cáfolatok, vizsgálatok kellően objektívek-e,
- mentesek-e az érzelmi befolyásoktól, vagyis kellően semlegesek-e,
- a vizsgálatok céljai világosak-e és valóban egy-egy jól feltett kérdésre adnak-e választ.

A fennálló konfliktusok feloldása érdekében:

- olyan objektív kutatásokat kell folytatni az erdészeti utak hatásának kimutatására, amely a kérdéskört átfogó összefüggéseiben elemzi;
- a természetvédelemnek a mindent elutasító magatartás helyett a kutatási eredményekre támaszkodva súlyozni kell a problémákat és csak akkor tiltakozni, amikor arra valóban van ok;
- az erdőgazdálkodóknak meg kell találni azokat a határokat és módszereket, amelyekkel a természetvédelem igényeit még nem sértik meg;
- ki kell dolgozni az erdészeti utakra vonatkozó környezetvédelmi minimál követelményeket.

A természetvédelem igényei többszöri egyeztetés és kellő kompromisszum készség esetén teljesíthetők lehetnek. Például természetvédelmi szempontból érzékeny területen a földutak karbantartásával megszűnő vizes élőhelyek az oldalkárok vizének terepmélyedésekbe vezetésével pótolhatók.



Példa a természetvédelem igényeinek figyelembevételére

ERDÉSZETI FELTÁRÓHÁLÓZATOK TERVEZÉSE

A feltáróhálózat kialakítása egy összetett, az erdőgazdálkodást teljes egységében átfogó feladat. Nem elégedhetünk meg eközben azzal, hogy a szállítási folyamat számára egyszerűen egy hálózatot alakítunk ki, hanem azt be kell illeszteni a teljes erdőgazdálkodás biológiai, műszaki és üzemgazdasági környezetébe.

A tervezés általános szempontjai

A feltáróhálózat tervezésénél arra a kérdésre keressük a választ, hogy:

- milyen sűrű legyen a feltáráshálózat, vagyis milyen távol legyenek a vonalak egymástól,
- milyen legyen a hálózat struktúrája, vagyis milyen kiépítettsége legyen a hálózat egyes elemeinek.

A többcélú, ökológiai szemléletű erdőgazdálkodásban a területfeltáró úthálózatok kialakítását az

- elsődleges cél,
- a geomorfológiai jellemzők,
- a tulajdonviszonyok

határozzák meg.

Az optimális útsűrűség meghatározására megnyugtató megoldás még nem született, mivel a területfeltáró hálózatot nem lehet közgazdasági célok szerint optimálisan kialakítani. Az ökológia és az erdőgazdálkodás összhangját megteremtő úthálózat kialakítására kell törekedni. Mindkettőt az elsődleges cél és a tulajdonviszonyok határozzák meg. Az optimális útsűrűség egy olyan területre jellemző fajlagos úthossz, amelyet a tulajdonformák és az elsődleges rendeltetés határoz meg, valamint a gazdálkodók szükségleteiből és a társadalom tűrőképességéből származó ellentmondások feloldásakor létrehozott egyensúly alakít ki, feltárási egységenként.

Az adott terület feltáráshálózatára a legkedvezőbb megoldás a következő lépésekben hozható létre:

- tervezési szinten a feltárási koncepciónak megfelelően kialakítjuk a teljes durva feltáráshálózatot általában utakkal,
- a tervezett utakat egységes elveken alapuló sorrend szerint megépítjük,
- a fokozatosan kialakuló hálózatot a finom feltárással alacsony költségű, változtatható vonalakkal (közelítőnyomok, kötélpálya stb.) besűrítjük.

A költséges közbenső átrakások és tárolások elkerülése érdekében a feltáráshálózaton az erdőgazdálkodásban használt eszközök mellett a közforgalomban résztvevő más járművek mozgásának lehetőségét is biztosítani kell. Ezeknek a járműveknek az igényeit az erdőgazdálkodással befolyásolni nem lehet, tehát a feltáráshálózatot kell úgy alakítani, hogy az a külső adottságoknak és feltételeknek megfelelően. Erdészeti utaknál ezt úgy biztosítjuk, hogy azokat

- meghatározott szélességűre és teherbírására építjük,
- a minimális kanyarulati sugárnál kisebb sugarú ívet, valamint a maximális emelkedőt és lejtőt nem tervezünk,
- lejárókat, kitérőket, rakodókat, fordulókat és útcsatlakozásokat építünk, amelyek az erdőrészlet és a feltáráshálózat, valamint a hálózat elemei közötti kapcsolatot biztosítják.

Feltárási koncepció

A feltárási koncepció rögzíti a feltáráshálózat vonalai mentén változó körülményeknek legjobban megfelelő feltáráseszközök sorozatát. A feltárási koncepciót ezért az állomány feltárás, termőterületi feltárás és szállítóeszközök ökonómiaillag és ökológiaillag egyaránt célszerű kombinációjának tekintjük.

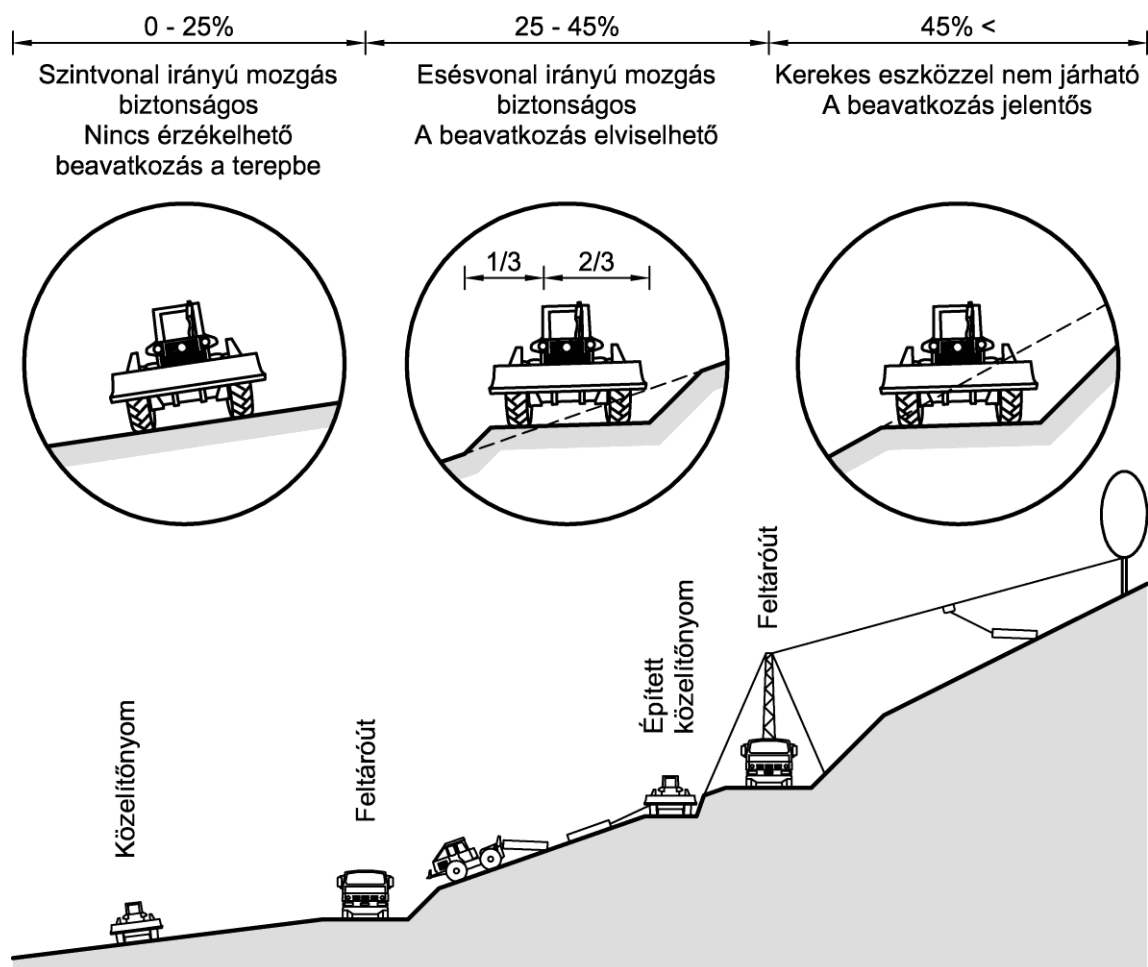
Az erdőfeltárást két feltárási koncepció szerint valósítjuk meg:

- utakkal és közelítőnyomokkal vagy épített közelítőnyomokkal,
- utakkal és köteles berendezésekkel.

A feltárási koncepciók között műszaki jellemzőkkel leírható szempontok alapján lehet választani. Ezek határértékeit a területet (gravitációs körzetet) jellemző elsődleges rendeltetés szerint rögzítjük. Ilyen lehet:

- a terep hajlása,
- a talaj teherbírása,
- a terep járhatósága,
- a feltáráse eszköz jellemzői.

A feltárási koncepció kiválasztásánál a terep keresztmetsze lesz a mértékadó.

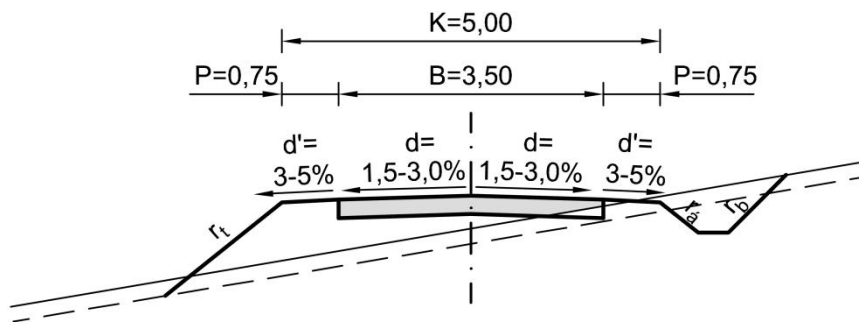


Feltárási koncepciók a terep keresztmetsze szerint

Erdőfeltárási utak és közeliítőnyomokkal

A feltárási utak alkotják a fő feltárási hálózatot, amelyek jellemzői az alábbiak:

- a hálózatnak ezek a legnagyobb forgalmat lebonyolító szakaszai, és így a szállítás hossza is a legnagyobb.
- a gazdaságos faanyagszállítás igényeihez igazodva ezeket kell a legnagyobb kapacitásúra kiépíteni.
- biztosítani kell, hogy a rajtuk közlekedő járművek egy meghatározott minimális sebességnél gyorsabban haladhassanak, amit a tervezési sebesség előírásával és betartásával érünk el.



Másod osztályú erdészeti út keresztmetszeti kialakítása



Másod osztályú erdészeti út

Kiszállítóutak jellemzői

A kiszállítóutak alkotják a mellék feltáróhálózatot, amelyek jellemzői az alábbiak:

- a fő feltáróhálózatot és a termőterületi közelítőhálózatot kötik össze,
- állandó létesítmények, ezért az általuk elfoglalt terület a termelésbe hosszú időn keresztül nem vonható be,
- viszonylag rövidek, ezért rajtuk a szállítási távolság és a forgalom is kicsi,
- munkarendszertől függően rajtuk különböző műveletek végezhetők, valamint a faanyag ideiglenes tárolására is használhatók,
- tervezési sebesség: előírás nincs („lépésben”).

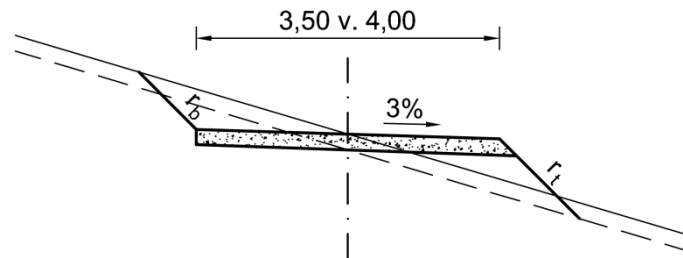
A kiszállítóutakat úgy kell kialakítani, hogy rajtuk a járműmozgás geometriájának figyelembevételével, a KRESZ előírásainak megfelelő járművek biztonságosan elérjenek és áthaladhassanak. A járművek találkozása folyó pályán nem megengedett, arra kitérőkben kell lehetőséget biztosítani.

A kiszállítóutak kiépítés színvonalát, amely lehet

- földút,
- javított földút,

- burkolt út,

a földmű talajának vízerékenysége, az erózióvesélyesség alapján kell eldönteni. Az alacsonyabb kiépítési színvonal miatt a szállítási költségek emelkednek, de az adott körülmények között elviselhető értéken maradnak.



Kiszállítóút keresztmetszeti kialakítása



Kiszállítóút

Kiszállítóutak tervezésének fő szempontjai

- vízszintes vonalvezetésüket alapvetően a semleges vonal határozza meg;
- hossz-szelvényüket részletesen ki kell dolgozni, mert ez határozza meg a műszelvény által elfoglalt területet és a mozgatandó földtömeget;
- kereszt-szelvényük egyszerűsített kialakítású;
- hossz- és keresztirányú vízvezetés megoldott;
- tervdokumentációjuk egyszerűsített formában készüljön, amely alapján a mennyiségeket és költségeket reálisan ki lehessen számítani.

Közelítőnyomok

A közelítőnyom a feltáráshálózat termőterületre eső (fahasználattal érintett terület) része. Nem állandó jellegű létesítmény, mert az általa elfoglalt terület a termőterület egy része, amelyen a vágásforduló egy bizonyos hányadában fatermesztés folyik. Létesítésükkor csak azt kell figyelembe venni, hogy a közelítőeszköz a munkáját biztonságosan el tudja végezni.

A közelítőnyomon történő közelítés felső határát 45% (24°) lejtésben állapították meg. Mivel ilyen dőlésnél már elkerülhetetlen a talaj felszínének jelentős átalakítása, ezért az a tendencia, hogy ennél jóval alacsonyabb keresztdőlés fölött térnek át a kötélpályás anyagmozgatásra.

Az építési munkával kialakított járófelületeket tekintjük épített közelítőnyomoknak.

Erdőfeltárás utakkal és köteles berendezésekkel

A feltáráshálózatban ekkor a szállítás és a kiszállítás utakon, a közelítés drótkötél-pályával vagy kötélदारuval történik. A rakodót a kötélpálya leadó állomásánál kell kialakítani. A leadóállomás helyét a kötélpálya rendszere határozza meg. A feltáráshálózat vonalait ennek megfelelően a gerinc közelében, a völgyben, illetve a hegyoldalt átszelve kell kijelölni.

A feltáráshálózat a következő elemekből áll:

- feltárási utak,
- kiszállítóutak,
- köteles berendezések.

Feltáráshálózat tervezésének folyamata

A tervezés folyamata az alábbi lépésekben történik.

- Tervezés indítása
- Adatgyűjtés
- Érdekek és célok feltárása
- Előtanulmány készítése
- Területbejárás
- Aplanterv kidolgozása
- Feltárási koncepció kiválasztása
- Vonalvezetés és hálózat tervezése
- Feltárási variációk értékelése
- Döntés

Tervezés indítása

A tervezés indításakor

- fel kell tárnani, hogy milyen közvetlen okok teszik szükségessé a tervezést;
- meg kell határozni a feltárással érintett területet;
- össze kell állítani azoknak az intézményeknek és személyeknek a listáját, akikkel a későbbiekben együtt kell működni;
- meg kell határozni, hogy az együttműködők a munka mely fázisában, milyen jogkörrel és jogcímen kapcsolódnak a tervezésbe;
- el kell készíteni a munkatervet, amely tartalmazza a legfontosabb részhatáridőket.

Adatgyűjtés

- Térképek (üzemi, kataszteri, szintvonalas)
- Meglévő feltáráshálózat vonalai
- Topográfiai, geológiai és talajviszonyok
- Klíma, kitettség

- Erdőgazdálkodás viszonyai
- Erdőhasználat jelenleg és korábban
- Egyéb intézmények feltárási igényei
- Egyéb igények (turizmus, környezetvédelem)
- Esetleges távlati fejlesztési koncepciók

Érdekek és célok feltárása

A későbbi viták elkerülése érdekében arra kell törekedni, hogy minden érdekelt minden igényét összegyűjtsük függetlenül attól, hogy azok pillanatnyilag mennyire látszanak indokoltnak és reálisnak. A széleskörű igény-, cél- és problémafeltárás, valamint azok összeegyeztetése kezdeti munkánkat ugyan nehezíti, de egy megalapozott megegyezésre támaszkodva későbbi munkánk jóval könnyebbé válik.

Előtanulmány készítése

Az adatgyűjtés eredményeire támaszkodva előtanulmányt kell készíteni, amelyben rögzítjük a feladat megoldását befolyásoló összes tényezőt, kijelöljük a súlyponti kérdéseket és rögzítjük a tervezés további körülményeit. Az előtanulmányt a szöveges indoklás mellett tematikus térképekkel is ki kell egészíteni, amelyek jól érzékeltetik az egyes igények eloszlását a területen.

Területbejárás

- Az előtanulmányban kidolgozott és összefoglalt indokok ismertetése a résztvevőkkel
- A felmerülő problémák és a szükséges változtatások megvitatása
- Előtanulmány módosítása

Az egyeztetések végén kialakulnak a végső álláspontok, ami alapján a további tervezés folytatható.

Alapterv kidolgozása

Az alaptervek tematikus térképek sorozata, amely alaptérképből és az azonos típusú igényeket tartalmazó fedvények sorozatából áll. Az alaptérkép tartalmazza azokat az adatokat, amelyek alapján a tervezést végezzük. Fontos, hogy ezek a térképek részletes terepfelvételekre támaszkodva készüljenek. Feltétlenül a helyszínen kell meggyőződni a terep járhatóságáról, geológiai és talajviszonyairól.

Feltárási koncepció kiválasztása

- Erdőgazdálkodási szempontok: rendelkezésre álló közelítő, kiszállító- és szállítóeszközök, erdőművelési, fahasználati igények, stb.;
- Építési szempontok: terepdőlés, talajviszonyok, topográfiai viszonyok, stb.;
- Erdőgazdálkodással tágabb értelemben összefüggő szempontok: természetvédelem, közjólét, stb.

Vonalvezetés és hálózat tervezése

- Kardinális pontok kijelölése;
- Érintendő és elkerülendő területek rögzítése;
- Lehetséges vonalvezetés meghatározása (pl. semleges vonal felkeresése);
- Úthálózatok rögzítése;
- Útsűrűség és az utak távolságának ellenőrzése;

- Finom feltáróhálózat kialakítása;
- Terepi ellenőrzés és kitűzés.

Feltárási variációk értékelése

- Úthosszak (összes, erdőben, útsűrűség, stb.)
- Kiszállítóutak hossza (összesen, átlagos kiszállítási hossz, stb.)
- Költségelemek (építési és fenntartási költség);
- Emelkedőviszonyok
- Építési szempontok
- Nem erdészeti érdekek (úthossz mezőgazdasági területen, természetvédelmi területen)
- Előnyök az erdőgazdálkodásban
- Nem erdészeti előnyök

Döntés

A tervezés utolsó fázisában állást kell foglalni abban, hogy a variációk közül melyiket kell megvalósítani. A döntés előkészítésére operációkutatási módszereket lehet felhasználni, majd ezek értékelése után a választásunkat megtenni.

UTAK ÉS GÉPJÁRMŰVEK KAPCSOLATA

ÚTPÁLYA ÉS AZ ÚTPÁLYÁRA HATÓ ERŐK

Az út fogalomrendszere

Az út tervezéskor egy vonalas létesítményt kell a környezetbe illeszteni, amelynek során a közlekedő ember igényeit és a gépjárművek adta lehetőségeket messzemenően figyelembe kell venni. A kapcsolatok azonban nem egyirányúak, hanem egymásra kölcsönösen hatnak, amely hatások sokszor korlátként jelentkeznek.

A tervezőnek kell megteremteni az összhangot

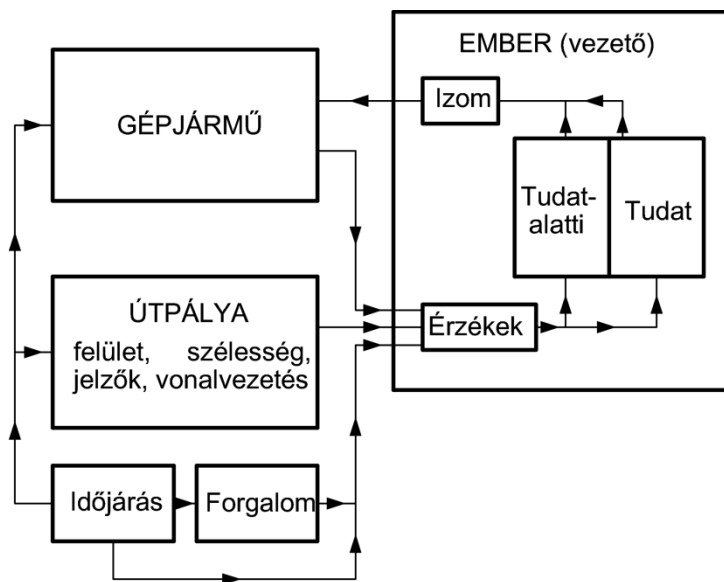
- a gépjárművet vezető ember fizikai és pszichikai adottságai,
- a gépjármű műszaki lehetőségei,
- az út által nyújtott szolgáltatás között

úgy, hogy az a célnak megfelelő legtöbb igényt kielégítse a környezet legkisebb károsításával.

A gépjárművezető érzékeire hatással van

- a pálya vonalvezetése és felülete,
- a környezeti feltételek (időjárás, forgalom).

Ezeket feldolgozva dönt és működteti a járművet, amelyre a vezető, a pályatulajdonságok és az időjárás is hat. Az így irányított jármű visszahat az emberre. Az erdészeti utak a közutaknál szerényebb műszaki jellemzőkkel rendelkeznek, ezért a használat során a gépjárművezetőktől fokozott figyelmet kívánnak.



Gép-ember-pálya rendszerkapcsolat

Útpálya részei

Az út a vonalas létesítmények csoportjába tartozik, mivel szélessége a hosszúsághoz képest nagyon kicsi. A tervezés a pályatengely alapján történik. Az út a vasúttal szemben szabad nyomú pálya

A kívánatosnál mélyebben fekvő részekben töltéseket, a magasabbakon bevágásokat kell készíteni. Az így elkészült földművet oldalról a rézsűk, illetve szükség esetén támfalak vagy bélésfalak zárják le.

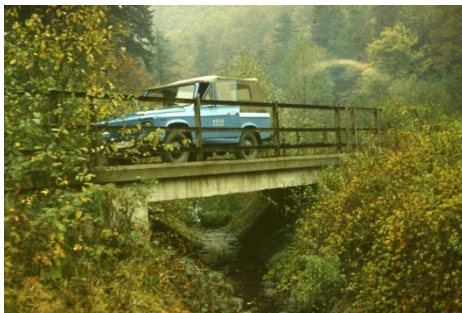


Támfal



Bélésfal

Az útpálya víztelenítését az árokrendszer, folyókák, szivárgók, zárt csapadékvíz-csatornák, áteresztők és hidak biztosítják. A földmű és a műtárgyak az út alépítményét képezik. A műtárgyak az alépítmény nem földből készült részei (pl.: támasztófalak, hidak, áteresztők stb.).



Hidak és áteresztők

A koronaszéltől indulnak a földmű rézsúi. A töltési rézsú és a terep metszéspontját rézsúlábnak, a bevágási rézsú és a terep metszéspontját rézsűkörömnek nevezzük. A pályaszerkezet és az úttartozékok (pl.: vezetőoszlop, vezetőkorlát, táblák stb.) az út felépítményét képezik.

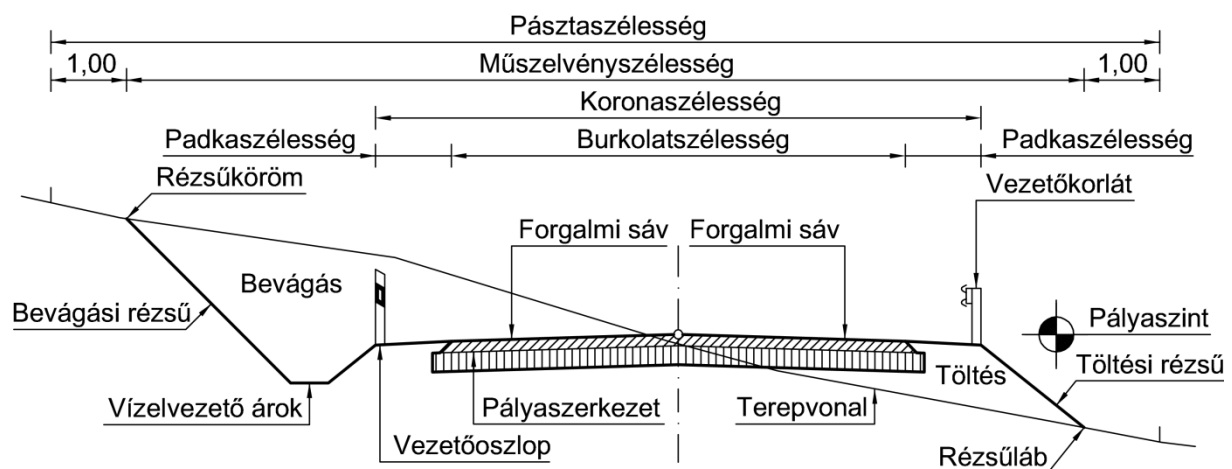
A bevágási rézsú körömpontjától a töltési rézsú talppontjáig (rézsúláb) terjedő távolságot műszelvény-szélességnek, ennek mindkét oldalon 1-1 méterrel megnövelt értékét pásztaszélességnek nevezzük.

Az útfelület azon részét, ahol a járművek közlekednek, járófelületnek nevezzük. Az egy jármű biztonságos haladásához szükséges szélesség a forgalmi sáv, vagy nyom. Az egy forgalmi sávú utakat egynyomú vagy egyjáratú, a két forgalmi sávúkat pedig kétnyomú vagy kétjáratú utaknak nevezzük. A forgalmi sávokhoz mindkét szélén kiegészítő sávok, padkák csatlakoznak.

Járófelület kialakítása szerint az utak lehetnek

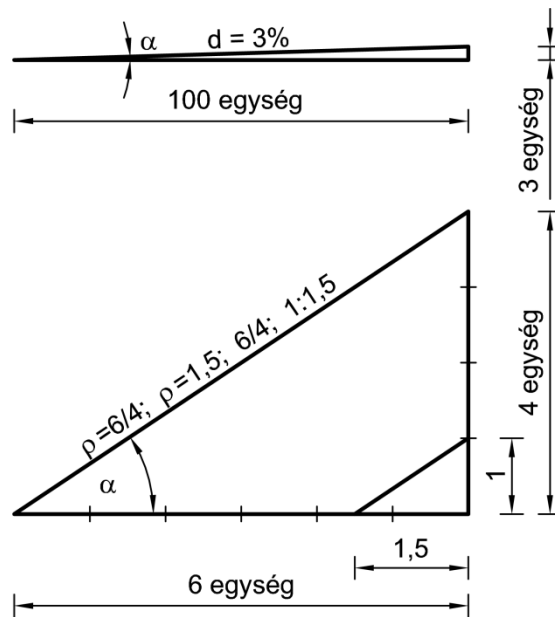
- pályaszerkezettel ellátott (burkolt) utak,
- földutak,
- javított földutak.

A pályaszerkezettel rendelkező utak járófelületét, az alépítmény földanyagától eltérő anyagokból készülő, tervezett vastagságú pályaszerkezettel erősítjük meg. A pályaszerkezet felső, útburkolat rétegének szélessége a burkolatszélesség.



Az útpálya részei

Az útburkolat és a padka kialakítása oldalirányban eséssel történik, a vízvezetés biztosítására. Az esés mértékét %-ban adjuk meg. Ez azt jelenti, hogy 100 vízszintes egységre hány egység magasságcsökkenés jut. Az útépítési gyakorlatban a rézsú hajlását a hajlásszög kotangensével adjuk meg, úgy hogy a nevezőbe 4 kerül (pl.: 5/4, 6/4).



Esés és a rézsűhajlás értelmezése

Járművek jellemzése úttervezési szempontból

Az erdészeti utakat a következő járművek és munkagépek veszik igénybe:

- tehergépkocsik,
- traktorvontatású pótkocsik,
- személygépkocsik,
- autóbuszok,
- erdészeti munkagépek,
- fogatos járművek,
- motorkerékpárok, kerékpárok.

Erdészeti utak tervezésénél mértékadó jármű a pótkocsis tehergépkocsi, amely hatással van:

- a pályaszerkezet vastagságára és anyagára: nagy tengelysúly miatt,
- a magassági vonalvezetésre: kisebb gyorsító képességük és emelkedőn való fokozatos lelassulásuk miatt,
- helysínrajzi ívek minimális sugarára: nagy fordulási sugaruk miatt,
- az ívekben jelentkező pályaszélesítés nagyságára.

A traktorvontatású pótkocsik rövidebb hosszúságú és alacsonyabb kiépítési színvonalú kiszállítóutak közlekedési eszköze. A közúton való közlekedésben forgalmi szempontból hátrányos szerepet játszanak, elsősorban az alacsony haladási sebességük miatt.

A személygépkocsik nagy sebességük miatt közutaknál mértékadók az utak vízszintes vonalvezetésénél, a szükséges forgalmi sávok számának meghatározásánál. Az erdészeti üzem vitelét szolgáló személyszállítás többnyire terepjáró személygépkocsikkal történik. Erdészeti utakon a vízszintes és magassági vonalvezetés tervezésekor a tehergépkocsik igényét vesszük alapul. A személygépkocsik a közutakon megszokottnál kisebb sebességgel közlekedhetnek kielégítő biztonsággal.

Az autóbuszok nagy tengelysúlyuk miatt a tehergépkocsikhoz hasonlítanak, de sebességük nagyobb. Erdészeti utak autóbuszforgalma elsősorban a turisták szállításából adódik. Az autóbusz forgalom hatására a pályaszerkezet igénybevétele jelentősen megnő a nagy tengelysúlyok miatt. Ezért hatásukat a pályaszerkezet méretezésénél figyelembe kell venni.

Az erdészeti munkagépek munkaterületre való fel- és levonulása az erdészeti utakon történik. Az útkeresztmetszet kialakításánál a gépek zavartalan mozgását biztosító úrszelvényre fokozott figyelmet kell fordítani. A nagy tengelysúlyú gépeket a pályaszerkezet méretezésénél is számításba kell venni.

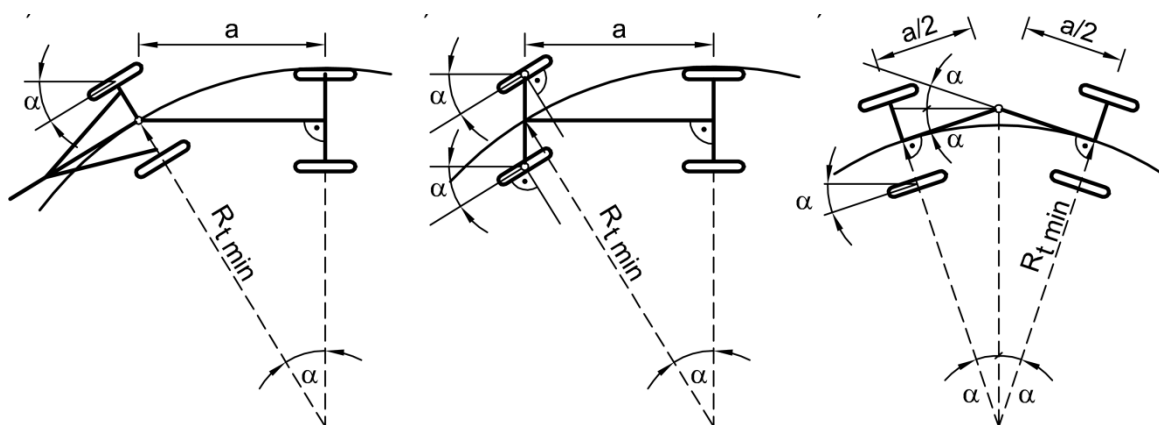
A fogatos járművek részvétele az erdészeti anyagmozgatásban elenyésző. A vasabroncsos szekér és a lópatkó sarokvasa néhány útburkolatra – különösen a vékony aszfaltburkolatokra – nagyon kedvezőtlen hatást gyakorol a felület megbontásával. Ezért ezeken a burkolatokon a vasabroncsos lovas szekér forgalma nem kívánatos.

Az erdőben dolgozók és a turisták közlekedésükhöz motorkerékpárokat, segédmotoros kerékpárokat és kerékpárokat is igénybe vesznek. Az egyre jobban terjedő túramotorozásra az erdészeti utakat felkészíteni nem lehet, ezért azok forgalma nem kívánatos. Ezek forgalma általában nem jelentős. A forgalombiztonságra gyakorolt kedvezőtlen hatásukat csak az úthasználók fokozott figyelmével lehet ellensúlyozni.

Technikai rádiusz

A járművek nagyon fontos jellemzője a legkisebb fordulási sugár, a technikai rádiusz ($R_{t\ min}$). Úttervezés szempontból ezt az első tengely közepén mérjük. Nagyságát a tengelytávolság (a) és a kerék síkjának legnagyobb elfordulási szöge (α) szabja meg:

- szekér- és tengelycsonk kormányzásnál: $R_{t\ min} = a/\sin\alpha$
- alvázcsuklós kormányzásnál, ha a csukló a tengelytávolság felében van: $R_{t\ min} = a/2\text{tg}\alpha$



Technikai rádiusz

Útpályára jutó erőhatások

Az útpályára jutó erőhatások az alábbiak:

- útpályára merőlegesen ható erő,
- útpálya síkjába eső erők,
- útfelületre ható szívóerő,
- kerekeken fellépő túlterhelések,
- dinamikus terheléseket okozó erő.

Az útpályára merőlegesen ható erő a járművek teljes terheléséből származik és a kerekek közvetítésével a kerékfelfekvés felületén adódik át az útpályára.

Az útpálya síkjába eső erők:

- hosszirányú: vonóerő és fékezőerő
- keresztirányú erők: az útfelület oldaleséséből, valamint ívben haladó járműnél a centrifugális erő hatásából adódik. Eseti jelleggel oldalszél hatásából is keletkezhet.

Az út felületére ható szívóerő okai:

- a gépkocsi mögötti légritka térbe benyomuló levegő,
- a gumibroncs és a burkolat között összenyomódott levegő gyors kiterjedése.

A szívóerő nagysága függ a jármű sebességétől, a pálya egyenetlenségeitől és a gumibroncs belső nyomásától. Átlagos értéke: 50 kN/m^2 .

A kerekeken fellépő túlterhelések az alábbiakból adódnak:

- az útfelület oldaleséséből,
- az útpálya emelkedéséből,
- az ívben való haladásnál fellépő centrifugális erő hatásából,
- a motor forgatónyomatékából,
- a pótkocsi vontatásánál fellépő nagyobb vonóerő-igényből.

Az ívekben alkalmazott túlemelés csökkenti a centrifugális erő hatásából adódó túlterhelést és növeli az ívben haladó jármű biztonságát.

A dinamikus terhelések a pályaegyenetlenségek miatt a jármű kerekei dinamikus erővel támadják az útpályát, amelynek nagysága függ:

- a jármű súlyától,
- a kerékabroncstól,
- a jármű sebességétől,
- a jármű építésétől, főleg a rugózásától,
- a burkolat fajtájától és minőségétől.

A dinamikus hatás forrásai a pályafelület egyenetlenségei. Mivel a várható dinamikus igénybevétel és az útfelület egyenetlenségeit kifejező hullámok összefüggésben vannak, ezért a felület minőségének jellemzése a hullámok nagyságának és előfordulásuk gyakoriságának megadásával történik. A hullám mélységét hullámmérő kerékkel mérik. A megengedett hullám nagyságát és számát előírások tartalmazzák.

GÉPJÁRMŰ-ELLENÁLLÁSOK ÉS A VONÓERŐ

Gépjármű-ellenállások

A mozgással szemben fellépő ellenállások az alábbiak:

- gördülési ellenállás,
- emelkedési ellenállás,
- légellenállás,
- összekapcsolási ellenállás,
- kanyarulati ellenállás.

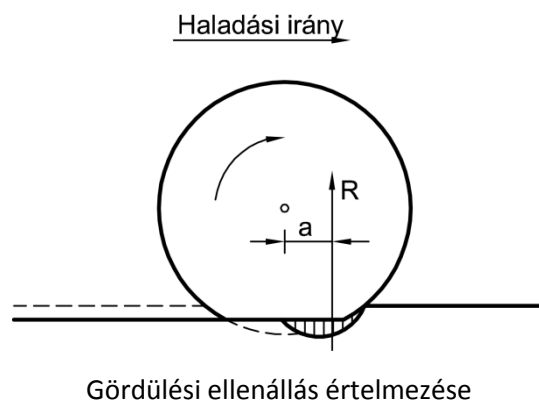
Gördülési ellenállás

A pályaegyenetlenségek leküzdéséből, illetve a pálya és a járószerkezet alakváltozási munkáiból tevődik össze. Szilárd burkolaton a gumiabroncs gördülési ellenállása az abroncs alakváltozásától függ. Ez azonban a kisebb teherbírású pálya esetén módosul. Ha a belső nyomást csökkentjük, növekszik az abroncs felülete, tehát csökken a fajlagos nyomás, azaz a pályában előidézett alakváltozási munka, amely esetünkben az ellenállás zömét teszi ki. A gördülési ellenállás arányos a gördülési ellenállás tényezőjével és a jármű súlyával.

$$E_g = w \cdot Q$$

ahol:

- E_g : gördülési ellenállás (kN),
- w : gördülési ellenállás tényezője,
- Q : jármű súlya (kN).



Emelkedési ellenállás

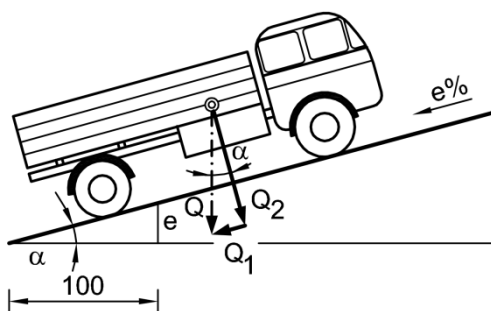
Az emelkedési ellenállás nagysága az emelkedőn felfelé haladó jármű súlyának pályairányú összetevője:

$$E_e = Q_1 = Q \cdot \sin \alpha \cong Q \cdot \operatorname{tg} \alpha = Q \cdot \frac{e\%}{100}$$

ahol:

- E_e : emelkedési ellenállás (kN),
- Q_1 : járműsúly pályairányú összetevője (kN),
- Q : járműsúly (kN),
- α : pálya hajlásszöge,
- e : pálya emelkedője (%).

Lejtőn az E_e negatív, tehát a járműre gyorsító erő hat.



Emelkedési ellenállás értelmezése

Légellenállás

A légellenállás nagysága függ a jármű sebességének négyzetétől és a mozgásra merőleges felület nagyságától:

$$E_l = C \cdot F \cdot v^2$$

ahol:

- E_l : légellenállás értéke (kN),
- C : légellenállási tényező (0,0015-0,0060),
- F : jármű homlokfelülete (m^2),
- v : sebesség (km/h).

Összekapcsolási és kanyarulati ellenállás

Az összekapcsolási ellenállás abból adódik, hogy a két vagy több egységből álló járműszerelvényeknél nagyobb gördülési és légellenállás lép fel. A nagyobb ellenállást kísérleti úton megállapított növelő tényezőkkel vesszük számításba, a következők szerint:

- pótkocsi gördülési ellenállást növelő tényezője:
 - 1 pótkocsival $k_1 = 1,08$,
 - 2 pótkocsival $k_1 = 1,10$;
- pótkocsi légellenállást növelő tényezője:

- 1 pótkocsival $k_2 = 1,32$,
- 2 pótkocsival $k_2 = 1,59$.

Kanyarulati ellenállás

A kanyarulati ellenállás az ívekben fellépő centrifugális erő okozta fokozott gumiabroncskopásban és üzemanyag fogyasztásban nyilvánul meg. A szorzók értékei az oldaleséssel fel nem vett szabad oldalgyorsulás függvényében:

Gumiabroncs-elhasználódás és üzemanyag fogyasztás emelkedése ívekben

Szabad oldalgyorsulás ($\frac{m}{s^2}$)	Kihasznált oldalirányú súrlódás	Gumiabroncs-elhasználódását növelő szorzó	Üzemanyag fogyasztást növelő szorzó
0,5	0,05	1,6	1,05
1,0	0,10	2,2	1,10
1,5	0,15	3,0	1,15

Járművekre ható összes ellenállás

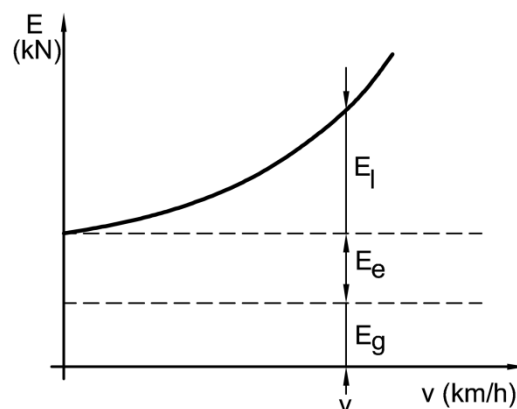
A járművekre ható összes ellenállás értékét:

- kis sebességeknél a gördülési és emelkedési ellenállás,
- nagyobb sebességeknél pedig mértékadóan a légellenállás adja.

$$E = E_g \pm E_e + E_l$$

ahol:

- E : összes ellenállás (kN),
- E_g : gördülési ellenállás (kN),
- E_e : emelkedési ellenállás (kN),
- E_l : légellenállás (kN).



Ellenállások változása a sebesség függvényében

Gépjárművek vonóereje

A gépjármű vonóerejének meghatározásához ismerni kell:

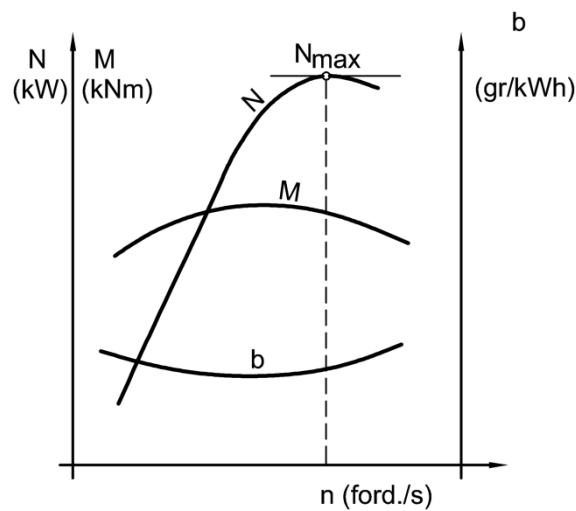
- a meghajtó motor jelleggörbéit, valamint
- a gépjármű erőátviteli szerkezetének jellemző adatait.

Az N motorteljesítményt a főtengely-fordulatszám és a motorfőtengely által leadott forgatónyomaték segítségével számítással határozzák meg:

$$N = M \cdot \omega = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n$$

ahol:

- N : motorteljesítmény (kW),
- M : motor forgatónyomatéka (kNm),
- ω : szögforgás (rad/s),
- n : fordulatszám (ford/s).



Gépjárműmotor jelleggörbéi

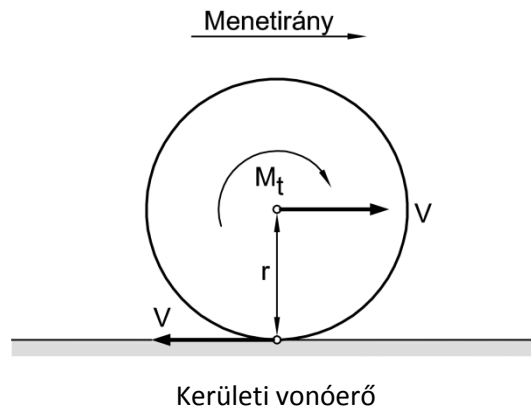
A gépjármű menettulajdonságait erősen befolyásolja, hogy mekkora a legnagyobb motorteljesítmény és a gépjármű teljes súlya közötti arány. Ez az N_{max}/Q érték a gépjármű rugalmasságát fejezi ki. Tehergépkocsiknál különösen tehergépkocsi szerelvényeknél az egységnyi súlyra eső teljesítmény jóval kisebb, így az ellenállások változására jóval érzékenyebbek, mint a személygépkocsik.

Az ellenállásokkal össze-mérhető (V) vonóerő a meghajtott kerekek kerületén ébred:

$$V = \frac{M_t}{r}$$

ahol:

- V : vonóerő (kN),
- M_t : meghajtott tengely nyomatéka (kNm),
- r : meghajtott kerék sugara (m).



Adhéziós vonóerő

A hasznosítható kerületi vonóerő nem lehet nagyobb az adhéziós vonóerőnél (V_{adh}):

$$V \leq V_{adh} = f \cdot Q_{adh}$$

ahol:

- V_{adh} : adhéziós vonóerő (kN),
- f : súrlódási tényező (gumiabroncsos járműveknél: 0,3 – 0,9),
- Q_{adh} - meghajtott kerekre jutó járműsúly (kN).

Az adhéziós vonóerő egy részét a meghajtott kerek gördülési ellenállásának legyőzésére kell fordítani, tehát a hasznosítható vonóerő:

$$V_h = V_{adh} - E'_g = f \cdot Q_{adh} - w \cdot Q_{adh} = Q_{adh} \cdot (f - w)$$

ahol:

- V_h : hasznosítható vonóerő (kN),
- E'_g : meghajtott kerek gördülési ellenállása (kN),
- w : gördülési ellenállás tényezője,
- $(f-w)$: vontatási tényező.

A vontatási energia kedvező hasznosítását tehát a jó tapadást biztosító, kis gördülési ellenállást okozó pályaszerkezetek építése, fenntartása biztosítja.

Vonóerő, sebesség és üzemanyag fogyasztás összefüggése

A meghajtott kerék D átmérője ismert, így a sebességváltó-álláson belül a motor n fordulatszáma és a v kifejtett sebesség közötti összefüggés:

$$v = \frac{3600 \cdot D \cdot \pi}{1000 \cdot u_i \cdot u_d} \cdot n = C_{1i} \cdot n$$

ahol:

- v : haladási sebesség (km/h), n fordulatszámnál,
- 3600 : a ford/s átszámítása ford/h-ra,
- D : a kerék átmérője (m),
- 1000 : átszámítás km-re,
- u_b, u_d : áttételek,
- n : a motor fordulatszáma (ford/s),
- C_{2i} : a sebességváltó álláson belül állandó érték.

A v járműsebesség ismeretében olyan vonóerő görbék számíthatók, amelyek az összes sebességváltó állásban megadják a V - v összefüggést. A ténylegesen kihasznált N motorteljesítményből a V vonóerő számítható:

$$N = V \cdot s = \frac{V \cdot v}{3,6}$$

$$V = \frac{N \cdot 3,6}{v}$$

ahol:

- N : motorteljesítmény (kW) n fordulatszámnál,
- V : vonóerő (kN),
- s : sebesség (m/s),
- v : sebesség (km/h).

Figyelembe kell azonban vennünk az erőátviteli rendszer η_i hatásfokát, amely sebességváltó-állásonként más és más érték lesz. Így:

$$V = \eta_i \cdot \frac{N \cdot 3,6}{v} = C_{2i} \cdot \frac{N}{v}$$

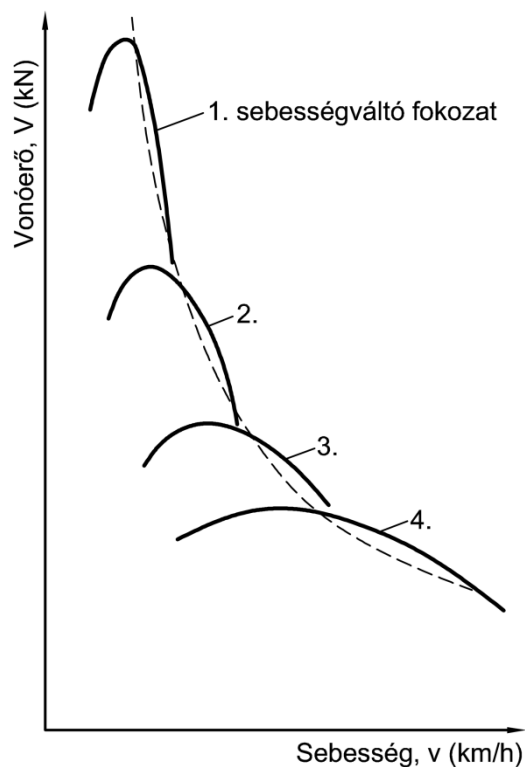
ahol:

- η_i : erőátvitel hatásfoka a sebességváltó-állástól függően,
- $C_{2i} = \eta_i \cdot 3,6$.

A vonóerő-sebesség összefüggés számítási menete a motor-jelleggörbék felhasználásával, sebességváltó-állásonként:

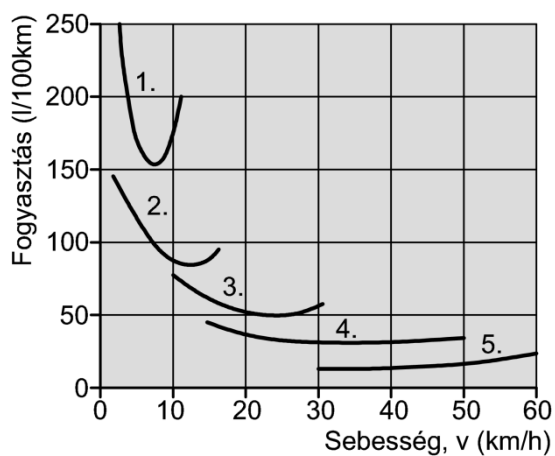
- a felvett n fordulatszámhoz számítjuk a v sebességet,
- a jelleggörbéről az n fordulatszámhoz tartozó N teljesítményt leolvassuk,
- az N és a v adatokkal számítjuk a V vonóerőt,
- koordináta rendszerben sebességváltó-állásonként ábrázoljuk az összetartozó V - v értékeket és megkapjuk a vonóerő-görbét.

Ha a motorteljesítményt egy kb. 80-90%-os kihasználással vesszük figyelembe, akkor egyetlen közelítő burkolóvonóerő-görbét kapunk.



Gépjármű vonóerő görbéi

A motor jelleggörbéiről levezethető adatok segítségével megszerkeszthetők a gépjármű sebességváltó-állásonként változó, sebességtől függő üzemanyag-fogyasztási görbéi.



Üzemanyag fogyasztás a sebességváltó-állás függvényében

A vonóerő görbék alakjából az alábbi összefüggések állapíthatók meg:

- minél nagyobb a sebesség, annál kisebb a kifejthető vonóerő,
- az adott sebesség más sebességváltó-állásban is elérhető,
- meredek pálya emelkedési ellenállása 1., 2. sebességváltó-állás magas vonóerejével legyőzhető, de a fogyasztás erősen megnő.

Ezért úttervezéskor kerüljük a tehergépkocsik által csak az 1., 2. sebességváltó-állásban legyőzhető hosszú, meredek szakaszokat.

Gépjárművek üzemanyag-fogyasztása az útpályától függően

Az üzemanyag-fogyasztást az alábbi tényezők befolyásolják:

- a vezetési mód,
- az évszak és a hőmérséklet,
- a motor futásteljesítménye, beszabályozottsága,
- a jármű sebessége,
- a burkolat fajtája és állapota,
- a vízszintes ívek sugarai és az emelkedő nagysága.

A tehergépkocsik üzemanyag-fogyasztása 3-4% emelkedő felett erősen növekszik.

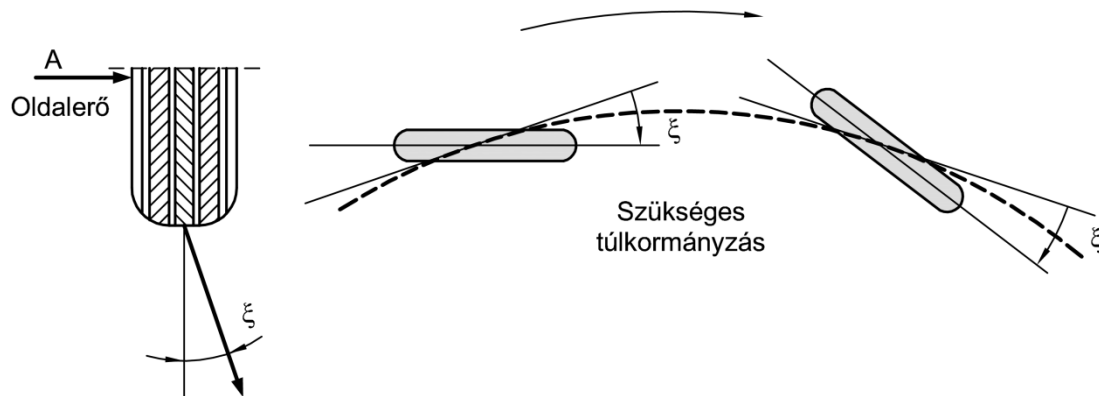
Gépjárművek gumikopása az útpályától függően

A gumiabroncs elhasználódása függ:

- a gyártmány minőségétől,
- a nyom beállításának pontosságától,
- a vezetési módtól,
- a burkolatfelület érdességétől,
- az emelkedők nagyságától,
- a kis sugarú ívek arányától.

A meredek útszakaszok erősen fokozzák a gumiabroncs kopását. A 8%-os emelkedőnél már 100%-al nő a kopás.

Kis sugarú ívekben a centrifugális erő hatására fokozott mértékű gumikopás keletkezik, mivel a kormányzott kerék nem tiszta gördüléssel, hanem a szükséges túlkormányzás szöge miatt surlódva-csúszva gördül, a megfelelő iránytartás miatt.



Súrlódva-csúszva gördülés ívben haladásnál

FÉKEZÉSEK ÉS ELŐZÉSEK

Az útburkolat csúszásellenállása

A burkolatfelület síkjában

- hosszirányú erők lépnek fel: fékezéskor, gyorsításkor és motorikus erő hatására történő haladáskor;

- oldalirányú erők keletkeznek: az oldalszél, vagy a centrifugális erő hatására.

A kétirányú erőhatások gyakran egyszerre lépnek fel és így alakul ki a menetirányra ferde, de a burkolatfelületen ható eredő erő. A fellépő erőket az útburkolat felülete és a gumiabroncsok között ébredő súrlódási erő ($Q \cdot f$) ellensúlyozza.

A súrlódási tényező a burkolat és a gumiabroncs tulajdonságaitól, valamint egyéb tényezőktől függ. Az utat úgy kell megtervezni, hogy az alapul vett sebességgel haladó jármű a pálya minden részén biztonsággal közlekedhessen:

- a vezető egy hirtelen megpillantott akadály előtt határozott, nyugodt, de nem veszélyes fékezéssel megállíthassa a járművet (megállási látótávolság);
- minimális ívsugár betartása, vagy ha ez nem lehetséges a sebességcsökkentést táblával előjelezni.

A ferde irányú F eredő erő

- hosszirányú F_1 komponensét a $Q \cdot f_1$ súrlódási erőkomponens,
- az oldalirányú F_2 komponensét pedig $Q \cdot f_2$ súrlódási erőkomponens ellensúlyozza.

A kielégítő biztonság megszűnik, ha

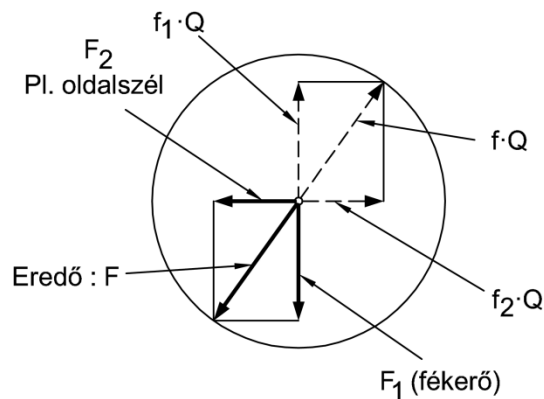
$$F_1 > Q \cdot f_{1max},$$

vagy:

$$F_2 > Q \cdot f_{2max},$$

ahol:

- f_{1max} : a lehetséges maximális hosszirányú súrlódási tényező,
- f_{2max} : a lehetséges maximális oldalirányú súrlódási tényező.

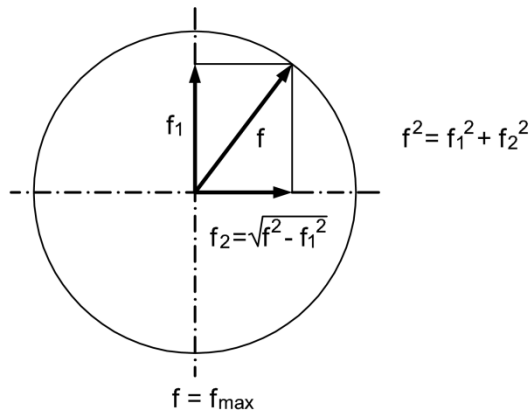


Gépjárműre ható erők és a súrlódási erő egyensúlya

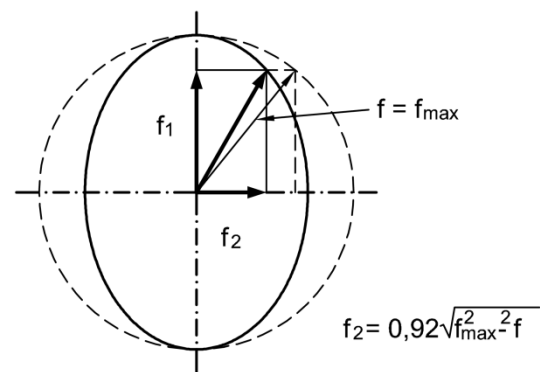
A hossz- és oldalirányú súrlódási tényező összefügg egymással:

- 125 km/h sebesség felett a súrlódási felület kör alakú,
- 125 km/h sebesség alatt a felület ellipszis.

a) $v > 125 \text{ km/óra}$



b) $v < 125 \text{ km/óra}$



Súrlódási kör és ellipszis

Az útpályát úgy alakítsuk ki, hogy

- a járművezetőknek soha se kelljen olyan hirtelen és olyan erősen fékeznie, hogy a rendelkezésére álló $f_{max} = f_1$ súrlódást hosszirányban kényszerüljön teljesen kihasználni. Ez akkor kerülhető el, ha az útpálya minden részén elegendő hosszúságú megállási látótávolságot biztosítunk;
- ívekben a megfelelő nagyságú sugarak és túlemelés alkalmazásával biztosítsuk, hogy a korlátozottan igénybevett f_1 hosszirányú súrlódás mellett megfelelő mértékű f_2 oldalirányú súrlódás maradjon.

Az úttervezés, az építés és a forgalom szempontjából egyaránt fontos, hogy mekkora az útburkolat csúszásellenállása és milyen fő tényezők befolyásolják az f nagyságát. Általában kedvező súrlódási erőhatás csak ott van, ahol kismértékű elmozdulások, kismértékű csúszások történnek a gumiabroncs és a burkolat között.

Hosszirányú súrlódáskor, fékezéskor a fékpofák súrlódása gátolja a kerekeket a forgásban. A gátlás mértéke a létrejövő százalékos körcsúszás, a slip függvényében adódik:

$$slip\% = 100 \cdot \frac{s - r \cdot \omega}{s}$$

ahol:

- s : a jármű haladási sebessége (m/s),
- $r \cdot \omega$: a kerék kerületi sebessége (m/s).

A legnagyobb súrlódás 10-15 %-os slipnél következik be (f_{1max}). A blokkolva fékezés tehát a súrlódási tényező nagyságát is kedvezőtlenül befolyásolja, de emellett a jármű oldalirányú stabilitása, azaz iránytartása is minimálisra csökken. A kihasznált f_1 súrlódási tényező 4 %-os slipnél adódik, ami jóval kisebb az f_{1max} értékénél. Így a fékezési lassulás kisebb és a jármű iránytartása is biztonságos.

Oldalirányú súrlódásnál, az ívben fellépő centrifugális erőnél, súrlódási ellenállás oldalirányban csak akkor alakul ki, ha a kerék kissé „túlkormányozva” az érintőirányhoz képest egy ξ szögű ferde síkkal csúszva gördül.

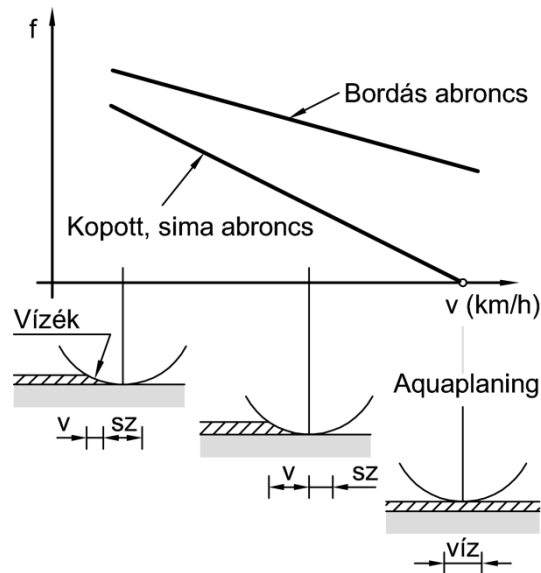
Az f_2 oldalirányú súrlódás kihasznált nagysága a kerékferdeségi szögtől függ. A mértékadónak tekintett közönséges vezetési módnál ösztönszerűen alkalmazott $\xi = 4-5^\circ$ -hoz tartozó f_2 érték elég kicsi.

Vízen csúszás kialakulása és megelőzése

Száraz burkolatnál az f súrlódási tényező alig változik a sebességgel. Nedves, vízfilmmel borított burkolaton viszont a sebesség növekedésével jelentősen csökken az f súrlódási tényező. A csökkenés nagyobb mérvű a sima, zárt felületű burkolaton, kisebb mértékű a durva, mozaikos felületen. Esős, nedves burkolaton vízfilm alakul ki, és vegyes súrlódás lép fel.

A v (km/h) sebesség mellett a kerék alá torlódó víz hidrodinamikai emelőereje Q_v (kN), egyenes arányba nő a sebességgel. Ezen emelőerő miatt a víz-ék részben átveszi a kerék Q (kN) súlyát. Így tehát a teljes Q súlyra vonatkoztatva csak az f_{sz} száraz súrlódásnál kisebb, f súrlódási tényező adódik.

Ha a burkolat és a gumibroncs felülete egyaránt sima, akkor egy kritikus sebességen felül felléphet az ún. aquaplaning, a vízen csúszás rendkívül veszélyes állapota, amikor a gépkocsi kormányozhatatlanná, és fékezhetetlenné válik.



Nedves, vízfilmes burkolaton a súrlódás csökken

A kritikus sebesség (v_{kr}) képlete :

$$v_{kr} \cong 6,8 \cdot \sqrt{p}$$

ahol:

- v_{kr} : kritikus sebesség (km/h)
- p : gumibroncs nyomás (kN/m²)

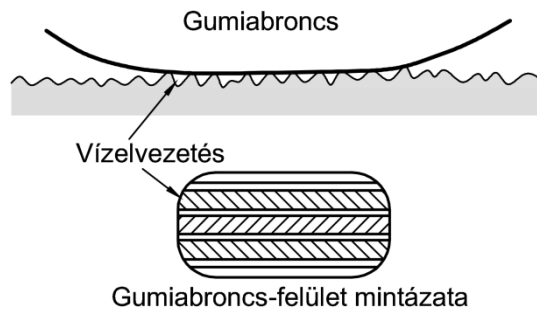
Ez az összefüggés rámutat arra a helytelen felfogásra is, hogy vizes úton a guminyomást csökkenteni kell. Ezzel a csúszásviszonyokat lényegesen lerontjuk, aminek súlyos baleset lehet az eredménye.

A súrlódási tényező nedves burkolaton történő csökkenése ellen

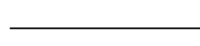

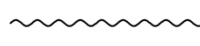
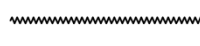

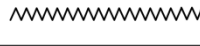

- jól bordázott, nem kopott, nem sima gumiabroncs használatával,
- elegendő oldalesésű pályaburkolattal ($d > 2,5\%$),
- a burkolatfelület érdességének (geometriai érdességének) helyes megválasztásával

lehet védekezni.

Legkedvezőbbek a nagy makroérdességgel (0,1-5mm) és nagy mikroérdességgel (0,01-0,1mm) rendelkező burkolatok. A burkolat makro érdessége és a gumiabroncs bordázata elősegíti a hatékony vízkinyomódást.



A burkolat makro érdessége és a gumiabroncs bordázata

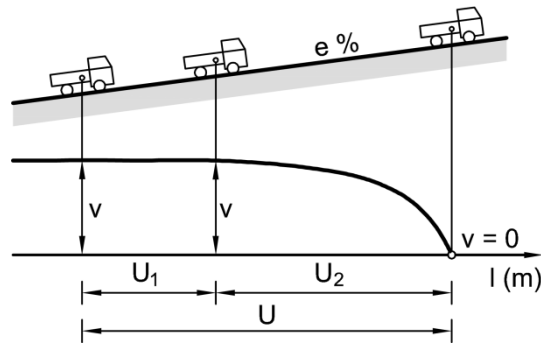
1.		Kisimult felület se finom, se durva felület	Mindenhol kedvezőtlen felületek
2.		Kismértékű durvaérdesség Finomérdesség nincs	
3.		Polírozott felület Csak kis durvaérdesség	
4.		Dörzspapír felület Csak nagy finomérdesség	Alkalmos kisebb sebességnél: $v = 60-70$ km/h alatt
5.		Nagy finomérdesség Kevés durvaérdesség	
6.		Nagy durvaérdesség, nem polírozódó élek, hegyek	Alkalmos nagyobb sebességnél: $v = 80-100$ km/h felett
7.		Nagy durvaérdesség, nagy finomérdességgel	

Burkolatfelület típusok az érdesség szempontjából

A fékezés, a fékút és a megállási látótávolság

A megállási látótávolság a biztonságos körülmények között végzett fékezés hatására megtett fékút nagysága. A fékút az a hossz, amelyet a jármű befut az akadály vezető általi észlelése és a jármű megállása közötti idő alatt. A fékút tehát két részből áll:

- cselekvési úthossz: az akadály megpillantásától a fékszerkezet üzembe helyezéséig tart,
- műszaki fékút: a fékberendezés működtetése és a jármű megállása között megtett út.



A fékút két része és a sebesség alakulása

Az U_1 (m) cselekvési úthosszat a jármű változatlan v (km/h) sebességgel futja be t (s) idő alatt. A cselekvési (reakció) idő a járművezetőktől függ. Átlagosan $t=1s$ értékkel vehető számításba. Így a cselekvési idő alatt megtett út:

$$U_1 = s \cdot t = \frac{v}{3,6} \cdot 1 = 0,28 \cdot v$$

ahol:

- U_1 : cselekvési úthossz (m),
- s : a jármű sebessége (m/s),
- t : cselekvési idő (s),
- v : a jármű sebessége (km/h).

Az U_2 (m) műszaki fékúton a jármű mozgási energiáját a fékezési erő munkája emészti fel. A fékezési erő számításakor, a sebességtől függően változó légellenállást elhanyagoljuk. Ennek alapján:

$$\frac{m \cdot s^2}{2} = \frac{m \cdot v^2}{2 \cdot 3,6^2} = m \cdot g \cdot \left(f_1 \pm \frac{e\%}{100} \right) \cdot U_2$$

Ebből:

$$U_2 = \frac{v^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot \left(f_1 \pm \frac{e\%}{100} \right)} = 0,0039 \cdot \frac{v^2}{f_1 \pm \frac{e\%}{100}}$$

ahol:

- m : a jármű tömege (kg),
- s : a jármű sebessége (m/s),
- v : a jármű sebessége (km/h),
- g : gravitációs gyorsulás ($9,81m/s^2$),
- f_1 : kihasznált hosszirányú súrlódási tényező,
- $e\%$: a pálya emelkedése (+ előjel), illetve lejtése (- előjel),
- U_2 : műszaki fékút hossza (m).

A műszaki fékút hossza a b (m/s^2) fékezési lassulásból számított erő segítségével is kifejezhető. A pálya legyen vízszintes, tehát $e\% = 0$. A mozgási energia ebben az esetben is megegyezik a fékezési munkával:

$$\frac{m \cdot s^2}{2} = m \cdot b \cdot U_2$$

Innen:

$$U_2 = \frac{s^2}{2 \cdot b} = \frac{v^2}{2 \cdot 3,6^2} = 0,039 \cdot \frac{v^2}{b}$$

ahol:

- s : a jármű sebessége (m/s),
- v : a jármű sebessége (km/h),
- b : fékezési lassulás (m/s^2),
- U_2 : műszaki fékút hossza (m).

A fékút hossza az f_1 és $e\%$ alapján:

$$U = U_1 + U_2 = 0,28 \cdot v + 0,0039 \cdot \frac{v^2}{f_1 \pm \frac{e\%}{100}}$$

ahol:

- v : a jármű sebessége (km/h),
- f_1 : a kihasznált hosszirányú súrlódási tényező,
- $e\%$: a pálya emelkedése (+ előjel), illetve lejtése (- előjel),
- U_1 : cselekvési úthossz (m)
- U_2 : műszaki fékút hossza (m).

A fékezési lassulásból (b) számított fékút (U)pedig:

$$U = 0,28 \cdot v + 0,039 \cdot \frac{v^2}{b}$$

ahol:

- U : fékút (m),
- v : a jármű sebessége (km/h),
- b : fékezési lassulás (m/s^2).

Fejben könnyen számítható közelítő fékút képlete, vízszintes pálya esetén:

$$U = 0,3 \cdot v + \left(\frac{v}{10}\right)^2$$

ahol:

- U : fékút (m),
- v : a jármű sebessége (km/h).

Kihasznált hosszirányú súrlódási tényező

A műszaki fékutat U_2 két összefüggéssel számíthatjuk. Ez a két összefüggés természetesen egyenlővé tehető és a fékezési lassulás és a kihasznált hosszirányú súrlódási tényező közötti számszerű összefüggés megállapítható:

$$U_2 = \frac{v^2}{2 \cdot 3,6^2 b} = \frac{v^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot g \left(f_1 \pm \frac{e\%}{100} \right)}$$

ahol:

- v : a jármű sebessége (km/h),
- g : gravitációs gyorsulás ($9,81\text{m/s}^2$),
- f_1 : kihasznált hosszirányú súrlódási tényező,
- $e\%$: a pálya emelkedése (+ előjel), illetve lejtése (- előjel),
- U_2 : műszaki fékút hossza (m).

Ebből:

$$b = g \cdot \left(f_1 \pm \frac{e\%}{100} \right) \cong 10 \cdot \left(f_1 \pm \frac{e\%}{100} \right)$$

ahol:

- b : fékezési lassulás (m/s^2),
- g : gravitációs gyorsulás ($9,81\text{m/s}^2$),
- f_1 : kihasznált hosszirányú súrlódási tényező,
- $e\%$: a pálya emelkedése (+ előjel), illetve lejtése (- előjel).

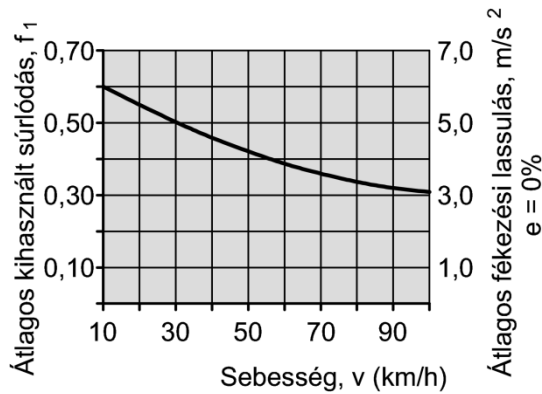
Vízszintes pályán ($e\%=0$) a fékezési lassulás a kihasznált hosszirányú súrlódási tényező tízszeresével egyenlő, azaz:

$$b \cong 10 \cdot f_1$$

ahol:

- b : fékezési lassulás (m/s^2),
- f_1 : kihasznált hosszirányú súrlódási tényező,

Ez az összefüggés azért fontos, mert a kihasznált hosszirányú súrlódást közvetlenül nem tudjuk mérni, arra a mérhető hosszirányú lassulás alapján következtethetünk.



Hosszirányú súrlódási tényező és a fékezési lassulás értékei

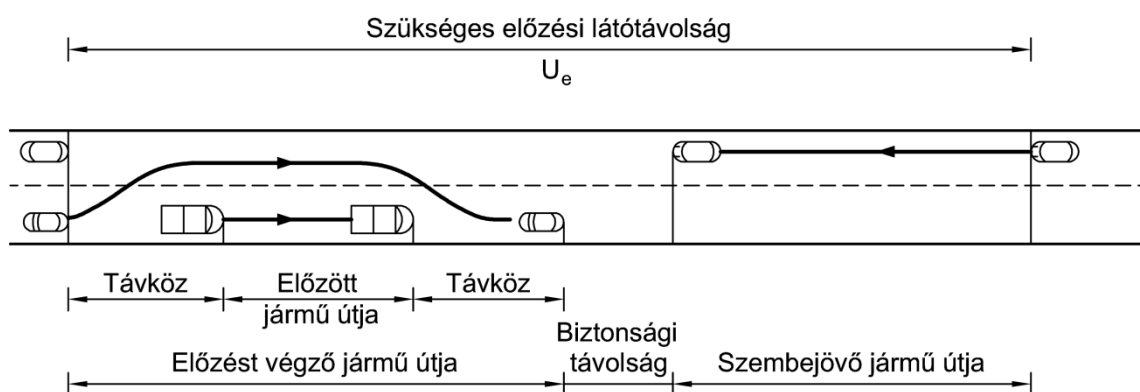
Egy forgalmi sávós útnál a megállási látótávolság a két szembejövő jármű fékútja. Két forgalmi sávós útnál a megállási látótávolság a fékúttal egyenlő.

Havas vagy jeges útpályán a megállási látótávolságnál figyelembe vett átlagos hosszirányú súrlódási tényező nem áll rendelkezésre. A biztonságos közlekedés a sebesség mérséklésével és a pályafelület érdesítésével teremthető meg.

Előzések, előzési látótávolságok

Úttervezéskor gondot kell fordítani arra, hogy az út minél nagyobb hosszában tegyék lehetővé az előzéseket. Emellett az előzési lehetőségek az út vonalán lehetőleg egyenletesen elosztva szerepeljenek. Tervezési szempontból az előzési látótávolság biztosításáról van szó. A gépjárművezető akkor tudja kellő biztonsággal végrehajtani az előzést, ha vissza tud térni saját forgalmi sávjára anélkül, hogy akár a szembejövő, akár a megelőzött gépkocsit fékezésre kényszerítené. A szükséges előzési látótávolság magába foglalja:

- az előzést végző jármű útját,
- a szembejövő jármű útját,
- egy biztonsági távolságot az előzés befejeztével a szembe haladó járművek között.



Az előzés folyamata és az előzési látótávolság

A biztonságos előzés időtartama (t):

- előzés: $t_1=9$ sec,
- biztonsági távolság felének befutása: $t_2=2$ sec,
- $t= t_1+ t_2=11$ sec.

A t időtartam alatt a két jármű szembe fut egymással, kedvezőtlen esetben a szembe jövő is azonos v sebességgel.

Ebben az esetben:

$$U_e = 2 \cdot s \cdot t = 2 \cdot \frac{v}{3,6} \cdot 11 = 6 \cdot v$$

ahol:

$$\begin{aligned} U_e &= \text{előzési látótávolság (m),} \\ s &= \text{előzést végző és a szembe futó jármű sebessége (m/s),} \\ v &= \text{előzést végző és a szembe futó jármű sebessége (km/h).} \end{aligned}$$

A v sebesség helyébe a v_t tervezési sebességet behelyettesítve, kapjuk:

$$U_e = 6 \cdot v_t$$

A teljes előzési látótávolság mellett megkülönböztetjük az ún. redukált előzési látótávolságot is az előzés végrehajtására. Ez a távolság az előzést végző járműnek az előzendő jármű mögé, oldalra való felzárkózásától számítható, amikor az előzést végző jármű még visszahúzódhat az előzendő jármű mögé, ha az előzést a szembejövő jármű miatt nem lehet befejezni. Értéke a teljes előzési látótávolság 2/3-a, tehát:

$$U_e = 4 \cdot v_t$$

Előzési látótávolság két forgalmi sávós erdészeti utaknál

Tervezési sebesség v_t km/h	Teljes előzési látótávolság U_e m	Redukált előzési látótávolság U_{er} m
60	360	240
50	300	200
40	240	160
30	180	120

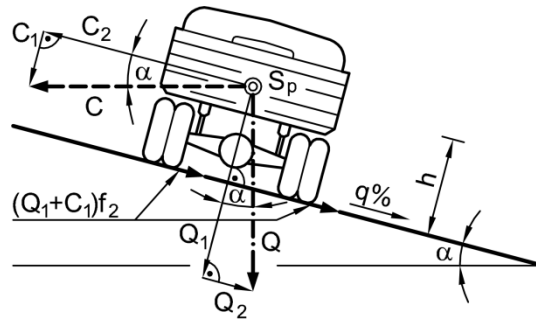
GÉPJÁRMŰVEK HALADÁSA ÍVEKBEN

Mozgás köríves útpályán

A járművet a köríves pályán a burkolat és a gumibroncs között ébredő oldalirányú súrlódás, valamint kisebb mértékben a pálya ív közepe felé eső egyirányú dőlése ($q\%$), a túlemelés miatt keletkező önsúlykomponens, mint centripetális erők tartják a köríven.

Az úttervező számára éppen ezért alapvető annak ismerete, hogy:

- egy R (m) sugarú körívben v (km/h) sebességgel haladó gépkocsi biztonsága hogyan alakul;
- a biztonságot milyen mértékben befolyásolja a túlemelés és az oldalirányú súrlódás;
- egy adott, alapul vett sebességnél mekkora minimális sugárértékeket kell tervezni a kellő biztonság eléréséhez és a balesetveszély csökkentéséhez.



Köríves útpályán mozgó jármű egyensúlya

A kicsúszás határhelyzetének egyensúlyi állapota:

$$C_2 - Q_2 = (Q_1 + C_1) \cdot f_2$$

$$C_2 = (Q_1 + C_1) \cdot f_2 + Q_2$$

$$C \cdot \cos \alpha = Q \cdot \cos \alpha \cdot f_2 + C \cdot \sin \alpha \cdot f_2 + Q \cdot \sin \alpha$$

ahol:

- C : centrifugális erő (kN),
- C_1 : centrifugális erő pályára merőleges komponense (kN),
- C_2 : centrifugális erő pályával párhuzamos komponense (kN),
- Q : járműsúly (kN),
- Q_1 : járműsúly pályára merőleges komponense (kN),
- Q_2 : pályával párhuzamos komponense (kN),
- α : pályafelület vízszintessel bezárt szöge,
- f_2 : kihasznált oldalirányú súrlódási tényező.

A centrifugális erő és a súlyerő értéke:

$$C = \frac{m \cdot s^2}{R}$$

$$Q = m \cdot g$$

$$s = \frac{v}{3,6}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{q\%}{100} = q$$

ahol:

- C : centrifugális erő (kN),
- Q : járműsúly (kN),
- α : pályafelület vízszintessel bezárt szöge,
- f_2 : kihasznált oldalirányú súrlódási tényező,
- m : járműtömeg (kg),

- s : haladási sebesség (m/s),
- R : körív sugara (m),
- g : gravitációs gyorsulás ($9,81(m/s^2)$),
- v : haladási sebesség (km/h),
- $q\%$: pályafelület oldalesése.

Ezek behelyettesítése, az egyenlet $\cos \alpha$ -val való elosztása és m -mel való egyszerűsítés után észrevehető, hogy q és f_2 kis érték, ezért $q \cdot f_2 \cong 0$, tehát elhanyagolható. Így:

$$\frac{v^2}{3,6^2 \cdot 9,81 \cdot R} = f_2 + q$$

ahol:

- f_2 : kihasznált oldalirányú súrlódási tényező,
- R : körív sugara (m),
- g : gravitációs gyorsulás ($9,81(m/s^2)$),
- v : haladási sebesség (km/h),
- q : pályafelület oldalesése ($q\% / 100$).

A v sebesség betartásához szükséges legkisebb ívsugár (határsugár) értéke:

$$R_{min} = \frac{v^2}{127 \cdot (f_2 + q)}$$

ahol:

- f_2 : kihasznált oldalirányú súrlódási tényező,
- R_{min} : legkisebb ívsugár (határsugár) értéke (m),
- v : haladási sebesség (km/h),
- q : pályafelület oldalesése ($q\% / 100$).

Az R sugarú ívben megengedhető legnagyobb sebesség (határsebesség) értéke pedig:

$$v_{max} = 11,3 \cdot \sqrt{f_2 + q} \cdot \sqrt{R}$$

ahol:

- f_2 : kihasznált oldalirányú súrlódási tényező,
- R : körív sugara (m),
- v_{max} : legnagyobb sebesség (határsebesség) értéke (km/h),
- q : pályafelület oldalesése ($q\% / 100$).

A kihasznált oldalirányú súrlódás és az oldalgyorsulás kapcsolata

Az ívben haladó járműre és vezetőjére keresztirányú gyorsulás hat. Ez az oldaleséssel fel nem vett gyorsulás (a). Az ebből származó erőt a súrlódási erőnek kell felvenni.

$$C_2 - Q_2 = a \cdot m \cdot \cos \alpha$$

ahol:

- C_2 : centrifugális erő túlemeléssel párhuzamos összetevője (kN),
- Q_2 : járműsúly túlemeléssel párhuzamos összetevője (kN),
- α : pályafelület vízszintessel bezárt szöge,
- a : szabad oldalgyorsulás (m/s^2).

Elvégezve a

$$C_2 = C \cdot \cos \alpha, Q_2 = Q \cdot \sin \alpha,$$

$$C = \frac{m \cdot v^2}{3,6^2 \cdot R}$$

$$Q = m \cdot g$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{q\%}{100} = q$$

behelyettesítéseket, m -mel egyszerűsítve és átrendezve az oldaleséssel fel nem vett szabad oldalgyorsulást kapjuk:

$$a = \frac{v^2}{13 \cdot R} - g \cdot q$$

ahol:

- a : szabad oldalgyorsulás (m/s^2),
- R : körív sugara (m),
- g : gravitációs gyorsulás ($9,81(m/s^2)$),
- v : haladási sebesség (km/h),
- q : pályafelület oldalesése ($q\% / 100$).

Az oldaleséssel fel nem vett kicsúsztató erőt a súrlódási erő egyenlíti ki:

$$a \cdot m \cdot \cos \alpha = (Q_1 + C_1) \cdot f_2 = (Q \cdot \cos \alpha + C \cdot \sin \alpha) \cdot f_2$$

ahol:

- C : centrifugális erő (kN),
- Q : járműsúly (kN),
- α : pályafelület vízszintessel bezárt szöge,
- f_2 : kihasznált oldalirányú súrlódási tényező,
- m : járműtömeg (kg),
- a : szabad oldalgyorsulás (m/s^2).

Az egyenletet osszuk el $\cos \alpha$ -val. A C és Q értékét helyettesítsük be. A $\operatorname{tg} \alpha \cdot f_2 = q \cdot f_2$ értéket kis értéke miatt hagyjuk el. Egyszerűsítsünk m -mel, rendezzük az egyenletet, aminek eredménye:

$$a = g \cdot f_2 \cong 10 \cdot f_2$$

ahol:

- f_2 : kihasznált oldalirányú súrlódási tényező,
- g : gravitációs gyorsulás ($9,81(m/s^2)$),
- a : szabad oldalgyorsulás (m/s^2).

A szabad oldalgyorsulás tehát az oldalirányú súrlódási tényező tízszeresével egyenlő. Az f_2 nagyságát a gépjárművezető csak az oldalgyorsulás érzékelésével mérheti fel, amelynek nagysága mérések szerint: $0,9-2,5m/s^2$. Az erdészeti utak tervezésénél alapul vett sebességek alacsonyak ($v_{max}=60km/h$). Ezért az oldalirányú súrlódási tényezőt viszonylag magas $f_2 = 0,15-0,20$ között vehetjük számításba.

A túlemelés mértéke erdészeti utak tervezésénél az ívsugár függvénye.

A túlemelés értéke ívekben

Vízszintes körívsugár R m	Túlemelés q %
15-50	6
50-100	5
100-200	4
200-300	3
300-500	2
500-	d%

A kerekek túlterhelése és ennek hatása ívekben

Az oldalgyorsulás hatására a külső kerekre nagyobb, a belsőkre pedig kisebb terhelés jut, mint egyenes pályán való haladásnál. A T_0 túlterhelés (illetve a tehermentesülés) értéke:

$$m \cdot a \cdot h = T_0 \cdot t$$

innen:

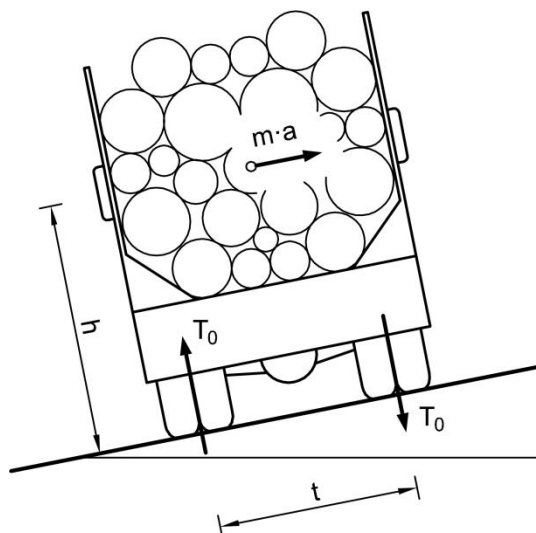
$$T_0 = \frac{m \cdot a \cdot h}{t}$$

A túlterhelési százalék értéke pedig:

$$T\% = 100 \cdot \frac{T_0}{Q/2} = \frac{200 \cdot m \cdot h}{m \cdot g \cdot t} \cdot a = 20 \cdot \frac{h}{t} \cdot a$$

ahol:

- m : járműtömeg (kg),
- a : oldalgyorsulás (m/s^2),
- h : járműsúlypont magassága a pályasíktól (m),
- T_0 : túlterhelés (illetve tehermentesülés) (kN),
- t : nyomtávolság (m),
- Q : járműsúly (kN),
- g : gravitációs gyorsulás ($9,81 \cong 10 m/s^2$).



A keréksúlyok változása ívben haladáskor

A külső kerekek túlterhelése még az utazás kényelmét biztosító esetekben is 25-30% lehet. A túlterhelés káros következményei:

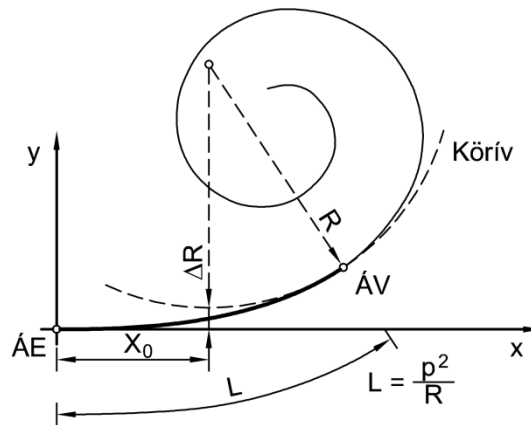
- megnő a kerékre jutó súly, ami fokozza a gumiabroncs igénybevételét, és csökkenti annak élettartamát;
- teherszállító járműveknél és autóbuszoknál a külső keréksor alatt erősen megnő a pályaszerkezet igénybevétele, ami fokozott elhasználódást eredményez;
- a külső keréksoron nő a kihasznált oldalirányú súrlódási tényező, az f_2 értéke, ami jegesnyálkás úton veszélyes lehet.

Járművek felborulási veszélye ívekben

Az ívben haladó magas súlypontú tehergépkocsikat a fellépő centrifugális erő a felborulás veszélyével fenyegeti. Számítások bizonyítják, hogy nedves útfelületnél jóval kisebb sebességnél következik be a kicsúszás, mint felborulás. A felborulás csak száraz, igen érdes burkolatnál, kis sugarú ívben, a megengedett sebesség igen erős túllépése esetén fordul elő. Tehát a tervezésnél a felborulási veszélyt nem kell mértékadónak tekinteni.

Az átmeneti ív keletkezése, alapegyenlete és fő jellemzője

Amikor az útpálya tengelye egyenesből közvetlenül érintőlegesen megy át a körívbe, akkor a gépjárműnek az egyenesből az R sugarú ívbe kanyarodó vonala eltér az úttengelytől. A gépjármű egy átmeneti ívet ír le, amely az egyenest és a körívet összeköti. Az átmeneti ív az egyenestől $r = \infty$ sugárral indulva tér el, és a görbületét egyenletesen növelve, érintőlegesen, L hosszon, $r = R$ sugárral csatlakozik a köríves pályához.

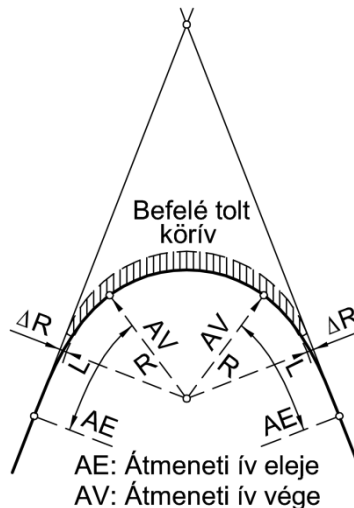


A klotoidgörbe kezdő része az átmeneti ív

Az átmeneti ívvel keletkező körív befelé tolódás jelentősége

Az átmeneti ív fontos geometriai tulajdonsága, hogy a körívet az egyenestől egy ΔR mérettel, az úgynevezett körívveltolással befelé tolja.

Kis és részben közepes útkanyarulatnál a gépjármű természetes útjának megfelelően az R sugarú körív két oldalára egy-egy átmeneti ív kerül. Ez főként a keskeny zömében egy forgalmi sávos erdészeti utaknál fontos. Ez az átmeneti ív erdészeti útépítési alkalmazásának eredeti és első oka.



A körív befelé tolódása

Dinamikailag szükséges legkisebb átmeneti ívhosszak nagysága

Dinamikailag szükséges átmeneti íveknek nevezzük azokat az átmeneti íveket, amelyeket a jármű természetes útjának említett befelé tolódása miatt, az ellenkező irányú forgalmi sáv védelme és a burkolatfelület kihasználása érdekében alkalmazunk az úttervezésnél. Az ilyen okokból alkalmazott átmeneti ívek csak egy minimális L_{min} vagy annál nagyobb hossz esetén felelnek meg a gépkocsi természetes útjának.

Az átmeneti ív hosszán a görbület, és ezzel együtt a centrifugális gyorsulás lineárisan emelkedik 0- tól a körív a_R oldalgyorsulásáig. Ha az átmeneti ív túl rövid, akkor az oldalgyorsulás növekedése gyors, oldallökéshez hasonló hatású. Az oldalgyorsulás változásának sebessége a k oldallökés, amelynek képlete:

$$k = \frac{da}{dt}$$

ahol:

- k : oldallökés (m/s^3)
- a : oldalgyorsulás (m/s^2),
- t : az átmeneti ív befutásának ideje (s).

Az oldallökés nem lehet egy kísérleti érzésküszöb nagyságánál magasabb, mert a jármű utasai és vezetője számára kellemetlen, bizonytalan érzéssel jár. Erdészeti utaknál ez: $k=0,5-0,8 m/s^3$.

Az R sugarú, $q\%$ túlemelésű körívben, v (km/h) sebességnél a gépkocsira ható szabad oldalgyorsulás nagysága:

$$a = \frac{v^2}{13 \cdot R} - g \cdot q$$

Az L átmeneti ívhossz befutásához szükséges t idő nagysága:

$$t = \frac{a}{k} = \frac{v^2}{13 \cdot R \cdot k} - \frac{g \cdot q}{k}$$

A t idő alatt befutott út, az L pedig:

$$L = t \cdot \frac{v}{3,6} = \frac{v^3}{3,6 \cdot 13 \cdot R \cdot k} - \frac{g \cdot q}{3,6 \cdot k} \cdot v$$

ahol:

a	=	oldalgyorsulás (m/s^2)
v	=	sebesség (km/h),
R	=	ívsugár (m),
g	=	gravitációs gyorsulás ($9,81 m/s^2$),
q	=	túlemelés ($q\%/100$),
t	=	átmeneti ív befutásának ideje (s),
k	=	oldallökés értéke (m/s^3)
L	=	átmeneti ív szükséges hossza (m).

A dinamikai szempontból szükséges átmeneti ívhossz minimális nagysága v sebességnél:

$$L = \frac{v^3}{46,6 \cdot R \cdot k} - \frac{2,72 \cdot q \cdot v}{k}$$

ahol:

v	=	sebesség (km/h),
R	=	ívsugár (m),
q	=	túlemelés ($q\%/100$),
k	=	oldallökés értéke (m/s^3)
L	=	átmeneti ív szükséges hossza (m).

Az összefüggésben szereplő v helyébe a tervezési sebességet v_t -t behelyettesítve nyerjük azt az L_{min} -ot, a dinamikailag legkisebb átmeneti ívhosszat, amelyet tervezéskor minden esetben figyelembe kell venni:

$$L_{min} = \frac{v_t^3}{46,6 \cdot R \cdot k} - \frac{2,72 \cdot q \cdot v_t}{k}$$

ahol:

v_t	=	tervezési sebesség (km/h),
R	=	ívsugár (m),
q	=	túlemelés (q%/100),
k	=	oldallökés értéke (m/s ³)
L	=	átmeneti ív szükséges hossza (m).

A dinamikailag szükséges átmeneti ív erdészeti utaknál akkor hagyható el, ha $\Delta R \leq 0,15$ m. A tervezés során a dinamikailag szükséges legkisebb átmeneti ívhossznál rövidebb átmeneti ív nem tervezhető.

Az erdészeti utak tervezésénél a dinamikailag szükséges legkisebb átmeneti ívhosszakot a tervezési sebesség függvényében az EUTI táblázatos formában tartalmazza.

A minimálisnál hosszabbra választott átmeneti ív kedvezőbb gépjárműmozgást tesz lehetővé, valamint előnyös pályaesztétikai és rendszerint útépitési szempontból is.

Dinamikailag szükséges legkisebb középponti szög

A belépő és kilépő átmeneti ív közötti körív legfeljebb 0-ig csökkenthető. Ha az átmeneti ívek hossza L_{min} , akkor a klotoid átmeneti íves körív középponti szöge a dinamikailag szükséges legkisebb középponti szöggel lesz egyenlő:

$$\alpha_{min} \geq 2 \cdot \tau_{min}$$

Az L_{min} tervezésének feltétele, hogy az ív középponti szöge és a dinamikailag szükséges legkisebb középponti szög közötti viszony a következő legyen:

$$\alpha \geq \alpha_{min}$$

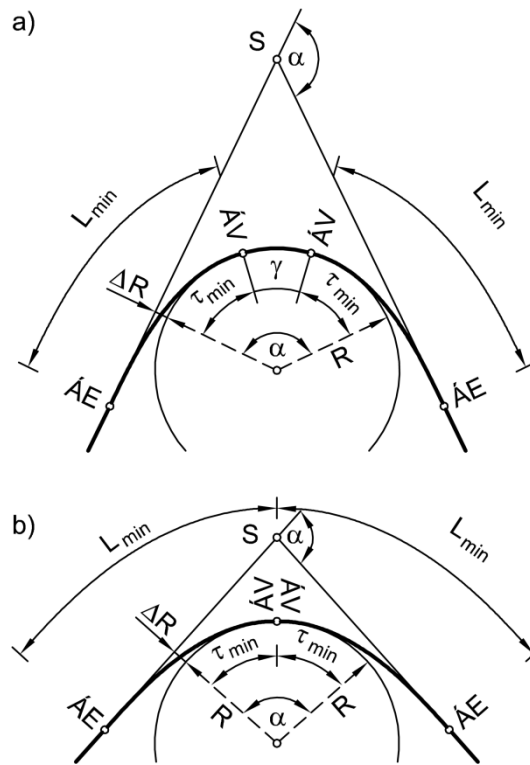
Amikor az L átmeneti ívhosszat nagyobbra választjuk, mint az L_{min} , akkor a beillesztéshez szükséges középponti szög is nagyobb lesz. Az elhelyezés feltétele:

$$\alpha \geq 2 \cdot \tau$$

ahol:

α	=	a körív középponti szöge.
τ	=	az L átmeneti ív középponti szöge.

Erdészeti utaknál szükséges legkisebb középponti szögek értékeit az EUTI táblázatos formában tartalmazza.



Dinamikailag szükséges legkisebb középponti szög nagysága

FORGALOM ÉS KIÉPÍTÉS KAPCSOLATA

FORGALOM ÉS KIÉPÍTÉS KAPCSOLATA

Forgalomnagyság jellemzése

A tervezés feladata, hogy a forgalom nagyságát, az út kiépítési színvonalát és a gazdasági lehetőségeket összehangolja.

Az erdészeti utak forgalmának jellemzésére legtöbbször az alábbi adatokat használjuk fel:

- évi átlagos napi forgalomnagyság (\overline{ANF} [E/nap]),
- fatérfogatban kifejezett évi forgalom (Q [m^3 /év]),
- tervezési forgalom (F_{100}).

Az Évi átlagos napi forgalomnagyság érték (\overline{ANF} [E/nap]) a vizsgált útkeresztszmet vagy útszakasz teljes évi áthaladt járműszámának és a forgalom lebonyolítására fordítható napok számának hányadosa.

A forgalom összetétele igen fontos a forgalomnagyság megítélésénél. A különböző fajtájú járműveknek ugyanis nagyon eltérő a forgalmat zavaró hatásuk. A különböző fajtájú járművekből álló forgalomnagyságok összehasonlításához, a különböző járműveket személygépkocsi-egységjárművekre (E) számítjuk át.

Átszámítási tényezők személygépkocsi-egységjárműre és fatérfogatra

Járműfajta	Átszámítási tényező	
	személygk. egységjárműre db/jármű	fatérfogatra m^3
Személygépkocsi	1,0	1,3
Motorkerékpár	0,8	0,3
Autóbusz	2,5	9,0
Pótkocsi vontató	2,5	6,0
Tehergépkocsi	2,5	6,0
Pótkocsi tehergépkocsi	2,5	9,5
Hosszúfás szerelvény	4,0	15,0
Fogat	3,0	1,5
Kerékpár, moped	0,3	0,1

Az \overline{ANF} értékre szükség van a tervezési sebesség, a forgalmi sáv szélességének, számának és a földmű koronaszélességének megválasztásánál.

A fatérfogatban kifejezett évi forgalom (Q [m^3 /év]) az évenként leszállításra tervezett fatérfogatot jelenti. Ennek alapján is megválaszthatjuk a tervezési sebességet, a forgalmi sáv szélességét és számát, valamint a földmű koronaszélességét. A forgalom ezen értéke alkalmas a fenntartási munkák és azok költségei megtervezésére is ($1 m^3 \cong 10 kN$).

Az F_{100} tervezési forgalom, más néven pályaszerkezet-tervezési vagy burkolatmegerősítés-tervezési forgalom. A tervezési élettartamra (pl. 15 év) megadja az átgördülő nehéz forgalom járműveinek számát 100 kN-os egységtengely darabszámban. Az F_{100} használatos:

- új pályaszerkezetek méretezésére és tervezésére,
- meglévő útburkolat megerősítés-számításához,
- burkolat-fenntartási igények és anyagok felmérésére.

Várható forgalom meghatározása

A forgalom túlnyomó részét kitevő faanyagszállítás nagysága a területre kidolgozott Erdőfeltárási tervek alapján kielégítő pontossággal meghatározható. Ezek a tervek segítséget nyújtanak a faanyagszállításon kívül keletkező egyéb forgalom várható mértékének megállapításához is.

Az erdészeti utak forgalmának összetevői és azok nagyságának meghatározása:

- Faanyagszállítás. Az erdőgazdasági üzemtervek adatainak felhasználásával készített Erdőfeltárási tervek megadják a tervezett út fatérfogatban kifejezett forgalmát, melynek alapján a Q ($m^3/év$) ismertté válik. A szállító jármű fajtájának ismeretében a fordulók száma és az átszámító tényezők segítségével az $\dot{A}NF$ (E/nap) forgalomnagyság kiszámítható;
- Munkásszállítás. Az üzemtervből és a termelésfejlesztési tervekből az elvégzendő munkák mennyisége meghatározható. A szükséges munkáslétszám, a szállításra használt járműfajta, valamint az áthaladások száma előre megtervezhető;
- Irányítást és ellenőrzést valamint gazdasági tervezést (pl. erdőrendezést) végző személyek közlekedése a területen folyó tevékenység alapján becsülhető meg;
- Munkagépek fel- és levonulásából adódó forgalom nem nagy. Nagysága a gazdálkodás technikai színvonalának függvényében változik és üzemi tapasztalatok alapján vehető számításba;
- Egyéb erdei termékek, valamint a munkavégzéshez szükséges anyagok szállítása. Ide soroljuk az erdei melléktermékek, magvak, csemete, üzemanyag, növényvédő szerek, műtrágya stb. szállítását. A forgalom mértéke az üzemterv, fejlesztési tervek és a helyi körülmények értékelése alapján vehető figyelembe;
- A vadászat, vadgazdálkodás által keltett forgalom többletének számításba vételéhez a Vadgazdálkodási üzemterv nyújt segítséget. Emellett felhasználhatjuk a vadgazdálkodás fejlesztését is tartalmazó, hosszú lejáratú terveket;
- A közjóléti erdőkben a forgalom tekintélyes részarányát teszi ki a turisták közlekedése saját személygépkocsival, vagy autóbusszal. A forgalom várható nagyságának megállapítására a környezetfejlesztési tervek és a regionális területfejlesztési tervek, valamint az ezekben foglaltakat figyelembe vevő, komplex szemlélettel kialakított Erdőfeltárási tervek szolgáltatnak alapadatokat.
- Építőanyagok szállítása. A kitermelésre tervezett anyagmennyiség a Bányaművelési terv segítségével számítható. Az erdészeti utak építéséhez szükséges építőanyagok előrebecsléséhez az Erdőfeltárási terv, illetve a gazdálkodó Műszaki fejlesztési terve szolgáltat kiindulási adatokat. Számításba vesszük továbbá az egyéb létesítmények építéséhez szükséges szállításokat is.

A forgalom nagyságát a felsorolt összetevők számértékeinek összege adja. Ha a forgalom döntő hányada a faanyag szállításból keletkezik, akkor a forgalom jellemzésére a Q ($m^3/év$) mértékegységet használjuk. Amennyiben a faanyag szállításán kívül jelentkező forgalmak lesznek meghatározók, akkor az $\dot{A}NF_{20}$ (E/nap) mértékegységet használjuk. Célszerű azonban a forgalmat mindkét mértékegységben megadni.

Az akadályoztatás jellege és hatása

Az útépités költségét a terepi adottságok és az igazodás a meglévő létesítményekhez nagymértékben befolyásolják. A domborzati viszonyok, beépítettség és egyéb akadályozó tényezők az akadályoztatási jelleg szerinti besorolással vehetők figyelembe. Ezek a következők:

- „S” jellegű a síkvidéken széles, lapos völgyekben, korlátozó tényezők nélküli területen haladó út;
- „D” jellegű a dombvidéken, keskenyebb völgyekben, vagy ritka beépítettség között haladó út;
- „H” jellegű a hegyvidéken, szűk, meredekfalú völgyekben, vagy sűrű beépítettség között haladó út;
- „N” jellegű az erősen tagolt, meredek hegyvidéken, vagy sűrűn beépített városközpontokban haladó út.

Az akadályoztatás nehézségi fokának emelkedésével – változatlan kiépítési színvonal mellett – az építési költség erős növekedésével kell számolni.

A tervezési sebesség fogalma

Új út tervezése és meglévő út korszerűsítése esetén alapul vett, a tervezés és a kiépítés egyenletes színvonalát és biztonságát elősegítő elméleti sebességérték (v_t [km/h]). Ezt a tervezési sebességet kis forgalom mellett az úton bárhol, a kis sugarú ívekben és emelkedőn, valamint nedves, esős útburkolaton is biztonságosan ki kell tudni fejteni. Értékét a várható forgalom nagyság, az útkategória, az akadályoztatási jelleg határozza meg.

Forgalom nagyság, akadályoztatás és a tervezési sebesség összefüggése

Az út jövőben várható forgalom nagysága szerint az erdészeti feltáróutakat a kiépítés színvonalát tekintve két osztályba soroljuk. Az egyes osztályokon belül az akadályoztatás nehézségi fokának emelkedésével csökken a tervezési sebesség, tehát csökken az út kiépítési színvonala, de ugyanakkor mérséklődik a terep jellegéből adódó építési költség-növekedés is.

Forgalom nagyság, akadályoztatás és a tervezési sebesség összefüggése

Útosztály	Forgalom időtartama évente (nap/év)	Évi forgalom fatérfogatban Q (m ³ /év)	Évi átlagos napi forgalom $\bar{A}NF_{20}$ (E/nap)	Akadályoztatás jellege	Tervezési sebesség v_t (km/h)
I. o. feltáróút két forgalmi sávval	300	25000-100000	120 felett	S	60
				D	50
				H	40
				N	30
II. o. feltáróút	240	5000-25000	61-120	S	40
				D	30
				H	30
				N	20

KERESZTMETSZETI TERVEZÉS

KERESZTMETSZET FORGALMI ÉS GEOMETRIAI TERVEZÉSE

Térbeli vonalvezetés

A gépjárművezető az út vonalát, szalagját mindig térben, távlati perspektivikus rövidülésben látja. Az utat úgy kell megtervezni, hogy tegye lehetővé a biztonságos közlekedést a tervezési sebességgel haladó gépjármű számára és esztétikusan, kellő változatosságot nyújtva simuljon a tájba.

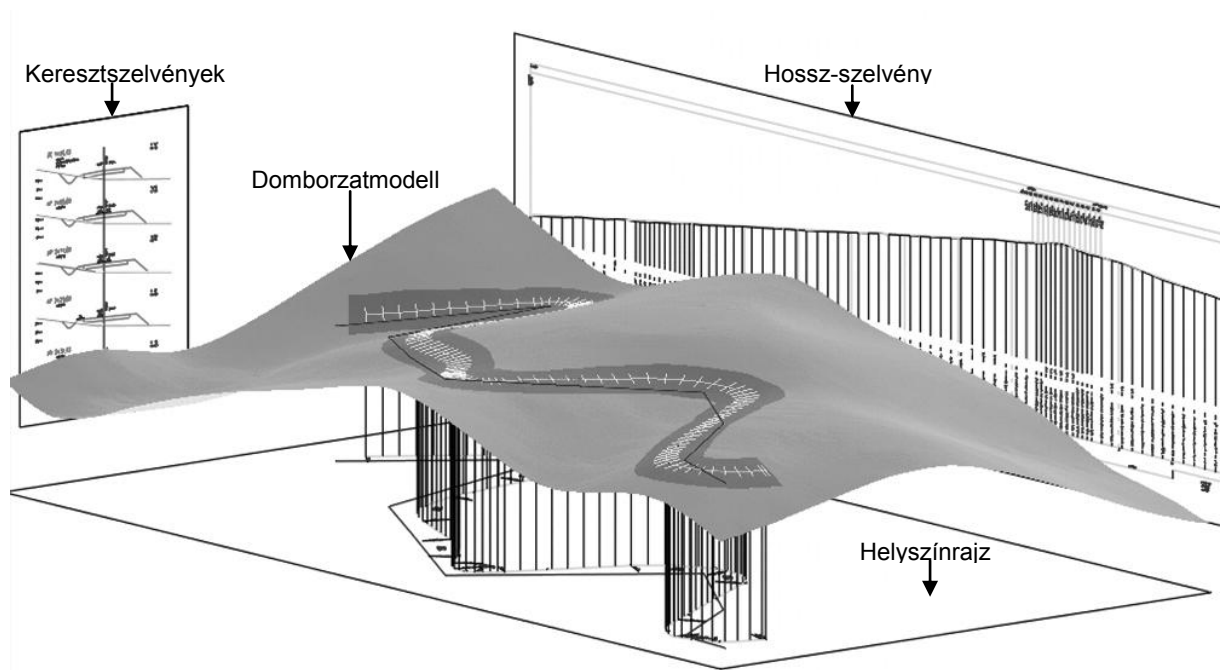


Térbeli vonalvezetés

Feltáróutak tervezésének fontosabb munkarészei

Az úttervezés munkája három, szinte mindig párhuzamosan készítendő, egymással állandóan kölcsönhatásban álló tervcsoport elkészítéséből áll:

- keresztmetszeti tervezés (keresztszelvények),
- helyszínrajzi vonalvezetés tervezése (helyszínrajz),
- magassági vonalvezetés tervezése (hossz-szelvény).



Az úttervezés fő munkarészei

A fő munkarészekon kívül mind a forgalombiztonság, mind az út térbeli vonalvezetése szempontjából egyaránt fontos a helyszínrajzi ívek burkolatszéléinek helyes kialakítása.

Az útpálya és a földmű vízelvezetésének, illetve víztelenítésének a helyi adottságokat figyelembevevő jó megoldása nagymértékben hozzájárul ahhoz, hogy a megépült út minél kevesebb fenntartási beavatkozás mellett minél hosszabb ideig betöltse funkcióját.

Az út térbeli vonalvezetése, a megállási és az előzési látótávolságok megléte, vagy hiánya igen jelentősen befolyásolja az útszakasz forgalombiztonságát, átlagsebességét és a megengedett forgalom nagyságát, ezért ezek ellenőrzésére és helyes kialakítására a tervezés során folyamatosan nagy gondot kell fordítani.

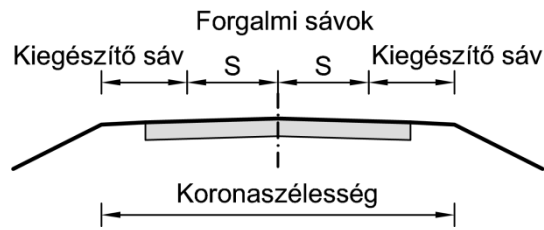
A tervezés fontos feladata, hogy a kivitelezéshez szükséges összes információt megadja. Ezek közé tartozik a tervezett út tengelyének az érintett területen történő kitűzése és állandósítása.

Az erdészeti utak tervezését az EUTI szerint kell végezni.

A keresztmetszet forgalmi és geometriai tervezése

Az út keresztmetszvényének tervezési sorrendje:

- forgalmi tervezés: a mértékadó forgalom (ÁNF20 vagy Q) ismeretében a tervezési táblázat alapján dönthetünk az útosztályba sorolásról és a forgalmi sávok számáról.
- geometriai tervezés: a tervezési sebességet és az útkeresztmetszet szélességi méreteit (burkolat-szélesség, padkaszélesség, koronaszélesség) az akadályoztatás függvényében választhatjuk meg.
- szerkezeti tervezés: a keresztmetszvényben az útpályaszerkezet méretezése és tervezése, a szegélykialakítás figyelembevételével.



Az útfelület részei

Forgalmi sávok szélessége

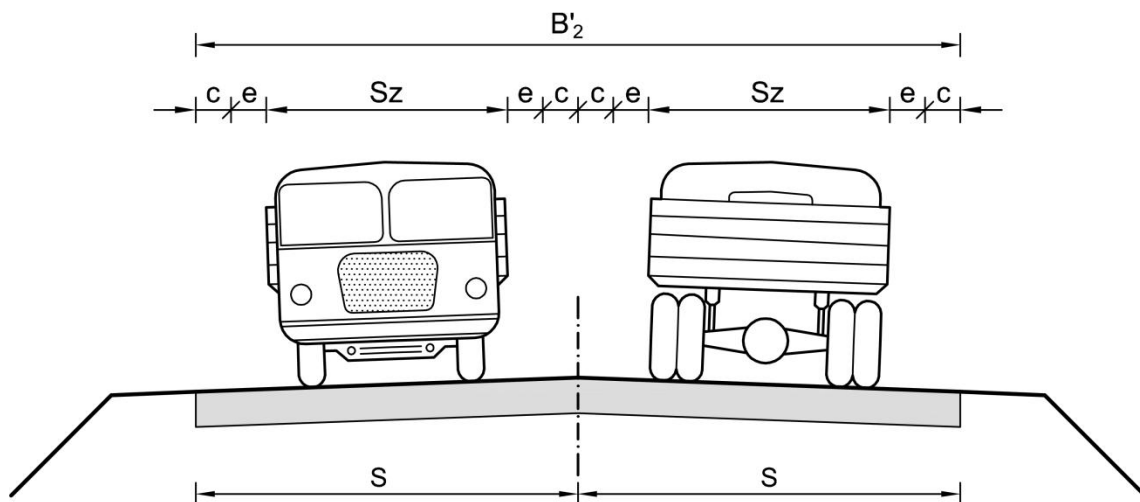
A forgalmi sáv szélessége összetevődik:

- a jármű szélességéből (2,50 m),
- a jármű kigyózó mozgásából adódó szélességtöbbletből (min. 0,15 m),
- biztonsági sávból (min. 0,10 m).

Ez alapján a minimális sáv szélesség: 3,00 m.

Egyjáratú erdészeti utak burkolatának szélessége: 3,00 vagy 3,50 m.

Kétjáratú erdészeti utak forgalmi sávjainak szélessége: 6,00 m.



Forgalmi sávok szélessége

Kiegészítő sávok

Kiegészítő sávok: leállósávok, padkák

Erdészeti utaknál a tervezési sebesség alacsony és ezért leállósávot nem is építünk.

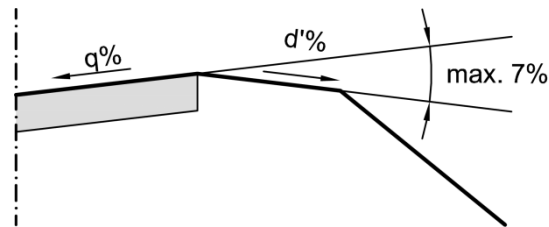
Padkaszélesség:

- I.o. utaknál: 0,50 vagy 1,00 m,
- II.o. utaknál: 0,75 vagy 1,00 m.

A korona két szélét lezáró padkának a járművezető biztonságérzetének fokozása és a biztonságos közlekedés mellett, egyéb feladata is van. Megtámasztja oldalirányban a pályaszerkezetet, lehetőséget biztosít az úttartozékok elhelyezésére, de sokszor igénybe vesszük a kitermelt faanyag

időszakos tárolására és rakodásra. Felhasználható kitérés céljára is, de ekkor szélesebb méretet (1,50-2,00 m) válasszunk, és un. erősített (burkolt) padkát építsünk.

A padka semmiképpen sem lehet olyan magas, hogy a víz a burkolatról ne tudjon ráfolyni. A jó vízvezetés miatt, oldalesését 5%-ra ($d'=5\%$) kell tervezni. A padka és a burkolat oldalesése között kialakuló törésszög azonban 7%-nál ne legyen nagyobb. A padka oldalesése emiatt megfelelően csökkenthető (1%-ig).



A padka ívben kifelé esik

Koronaszélesség

A koronaszélesség a forgalmi sávok és kiegészítő sávok szélességéből tevődik össze. Így:

I. o. utaknál: $K=7,00$ vagy $8,00$ m

II. o. utaknál: $K=5,00$ m

ÚTKERESZTSZELVÉNYEK RÉSZLETEI

Oldalesések

Egyenes útszakaszokon a vízvezetés érdekében a burkolat felületét keresztirányú egyoldali eséssel, vagy kétoldali eséssel, úgynevezett tetőszelvény kialakítással kell tervezni. Erdészeti utaknál a kedvezőbb vízvezetés miatt a tetőszelvény kialakítás javasolható inkább.

Az oldalesés nagysága a burkolat fajtájától függően változik. Értéke a hazai előírások szerint:

- betonburkolatoknál 1,5%,
- aszfaltbeton és öntött aszfaltburkolatoknál 1,5-2,5%,
- kőburkolatoknál és felületi bevonásnál 2,0-2,5%,
- makadámburkolatnál 3,0%,
- földútnál és javított földútnál 3,0-5,0%.

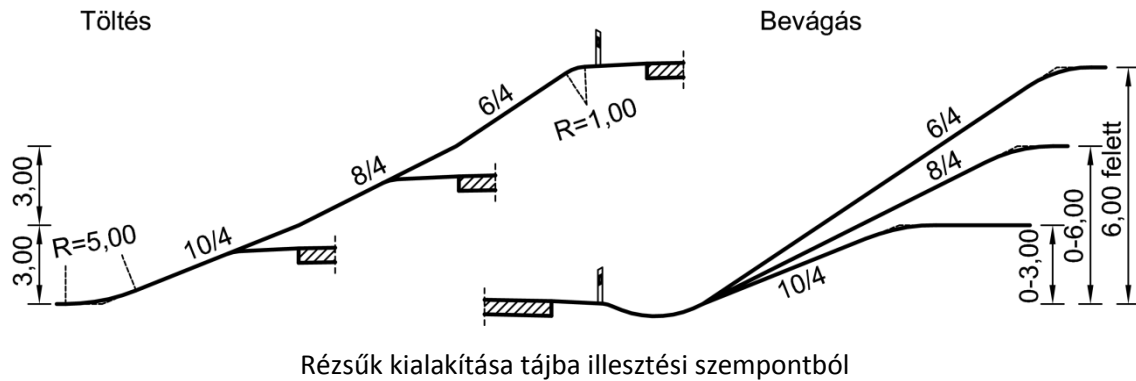
A vizen csúszás (aquaplanning) veszélye azonban csak akkor csökkenthető le jelentősen a gyors vízvezetés biztosításával, ha az oldalesés kialakítása erdészeti utaknál legalább 2,0%-kal közutaknál pedig 2,5%-kal történik. Erdészeti utaknál, egyéb aszfaltburkolatnál és kőburkolatnál, kedvezőtlen építési körülmények esetén 2,5% helyett 3,0% oldalesés is tervezhető.

Járműdinamikai okokból az ívekben a pálya felületét az ív középpontja felé egyoldali dőléssel kell kialakítani, amit a külső pályafél túlemelésével érünk el.

Rézsűk

A töltési és bevágási rézsű hajlását állékonysági vizsgálattal határozzuk meg, vagy kézikönyvekben szereplő adatok segítségével választjuk ki, a talajféleség és a töltés magassága, illetve a bevágás mélysége szerint.

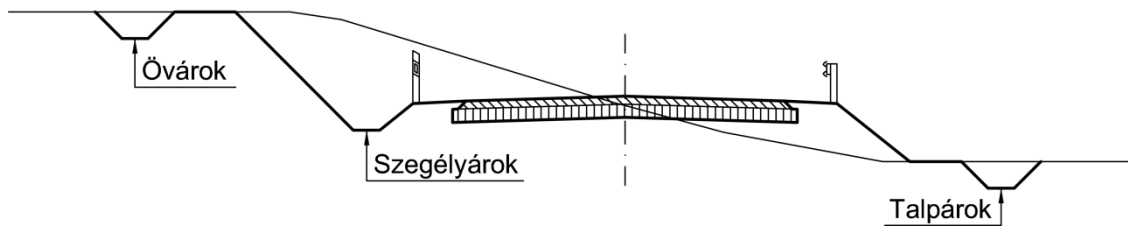
Első osztályú erdészeti utaknál az esztétikus útkörnyezet és távlati hatás elérése érdekében a laposabb hajlású rézsűk alkalmazása az előnyösebb.



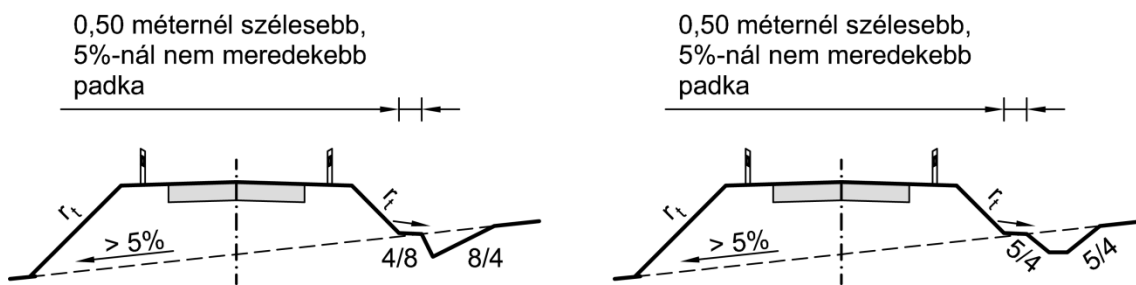
Árkok

A burkolat felületéről lefolyó vizet az árkok és folyókák vezetik a csőáteresztőkhöz, vagy a befogadó vízfolyásba. Az árkok lehetnek:

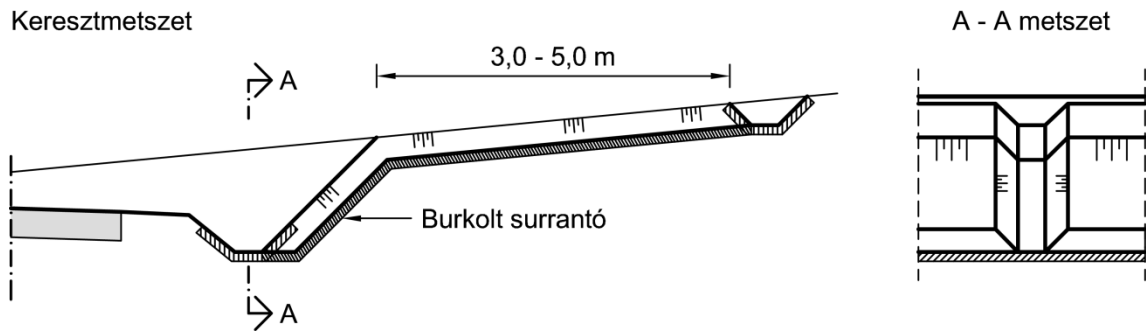
- talpárkok: a töltési rézsű talpánál helyezkedik el, csak indokolt esetben szükséges (pl. töltésmagasság < 0,80 m),
- szegélyárkok: a bevágási oldalon lévő oldalárkok,
- övárkok: a magas bevágási rézsű védelmére készítjük. A terepen lefolyó vizet felfogja, és a szegélyárokba juttatja (surrantó).



Árkok elhelyezkedésük szerint

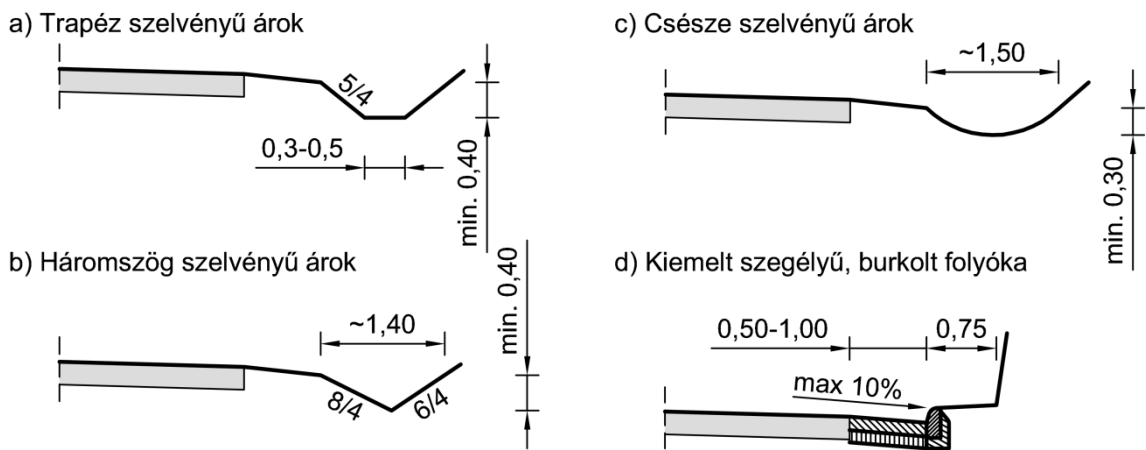


Talpárkok megoldások



Övárok kialakítása

A keresztmetszeti kialakítás történhet trapéz, háromszög és csésze szelvénnel, valamint nehéz hegyvidéki terepen kiemelt szegélyű folyókaként. Az árok rézsúje általában a töltési rézsú hajlásával egyezik meg. Nagyobb sebességet megengedő úton a csésze szelvényt célszerű alkalmazni. Ha a forgalombiztonsági hátrány kisebb jelentőségű a kisebb helyfoglalás és a szélességhez viszonyított kedvezőbb vízhozama miatt alkalmazhatunk trapéz árkot.



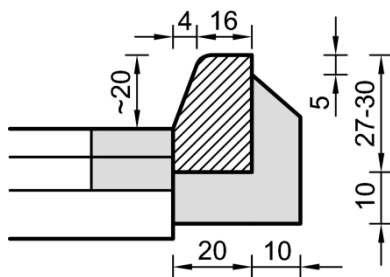
Árkok és folyókák keresztmetszeti kialakításai

Pályaszerkezet szélének kiképzése

Erdészeti utaknál a forgalom nagysága és a pályaszerkezet összetétele szerint a következő megoldásokat alkalmazzuk:

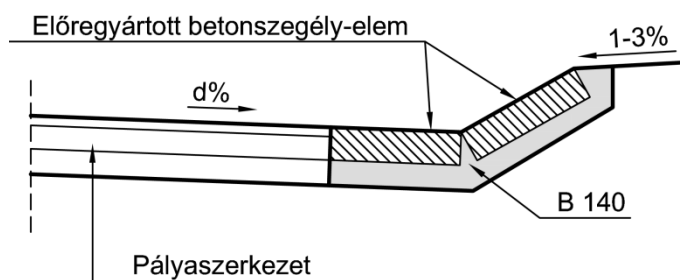
- kiemelt és süllyesztett útszegély,
- lépcsőzetes pályaszerkezetszél,
- függőlegesen lezárt pályaszerkezetszél,
- pályaszerkezet kialakítása elvékonyított széllel.

A kiemelt útszegély alkalmazása csak azokon a helyeken indokolt, ahol a vízvezetést burkolt folyókéval vagy felszín alatti csatornarendszerrel oldjuk meg (hegyvidéki nehéz terepen futó utak, telepí úthálózat, stb.).



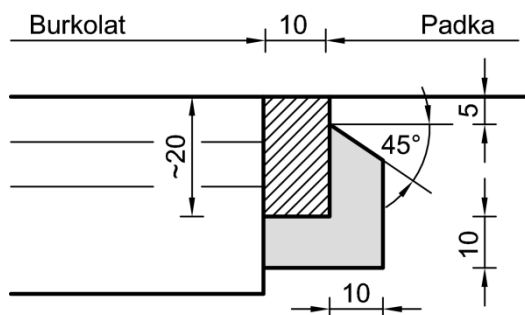
Kiemelt útszegély

Olyan telepi utaknál, amelyekről a járműveknek le kell járni a szomszédos területekre járható kiemelt útszegélyt célszerű építeni.

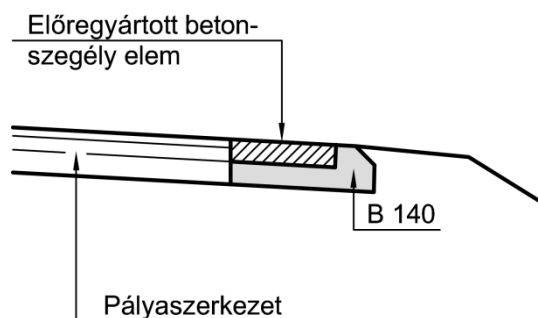


Járható kiemelt útszegély

A pályaszerkezetszél kiképzése befolyásolja a burkolat tartósságát és az építés költségét. A pályaszerkezet szélén futó keréksor jóval nagyobb igénybevételt okoz, mint a beljebb haladó, mivel a terhelést lényegesen keskenyebb sáv („lemezsáv”) viseli. Ennek következménye a fokozott pályaszerkezetszél elhasználódás, az un. „kirojtózódás”, ami ellen úgy védekezhetünk, hogy a pályaszerkezet szélét megerősítjük, vagy a pályaszerkezetet a forgalmi sáv külső szélén túlnyújtjuk. A kiemelt és süllyesztett szegélyt átkelési szakaszon, illetve I. osztályú utakon alkalmazzuk.

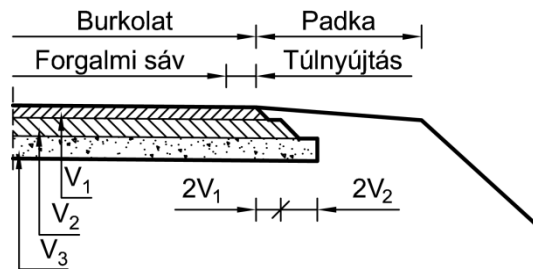


Régi süllyesztett útszegély



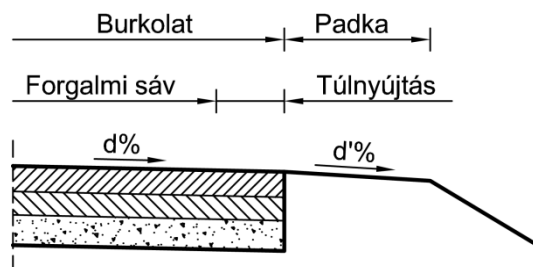
Süllyesztett útszegély futósorként építve

A lépcsőzetes pályaszerkezetszél kialakítása építéstechnikai szempontból szükséges, amely egyben fokozza annak teherbírását is.



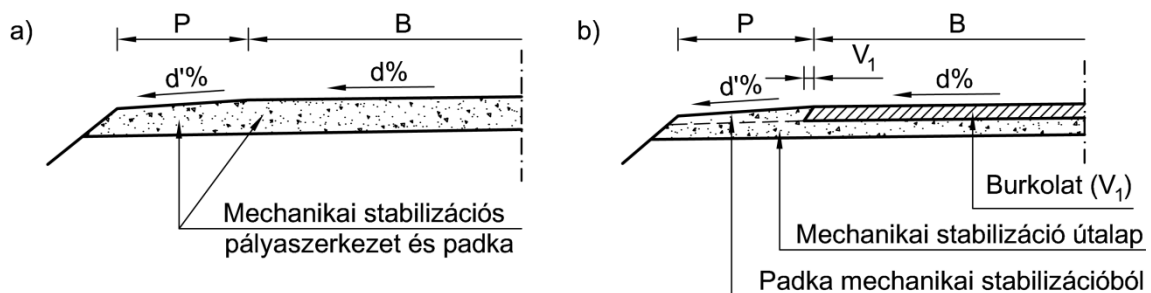
Lépcsőzetes pályaszerkezetszél

Függőlegesen lezárt pályaszerkezetszél a földműbe vágott úttükörbe helyezett pályaszerkezeteknél alakul ki. Mivel a pályaszél nincs megerősítve, a „kijójtózódás” ellen a pályaszerkezet szélességét egyjártú utaknál célszerű mindkét oldalon 0,25 m-rel megnövelni, túlnyújtani. Így a forgalom nem érinti a burkolatszélét. Kétjártú utaknál ($2S = 6,0$ m) erre a túlnyújtásra nincs feltétlenül szükség. Egyjártú utaknál a burkolatszélesség tehát 3,00 m helyett 3,50 m lesz.



Függőlegesen lezárt pályaszerkezetszél

Ha az építési hely közelében olcsó, mechanikai stabilizáció készítésére alkalmas szemcsés anyag (homokos kavics, murva, kőbánya meddő, stb.) nyerhető, előnyös a földmű egész felületét pályaszerkezettel ellátni. Ebben az esetben a nagyobb padkadőlés miatt a koronaszélnél vékonyabb lesz a pályaszerkezet.



Elvékonyított pályaszerkezetszél

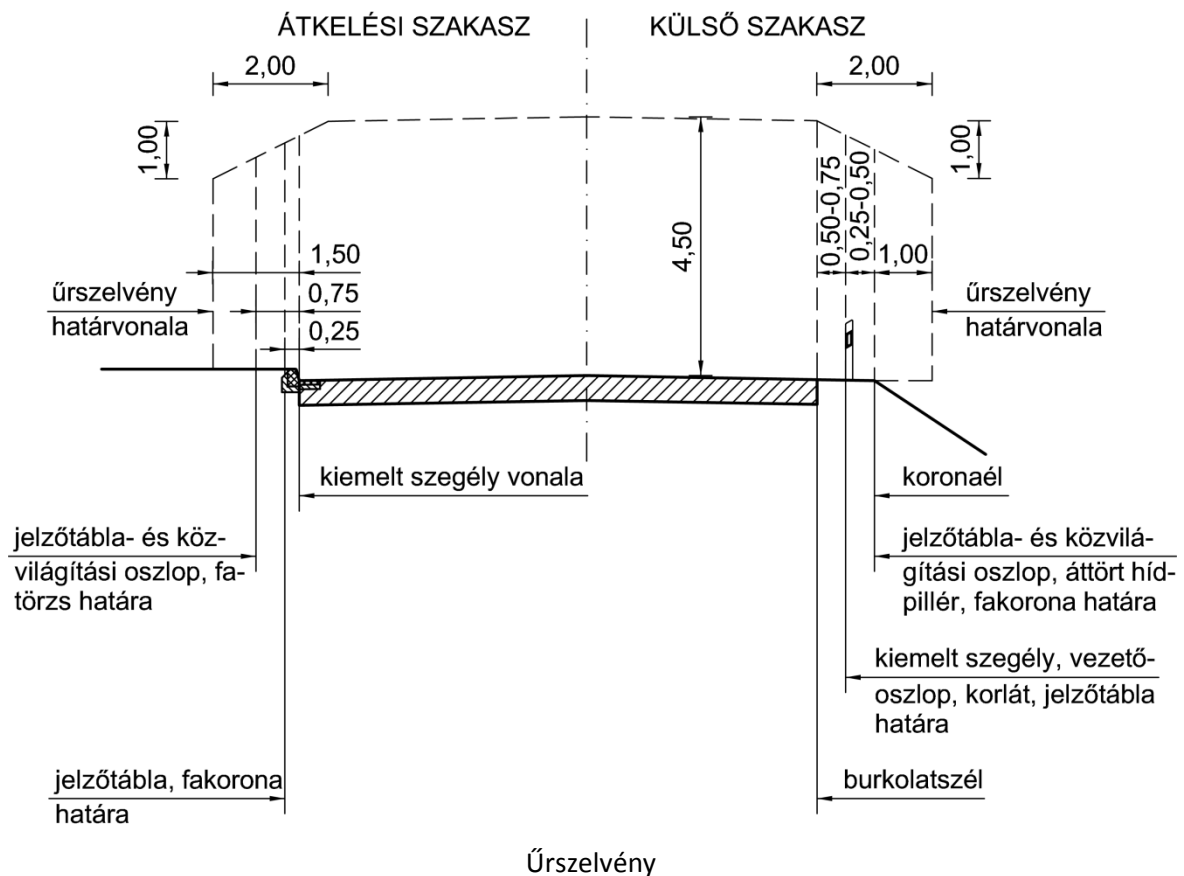
Műtárgyak

Szakaszosan a keresztszelvény részét képezik:

- a földmű állékonyságát biztosító támasztófalak:
 - támfalak
 - bélésfalak
- a keresztirányú vízvezetést szolgáló
 - áteresztők
 - hidak

Úrszelvény

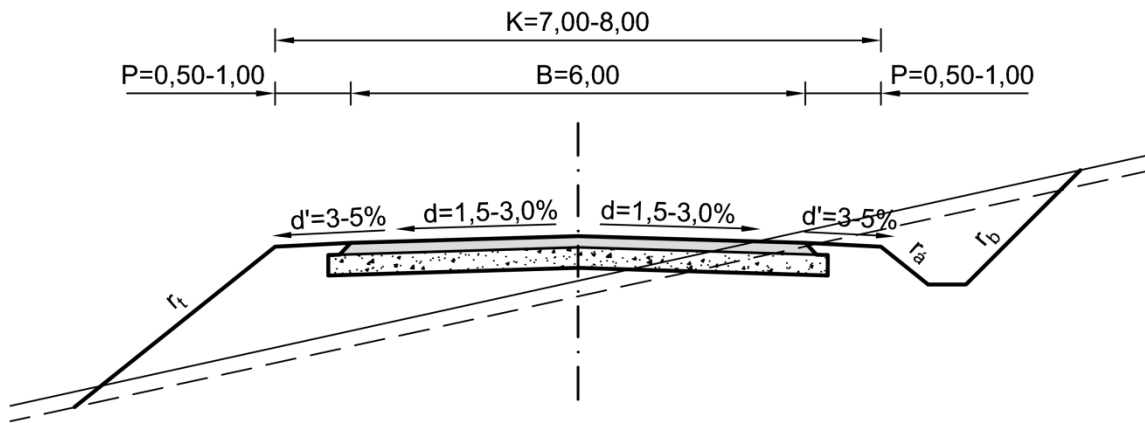
Az úrszelvényen belül csak kiemelt szegély, vezetőoszlop, korlát, jelzőtáblák oszlopa, közvilágítási oszlop, hidak áttört alátámasztása helyezhető el a burkolatszéltől, illetve kiemelt szegélytől 0,75 m, kivételesen 0,50 m távolságon kívül. Fák koronája, jelzőtáblák széle 0,25 m távolságban tűrhető meg. Az úrszelvény magassága 4,50 m.



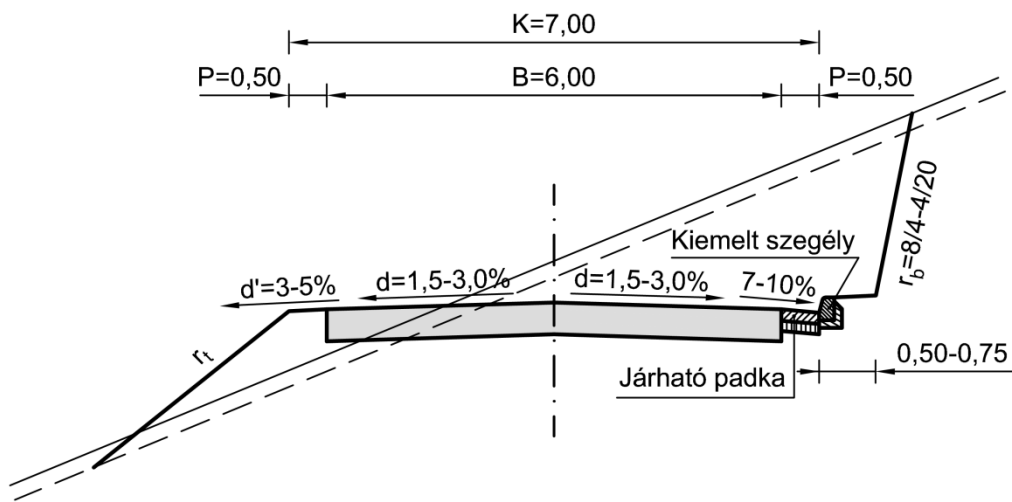
Feltáróutak gyakoribb keresztszelvényei

A keresztmetszeti kialakításánál a kétoldali és egyoldali esésű keresztszelvény egyaránt alkalmazható minden útosztályban. Az árokszelvény formáját a helyi adottságok szerint kell megválasztani.

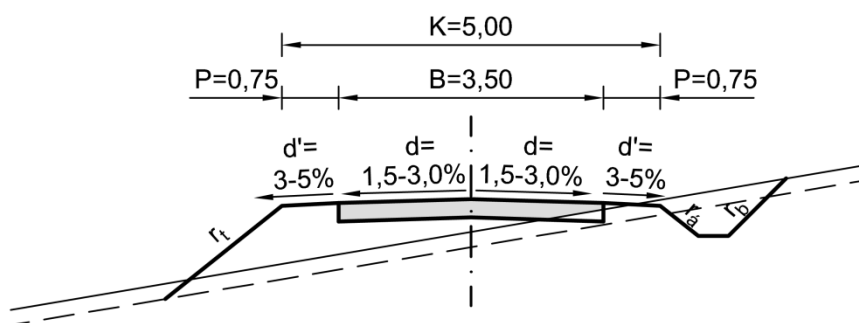
I. osztályú feltáróút átlagos terepen



I. osztályú feltáróút nehéz terepen



II. osztályú feltáróút átlagos terepen



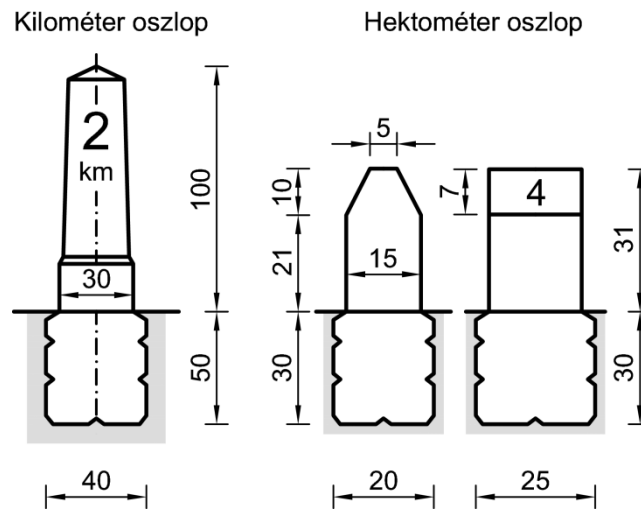
Feltáróutak jellemző kialakítású keresztmetszénei

ÚTTARTOZÉKOK ÉS ÚTBURKOLATI JELEK

Úttartozékok

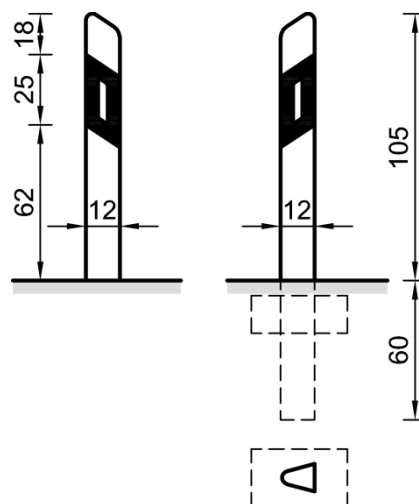
Az úttartozékok a gyepesített padkán, vagy az útkoronán kívül elhelyezett forgalombiztonsági és forgalomszabályozási berendezések.

A kilométer és hektométer táblák illetve oszlopok a pálya beosztását, szelvényezését jelzik. Az úton való eligazodást szolgálják. A szelvényezési táblák a padkára kerülnek úgy, hogy belső élük a vezetőoszlopok vonalába esik. I. o. utaknál szabványos kilométer és hektométer oszlopokat vagy táblákat egyaránt tervezhetünk. II. o. utaknál a hektométer jelzők, el is maradhatnak.



Kilométer és hektométer oszlop

A vezetőoszlopok elősegítik az optikai vezetést. A műanyag vezetőoszlop a nekifutó gépkocsi üté hatására könnyen eltörik, így a gépjárműben kis sérülést okoz. I. o. utaknál, ha azok közforgalmat is lebonyolítanak, szükséges vezetőoszlopokat, elhelyezni. Egyesekben 50 m-enként ívben a sugártól függően táblázat által meghatározott távolságra telepítik. A bevágási oldalon elhagyhatók. II. o. utaknál elhagyhatók. Csőáteresztők be – és kiömlő nyílásához mindig szükséges 2 – 2 db-ot elhelyezni. A vezetőoszlop a forgalmi sáv szélétől legalább 0,50m távolságra legyen.



Vezetőoszlop

Útkorlátok

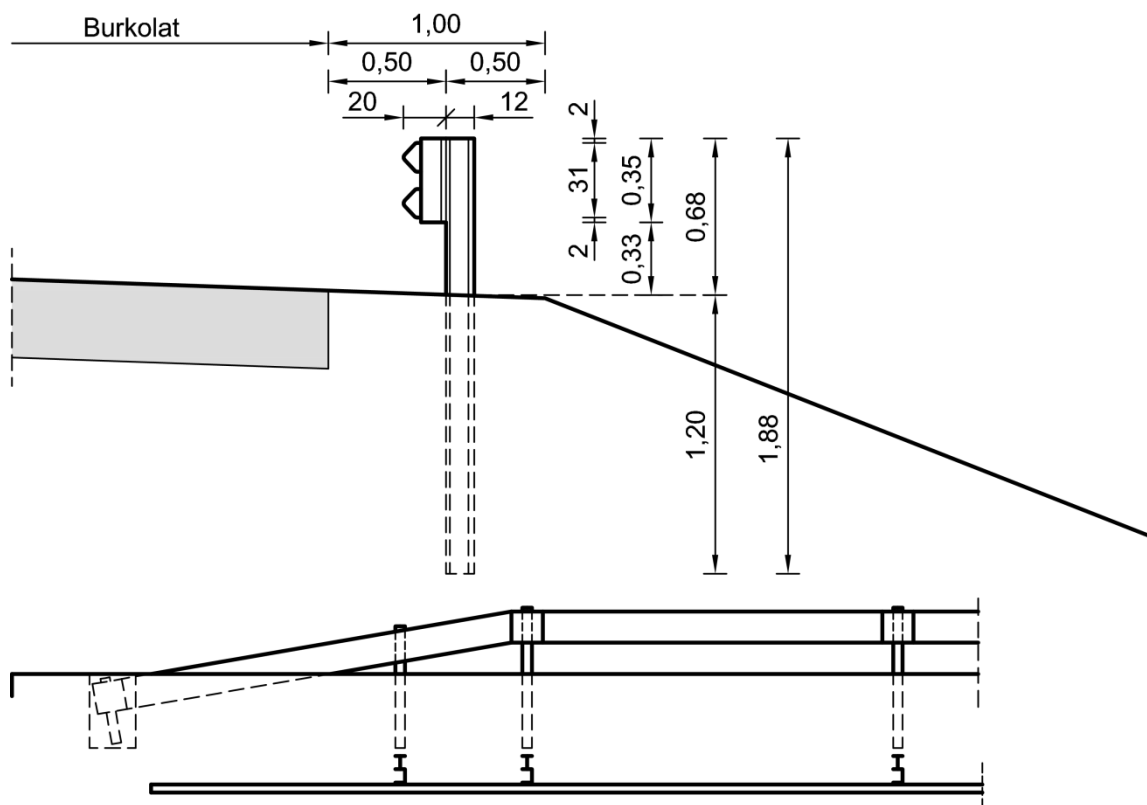
I. és II. osztályú utak veszélyes szakaszainál acél vezetőkorlátot kell elhelyezni. Az acélszalag korlátok szerepe a következő:

- fokozott optikai vezetés biztosítása,
- figyelem felhívása az út veszélyes szakaszaira,

- a kis szögben nekifutó jármű ütközési energiájának jelentős részét az oszlopon elhelyezett deformációs konzolelem segítségével felemészti és megóvjva a járművet a koronáról való lefutástól.

A tervezés feltételei:

- magas töltéseken,
- kis sugarú körívek külső oldalán,
- vízfelület, vízfolyás mellett vezető útszakasznál,
- úrszelvénybe benyúló akadályok mellett,
- jegesedés és hirtelen szélleökés miatt különösen veszélyes szakaszokon.



Acélszalag korlát vázlata



Acélszalag korlát

Jelzőtáblák és útbaigazító táblák

A KRESZ előírásainak megfelelően készülő jelzőtáblák a biztonságos közlekedést segítik elő. A közforgalmat is lebonyolító erdészeti utakat az alsóbbrendű közutaknak megfelelően kell ellátni jelzőtáblákkal. Ugyan ez vonatkozik a közúti csatlakozásokra is. A közforgalommal nem rendelkező erdészeti utaknál rendszerint elegendő, ha csak a veszélyes helyeket szereljük fel jelzőtáblákkal. Nagyobb úthálózatnál előnyös az útbaigazító (pl.: útirányjelző) táblák elhelyezése.

Útburkolati jelek

Közforgalmat is lebonyolító erdészeti utaknál és a közúti csatlakozásoknál a biztonságos közlekedés elősegítésére útburkolati jeleket is alkalmazunk, amelyek a következők:

- szaggatott felezővonal,
- folytonos záróvonal,
- terelő és záróvonal egymás mellett,
- közúti csatlakozásoknál:
 - stop vonal,
 - forgalomtól elzárt terület.

Beton határkő, útelzáró sorompó

A határkövet akkor alkalmazzuk, ha az út létesítéshez idegen tulajdonú területet sajátítottunk ki. A határköveket a rézsűk határvonalán kívül helyezzük el.

Útelzáró sorompót az idegen forgalom kizárására, vagy kedvezőtlen időjárás esetén az út kímélése miatt alkalmazzunk. A sorompót ajánlatos fehér–piros csíkozású festéssel és fényvisszaverő prizmával felszerelni, a jó észrevehetőség érdekében.

UTAK VONALVEZETÉSE

VÍZSZINTES VONALVEZETÉS

Utak vonalvezetése

A jó térbeli vonalvezetés, az út kedvező perspektivikus, távlati képe a járművezetőt jó irányba képes befolyásolni. Ez csak a vízszintes és magassági vonalvezetés egymásra többszörösen visszaható tudatos összehangolása és az útkörnyezet kedvező kialakítása esetén valósítható meg.

A tervezési sebesség (v_t) befolyásolja a vonalvezetés általános jellegét, megszabja a vonalvezetés minimális és maximális határértékeit. A tervezési sebesség nagyságát a következő tényezők befolyásolják:

- a jövőben várható forgalomnagyság ($Q, \dot{A}NF$) alapján választott útosztály,
- akadályoztatás foka (S, D, H, N).

A vízszintes vonalvezetés elemei

A vízszintes vonalvezetés elemei az

- egyenes,
- körív,
- átmeneti ív.

Egyenes

Az egyenes útszakaszok alkalmazásának szempontjai, előnyei és hátrányai jórészt az útkategóriáktól (útjellegtől) függenek.

Előnyei:

- az egyenes szakasz a sík terepen, hosszú völgyekben természetes, célravezető vonalvezetési elem,
- az előzések szempontjából kedvező,
- a csomópontok szakaszán előnyös.

Hátrányai:

- nehezíti a kis földmunkával járó, esztétikus illeszkedést a dombos, hegyes terephez,
- távlati képe merev és kedvezőtlen, a vezető a szembe jövő jármű sebességét nehezebben ítéli meg, a fényszórók vakító hatása gyakoribb,
- a hosszú egyenesek egyhangúak, fárasztó, álmosító hatásuk ismert a vezetőkre, ami súlyos balesetek forrása lehet.

Ezek a hátrányok annál jobban jelentkeznek, minél magasabb az út kiépítési színvonala, az út kategóriája. Új utak tervezésénél – különösen I. o. erdészeti utaknál – ne az egyenes szakaszok hosszának növelésére, hanem inkább a csökkentésére törekedjünk. Útkorszerűsítésnél közgazdasági okból az egyenes szakaszokat megtartjuk.

Körív

A megengedett legkisebb körívsugarakat csak indokolt esetekben szabad alkalmazni, jelentős terepnehézségnél vagy egyéb akadályoknál. Az út tervezésekor a körívsugarakat úgy igyekezzünk megválasztani, hogy a terep és a beépítés akadályoztatását mérlegelve, lehetőség szerint a legnagyobb sugarú körívvel haladjunk előre. A nagy sugarú ívek alkalmazásának legfőbb előnyei a következők:

- elősegítik a változatos, de nyugodt, esztétikus térbeli vonalvezetést,
- csökkentik az ívben haladásnál adódó többletköltségeket (gumikopás, túlfogyasztás),
- növelik a biztonságot, $R=3000$ m sugár felett jobban lehetővé teszik az előzéseket.

Az egymást követő íveknél igen fontos a körívsugarak összehangolása annak érdekében, hogy egymás mellé erősen eltérő sugarú körívek – akár azonos, akár ellenirányban – ne kerüljenek. Egy nagysugarú ív után hirtelen következő kis sugarú ívben a baleseti veszély még akkor is növekszik, amikor az illető sugár jóval nagyobb, mint a tervezési sebességnek megfelelő minimális sugár.

Átmeneti ív és hosszának megválasztása

Az átmeneti íveket különböző célból használjuk a vonalvezetés kialakításában:

- A közepes és kis körívsugaraknál az átmeneti ív hosszában csak fokozatosan változik az oldalgyorsulás nagysága, kellemetlen oldallökés nélkül. Így a természetes járműkormányzásból eredő átmeneti íven a jármű járóvonala és az út geometriai vonala nem tér el egymástól, ezért nem tér át a körív befelé tolődés miatt a szomszédos forgalmi sáv területére, vagy a padkára (*dinamikai átmeneti ívek*);
- A viszonylag hosszú, nagy paraméterű átmeneti ívek elősegítik a jó térbeli vonalvezetést, csökkentik a távlati rövidülésből eredő hátrányos optikai hatásokat, s vízszintes és magassági vonalvezetés összehangolását biztosítják nagy körívsugaraknál is (*vonalvezetési átmeneti ívek*);
- Erdészeti utaknál lehetővé teszik a terephez simuló tengely tervezését, amivel a földmunka nagysága csökkenthető.

A vonalvezetés tervezéséhez szükséges átmeneti ív adatokat és helyszükségletet megszabó közelítő összefüggések a következők:

$$\text{ív középpont–metszék, körív középpont abszcissza: } X_o \approx \frac{L}{2};$$

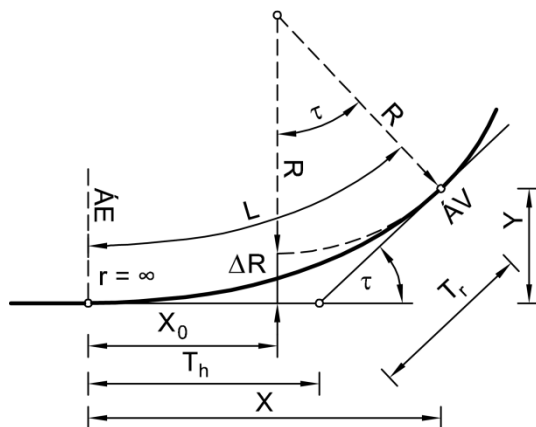
$$\text{vetületi hossz: } X \approx L;$$

$$\text{köríveltolás: } \Delta R \approx \frac{L^2}{24 \cdot R};$$

$$\text{végordináta: } Y \approx 4 \cdot \Delta R$$

$$\text{hosszabb és rövidebb érintő: } T_h \approx \frac{2}{3} \cdot L; \quad T_r \approx \frac{1}{3} \cdot L;$$

$$\text{hosszabb és rövidebb érintő aránya: } T_h : T_r \approx 2 : 1.$$



Az átmeneti ív fő geometriai méretei

Az R körívsugarhoz csatlakozó p paraméterű átmeneti ív pontos hossza és végérintőszöge:

$$L = \frac{p^2}{R},$$

$$\tau = \frac{L}{2 \cdot R}, \text{ azaz } \tau^\circ = 28,65^\circ \frac{L}{R}.$$

Az alkalmazandó átmeneti ív kiválasztásakor a tervező az L_{min} figyelembevételével ($L_{min} < L$) meghatározza a tervezendő átmeneti ív ívhosszát, kiszámítja az ívet jellemző paramétert, ennek ismeretében a pontos kitűzési és csatlakozási adatokat. A számítás elvégzésére számítógépes programok állnak rendelkezésre, de általában bármely táblázatkezelővel a számítások könnyedén elvégezhetők.

Az átmeneti ív hossza igen nagymértékben az úttervező elhatározásától függ. Bizonyos megszabott szélső határok között az elérendő cél szerint változik a kívánatos hossz.

A dinamikai átmeneti ívek alkalmazásának célja – az előzőek szerint – az, hogy a gépkocsik ívben való be- és kihaladásakor az oldalgyorsulás-változás sebességét (az oldallökést) utazáskényelmi szempontból korlátozzuk. Ezzel egyúttal elejét vesszük annak, hogy a járművek a saját forgalmi sávjukról áttérjenek a szomszédos forgalmi sáv egy részére vagy a padkára a biztonságos haladás rovására. A dinamikai átmeneti ívek minimális hosszát az EUTI táblázatban tartalmazza.

A vonalvezetési átmeneti ívek (más néven optikai, esztétikai vagy pszichológiai átmeneti ívek) alkalmazásának célja elsősorban az, hogy a gépjárművezető szemszögéből erős távlati rövidülésben, torzulásban látott köríves szakasz kezdetét a látszólagos törés helyett fokozott irányváltással előre jelezze. Ezáltal az út távlati képe kedvezőbb lesz. Másik fontos szerepük a vonalvezetési átmeneti íveknek, hogy a körív két oldalán a vízszintes ívet a kívánt mértékben (többnyire különböző hosszúságokban) megnyújtják, és ezzel elősegítik a helyszínrajz és hossz-szelvény tervezésénél a vízszintes és a magassági ívek összehangolását egy-egy „optikai szakaszon” belül. A hosszú átmeneti ívek tehát az összehangolás fontos eszközei. A vonalvezetési átmeneti ív annál kedvezőbb, minél nagyobb az átmeneti ív τ végérintőszöge, azaz minél nagyobb az átmeneti ívhossz a körívsugarhoz képest. A megfigyelések szerint az észrevehetőség határa:

$$\tau > 3^\circ, \quad \text{azaz } L > \frac{R}{10}, \quad \text{vagy } p > \frac{R}{3}$$

Általában ajánlható az:

$$L \approx 0,3 \cdot R, \quad \text{vagy } 0,4 \cdot R$$

érték használata. Igen jó hatású az, ha:

$$L = 0,6 \cdot R$$

feletti érték.

Egyenesek, körívek és átmeneti ívek kapcsolódása

A járműforgalom biztonságos lebonyolításához fontos, hogy a vízszintes vonalvezetés tervezésekor az egyes vonalvezetési elemek egymás utáni elhelyezkedésének fő szabályait betartsuk.

Egyszerű körívek

Egyszerű körívek egyenesek között, átmeneti ívek nélkül csak akkor tervezhetők, ha a körív sugarának nagysága miatt ez megengedett, vagy az alacsony útosztály miatt az optikai – távlati hatás javítására nincs szükség. Kivételesen az optikai célú átmeneti ívet el lehet hagyni, a dinamikai célú átmeneti ívet azonban csak igen indokolt, ritka esetben.

Kis középponti szögű, kis irányeltérésű ívek

Kis középponti szögű, kis irányeltérésű ívek távlati képe - különösen hosszú egyenesek között - igen kellemetlen törésként hat, hacsak nem tervezik az ívet rendkívüli nagy sugarakkal. Ezért a 6°-nál kisebb középponti szögű ívek tervezését általában kerülni kell. Ha mégis szükséges ilyen ívek alkalmazása, akkor az EUTI-ban táblázat tartalmazza azokat a sugárértékeket, amelyeket alkalmazni kell a középponti szög függvényében.

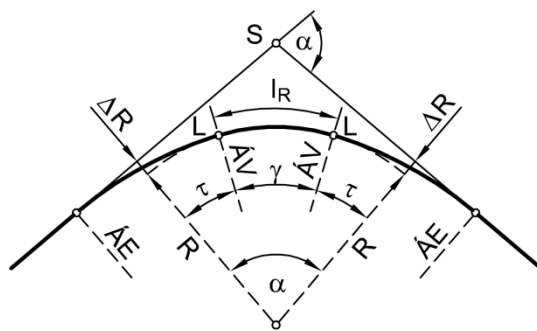
Kis középponti szögekhez esztétikailag szükséges legkisebb ívsugarak értékei erdészeti utaknál

Középponti szög nagysága	R _{min} értéke
°	m
5	800
4	1000
3	1500
2	2500
1	5000

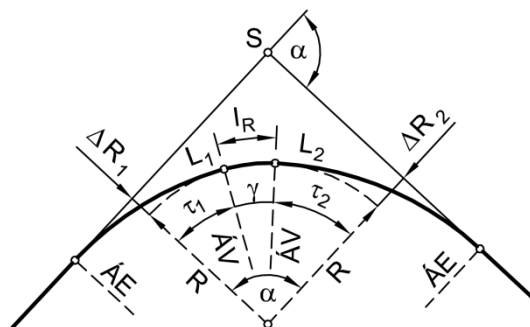
Átmeneti íves körívek

Az átmeneti íves körívek a vízszintes vonalvezetés leggyakrabban használt összetett elemei. A helyszükséglet megállapítható közelítően grafikusán, vagy pontosan számítással.

Az átmeneti ív lehet szimmetrikus és aszimmetrikus. Első esetben a két átmeneti ív paramétere (és hossza) egyenlő, a második esetben ezek különböznek.



Szimmetrikus átmeneti íves körív



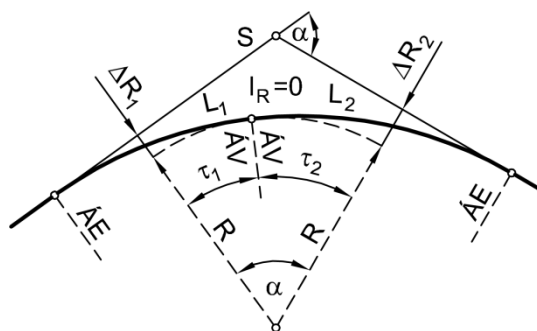
Aszimmetrikus átmeneti íves körív

Az úttervezésnél szokásos eset, hogy a két átmeneti ív a körív két oldalán eltérő hosszúságú (és eltérő paraméterű), ha a terep és a szomszédos ívek ezt célszerűvé, illetve szükségessé teszik. Az átmeneti ívek akkor férnek el, ha:

$$\alpha \geq 2\tau, \quad \text{illetve} \quad \alpha \geq \tau_1 + \tau_2$$

Fordított egyenlőtlenség esetén a helyet az átmeneti ív hosszának csökkentésével (ha $L \gg L_{min}$) vagy ha $L = L_{min}$, akkor a sugár növelésével lehet biztosítani. Alacsony tervezési sebességnél előnyös, magasabbnál kívánatos, hogy a két átmeneti ív között $I_R = 40 - 60$ m hosszú, tiszta körív maradjon. Ez a járművezető számára kedvezőbb vezetési feltételeket biztosít.

Tiszta átmeneti íves útkanyar esetén nincs tiszta körív az átmeneti ívek között. Ekkor az $I_R = 0$, és $\tau_1 + \tau_2 = \alpha$. Ez az eset csak nagyobb tervezési sebességnél, és a közepesnél nagyobb körívsugár (csatlakozási sugár) esetén alkalmazható kedvezően.



Tiszta átmeneti íves útkanyar

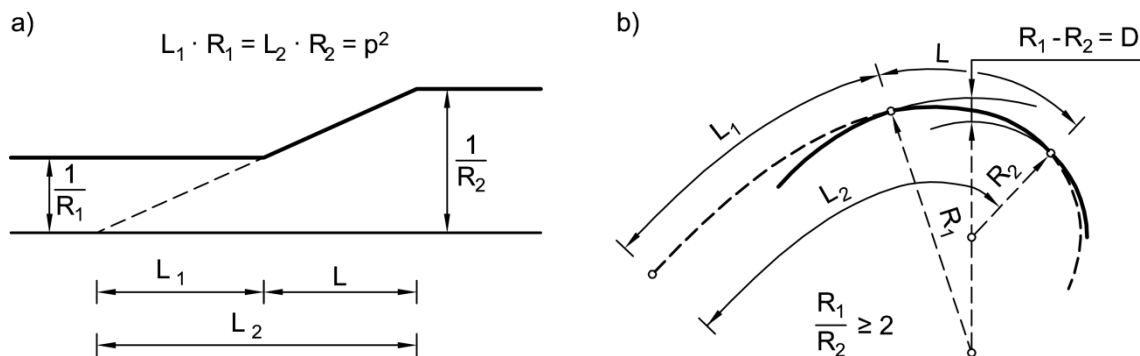
Azonos irányú ívek tervezése

Ha a tervezett azonos irányú ívek között rövid egyenes szakasz adódik (1-10 m), és a két ív sugara közel azonos értékű, a két ívet egy sugár alatt össze kell vonni. Ha ez nem valósítható meg, akkor a

sugarak célszerű növelésével a két ívet toljuk össze. Az ilyen egymáshoz érintőlegesen csatlakozó, azonos irányú, de eltérő sugarú körívek a *kosárivek*. Alkalmazása rendszerint kevésbé kívánatos, mivel a hirtelen sugárváltozás kedvezőtlen. A görbület hirtelen megváltozásának távlati, optikai képe sem előnyös. Emellett kis körívsugaraknál forgalombiztonsági szempontból is hátrányos a helyzet, mivel a figyelmetlen vezető a hirtelen görbületváltozásra nem ügyelve, váratlanul a padkára, vagy az ellenkező irányú forgalmi sávra tévedhet. Ezért kosárivek csak akkor alkalmazhatók biztonságosan, ha $R_1/R_2 < 2,0$ és $R_2 > 250$ m. Ha ezek a feltételek hiányoznak, akkor törekedni kell a két ívet egyetlen R sugarú alatt összevonni, vagy a két ív közé egy közbenső átmeneti ívet beiktatni és azt tojásívvé átalakítani.

Tojásív

A tojásívet vonalvezetési és esztétikai célból egyaránt alkalmazzák. Tojásív a neve azoknak a kosáriveknek, melyek közbenső átmeneti ível csatlakoznak. A közbenső átmeneti ív egy p paraméterű klotoidgörbének az $L = L_2 - L_1$ hosszú közbenső darabja, amely az R_1 nagyobb sugarú körívhez érintőlegesen csatlakozva, lineáris görbületváltozással vezet rá érintőlegesen az R_2 kisebb sugarú körívre.



Közbenső átmeneti ív körívek között

A közbenső átmeneti ívek szempontjából – a számításnál – központi kiinduló adat lesz a két körív legkisebb D távolsága, a két körív középpontot összekötő vonalban. Közbenső átmeneti ív ugyanis csak akkor lehetséges, ha a két körív egymást nem metszi.

Ilyenkor p paraméterű közbenső klotoid görbe esetén:

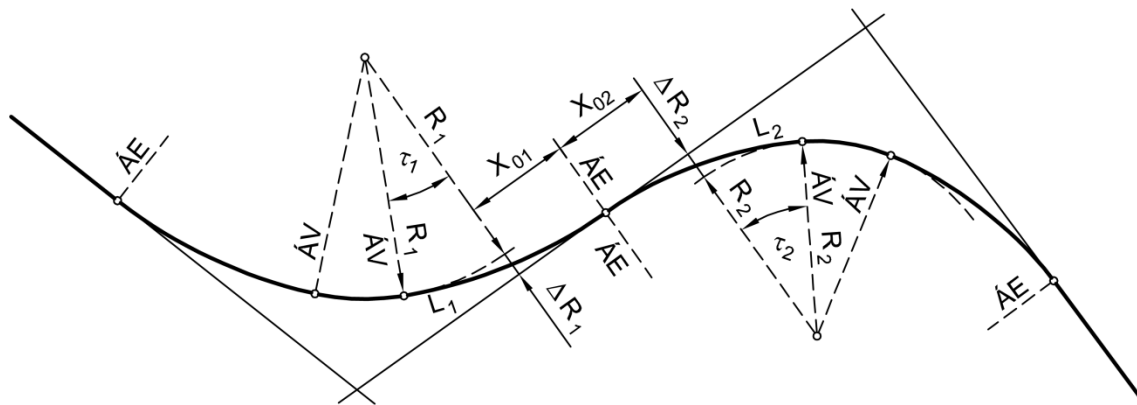
$$L_1 = \frac{p^2}{R_1}; \quad L_2 = \frac{p^2}{R_2}; \quad L = L_2 - L_1$$

Ellenirányú ívek tervezése

A klotoid átmeneti íves ellenirányú ívek közvetlenül csatlakoztathatók. Az egymáshoz kezdőpontjukkal és közös kezdőérintőjükkel érintőlegesen illeszkedő, de ellenkező irányba görbülő átmeneti ív az inflexiós átmeneti ív. Az inflexiós átmeneti ív igen hasznos vonalvezetési elem, mert jól simul a terephez és távlati hatása az úton igen kedvező, esztétikus. A két egymáshoz kezdőponttal csatlakozó átmeneti ív Δl méterrel átfedheti egymást, ha:

$$\Delta l \leq 0,03(p_1 + p_2),$$

ahol: p_1 és p_2 a két átmeneti ív két paramétere.



Inflexiós átmeneti íves ellenív

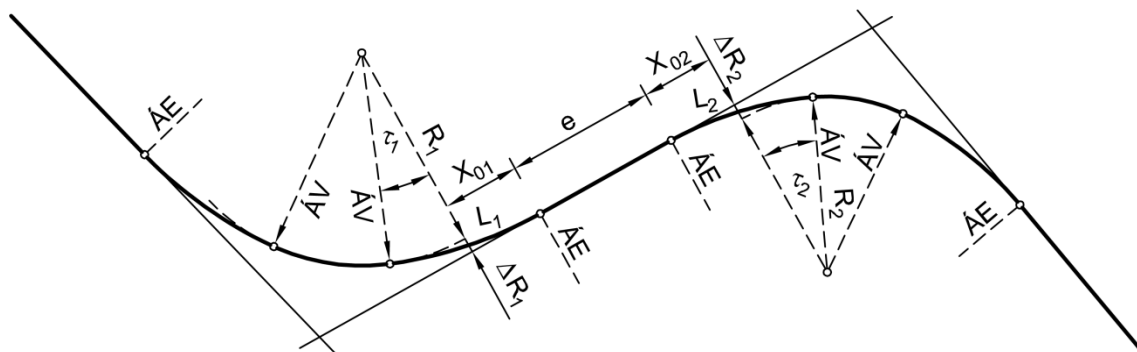
Két forgalmi sávos erdészeti utaknál, valamint közutaknál előnyös, ha a két ív közötti egyenes hossza

$$e > 6v_t$$

ahol: e = egyenes hossza (m)

v_t = tervezési sebesség (km/h)

Erdészeti utaknál ennél rövidebb egyenes szakasz is megengedhető.

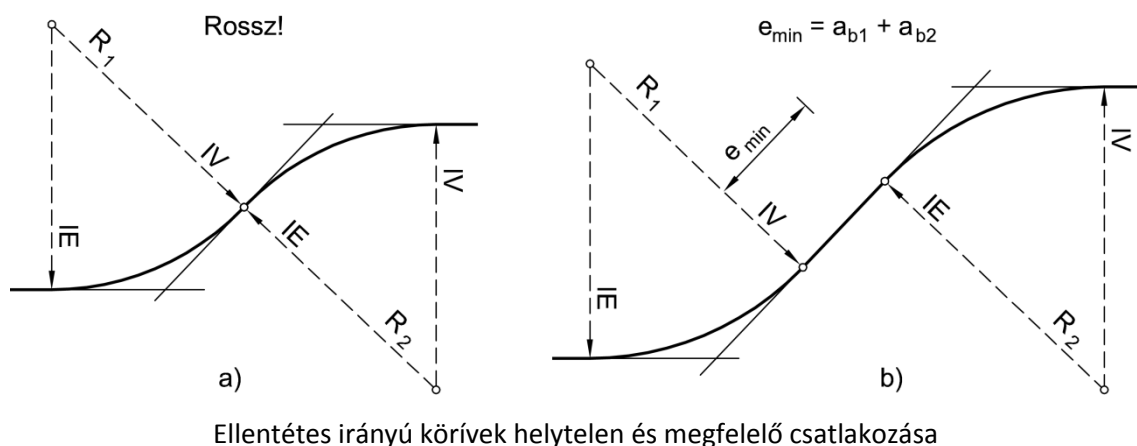


Átmeneti íves ellenív közbenső egyenessel

Az elleníves út vonalvezetése akkor kedvező és harmonikus, ha sem az átmeneti ívek paraméterei, sem pedig az egymás utáni körívek sugarai nem térnek el túlzottan egymástól. Így inflexiós, vagy közel eső ellenívek esetén:

- a két egymáshoz kezdőponttal csatlakozó átmeneti ív paramétere legyen azonos, vagy pedig az egyik paraméter a másiknak max. kétszerese lehet, ($p_1 < 2p_2$);
- a két egymást követő, ellenkező irányba görbülő körív sugarai se térjenek el egymástól erősen:
 - ha $p_1 = p_2 = p$ közös paraméterű összekötő átmeneti ív, akkor $R_1 < 3R_2$ lehet,
 - ha $p_1 \approx 2p_2$, akkor $R_1 < 6R_2$ is megfelelő.

Ellentétes irányú körívek csak akkor csatlakoztathatók, ha a szélesítés és a túlemelés – átmenetet el lehet helyezni. Természetesen, ha az ívben nincs szükség szélesítésre és túlemelésre, akkor emiatt nem szükséges egyenest közbeiktatni.



Ellentétes irányú körívek helytelen és megfelelő csatlakozása

Vonalvezetés ívessége és hatása a sebességre

A vízszintes vonalvezetésnek egyik igen fontos jellemzője az ívesség, ami kifejezi, hogy a vonal a hosszabb útszakasz két végpontja között sok vagy kevés ívet fut-e be, s az alkalmazott sugarak többsége kisebb vagy viszonylag nagyobb. Ez az üzemköltségekre és a kialakuló sebességekre nézve is jelentős tulajdonság nem fejezhető ki eléggé hűen csupán az íves szakaszok hosszának százalékarányával, vagy a vonalhossz és a végpontok légvonalhosszának az arányszámaival. Ezek az értékek ugyanis az alkalmazott körívsugarakat csak nagyon áttételesen veszik tekintetbe. Ezzel szemben igen jó jellemzőként használható az ívesség alábbi definíciója:

$$I = \frac{\sum_A^B \alpha_i}{l_{AB}}$$

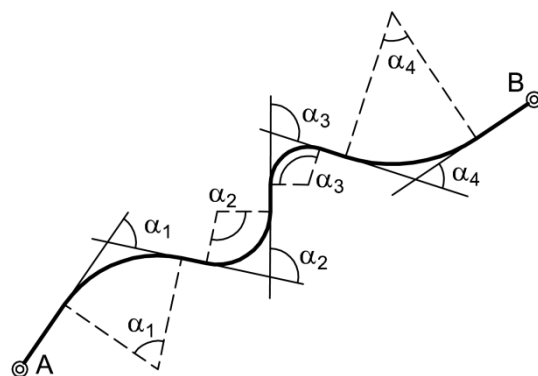
ahol: $l =$ ívesség ($^{\circ}/\text{km}$),

$l_{AB} =$ tervezett útszakasz hossza A és B pont között (km),

$\alpha_i =$ tervezett útszakasz ívei középponti szögeinek összege ($^{\circ}$).

A vizsgált A és B pontok közötti útszakasz összes irányváltási szögének fokban kifejezett összegét osztjuk az útvonal teljes, km-ben mért hosszával. Az így definiált ívesség nagysága igen jellemző az útvonalszakaszon előforduló ívek sugaraira és ívhosszaira is, mivel nagy átlagban minél több a nagy középponti szögű (nagy irányeltérési szögű) ív, annál több a kisebb sugár.

Az ívesség nagysága jól jellemzi az úton a vonalvezetési elemek sorozatának összegeződéséből adódó útjellegét. Úttervezésnél, a variánsok összehasonlításánál, a vízszintes vonalvezetés szempontjából az a megoldás a kedvezőbb, amelyiknek kisebb az I ívességi értéke. Az ívesség mértéke fordítottan arányos az átlagos és aktív menetsebességgel.



Ívesség mértékszama

MAGASSÁGI VONALVEZETÉS

Az út magassági vonalvezetése döntően befolyásolja a szállítás üzemköltségét, az útfenntartás költségigényét és a biztonságos közlekedés feltételeit.

A magassági vonalvezetés jellege és az emelkedők értékei

Az út magassági vonalvezetése emelkedőkből, lejtőkből, domború és homorú lekerekítőívekből tevődik össze. Ezek a lekerekítőívek a nyugodt magassági vonalvezetés, az előrelátás, a forgalombiztonság, az utazáskényelem és a tájbaillesztés (tájesztétika) szempontjából nagyon fontosak.

Az utak magassági vonalvezetésének jellegzetessége, hogy a hossz-szelvény elég rugalmasan tudja követni a terep alakulását, különösen a kis és közepes tervezési sebességeknél.

Törekedni kell arra, hogy a megengedett emelkedőt ne használjuk ki teljesen, és lehetőleg ne tervezzünk hosszan 0,5%-nál kisebb emelkedést, vagy esést a megfelelő vízvezetés biztosítása érdekében.

A megengedett emelkedő értékét csökkenteni kell:

- a 100 m-nél kisebb sugarú ívekben az emelkedőt 25-50%-ban mérsékelni kell a kanyarulati ellenállás ellensúlyozására;
- rakodók, felkészítő helyek és autóspihenők mellett lévő út emelkedője a 3%-ot (kivételesen az 5%-ot) ne haladja meg;
- 4 m-nél nagyobb nyílású hidaknál 5%-nál nagyobb emelkedőt ne tervezzünk;
- pótkocsis vontató rendszeres közlekedése esetén biztonsági okokból 7%-nál nagyobb emelkedő csak kivételesen tervezhető;
- jeges útfelületnél a járművek 9%-nál nagyobb eredő esésnél irányíthatatlanná válnak, az esés irányában csúszva megindulnak. A biztonságos közlekedés csak érdesítéssel, csúszásmentesítéssel (homokszórás, salakszórás, sózás, stb.) teremthető meg.

A megengedett emelkedő csökkentése 100 m-nél kisebb sugarú ívekben

Sugár R	Emelkedő csökkentése
m	%
-20	50
20-40	40
40-60	35
60-80	30
80-100	25

A felület eredő esése az oldalesésből és a hosszesésből tevődik össze. Ebből következően felírható, hogy:

$$e_{max}^2 = e^2 + q^2$$

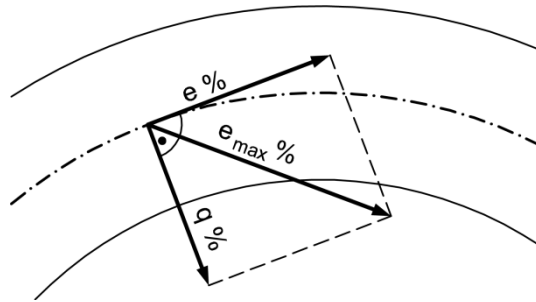
Ebből a hosszesés határértéke, amely felett a jeges felületet érdesíteni kell:

$$e = \sqrt{e_{max}^2 - q^2}$$

ahol:

- e = hosszesés határértéke (%),
- e_{max} = 9%,
- q = oldalesés (%).

Ha a jeges felületű utat is használni kell és az érdesítés nem oldható meg, a hosszesés határértékeit nem léphetjük át.



Az eredő esés, a hosszesés és a keresztdőlés összefüggése

A hosszesés határértékei jeges úton

Oldalesés értéke	Hosszesés, mely felett jeges pályán érdesítés szükséges
q%	e%
2,0	9,0
3,0	8,5
4,0	8,0
5,0	7,5
6,0	7,0

A nagy eséssel rendelkező pályaszakaszok erózió elleni védelme igen jelentős többletköltséget igényel. Így – a lehetőségekhez képest – az erős lejtésű vonalak tervezésétől emiatt is ajánlatos tartózkodni.

Az emelkedők és esések kedvező megválasztásánál figyelembe kell venni azt is, hogy kb. ±3% emelkedő – lejtőn belül a tehergépkocsi fogyasztása nem változik lényegesen, az csak 4-5% emelkedő felett növekszik erősen.

A meredekebb emelkedők alkalmazása általában jelentős úthossz rövidüléssel jár. Az elképzelések szerint ez jelentős építési költség megtakarítással jár, ami azonban nem felel meg a valóságnak, ha figyelembe vesszük a komoly erózióvédelemmel járó költségnövekedést. (Pl.: az árkokat 3% hosszesésnél meredekebb szakaszon burkolni kell. 2 m árokburkolás és 1 m hosszú, 3 m széles burkolat építési költsége közel megegyezik.) A meredek útszakaszok állapotfenntartási és

üzemeltetési költségei pedig hosszú távon szintén magasabbak lesznek. Erdészeti útjaink erdőterületeket kapcsolnak be a szállítóhálózatba és a hosszabb változat arányosan nagyobb gravitációs terület feltárásával, kedvezőbb gazdálkodási körülményeket teremthet.

A balesetek fajlagos száma 4% emelkedőtől, illetve lejtőtől kezdve erősen megemelkedik.

Hossz-szelvény lekerekítések alkalmazási elvei

Az alkalmazható minimális lekerekítő sugarak nagyságát háromféle szempontból kell helyesen megválasztani:

- előrelátás – biztosítási szempontból,
- esztétikai és vonalvezetés – összehangolási szempontból,
- utazáskényelmi – dinamikai szempontból.

Előrelátás biztosítása domború lekerekítésnél

Az előrelátás biztosítása szempontjából elsősorban a domború lekerekítések esetében hátrányos a túl kicsi lekerekítősugar, mert ilyen esetben a „bukkanó” két oldalán szembejövő gépjárművek vezetői nem látják meg egymást időben, sőt a fékúttávolságra lévő váratlan akadályt sem vehetik észre időben. A túl kis sugarú domború lekerekítés tehát beláthatatlan útszakaszt jelent, a kellő biztonságot nem teremti meg és akadályozza az előzések lebonyolítását. A helyes megoldás az, ha a tervezési sebességtől függő kielégítő nagyságú sugárral tervezett lekerekítőívet alkalmazunk.

Az előzési látótávolság ($U_e = 6v_t$) biztosításához szükséges legkisebb R lekerekítősugar a lapos lekerekítő körívek miatt körívpotló másodfokú parabolaképlettel számítható ki:

$$x^2 = 2 \cdot R \cdot y, \text{ innen } R = \frac{x^2}{2 \cdot y}$$

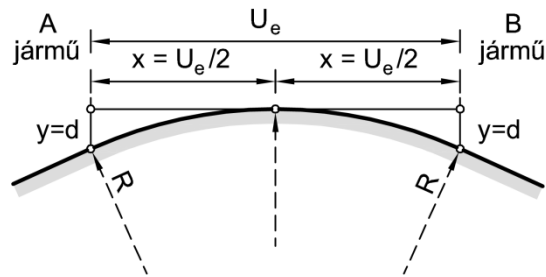
A képlet használatánál feltételeztük, hogy az út vonala függőleges síkba esik, tehát vízszintes értelemben egyenes vonalvezetésű. A gépjárművezetők $d = 1,20$ m szemmagassága megfelel az R sugarú lekerekítő körív y koordinátájának, $x=U_e/2$ abszcissza mellett, mivel a szembejövő gépkocsik U_e távolságban még éppen megláthatják egymást a burkolat szintje felett. A behelyettesítések után az előzési látótávolságot biztosító lekerekítősugar nagysága:

$$R = \frac{U_e^2}{2^2 \cdot 2 \cdot d} = \frac{(6 \cdot v_t)^2}{8 \cdot 1,20} = 3,75 \cdot v_t^2$$

ahol:

- U_e = előzési látótávolság (m),
- R = lekerekítősugar (m),
- v_t = tervezési sebesség (km/h).

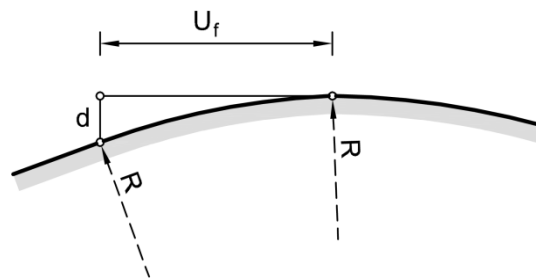
Ez a feltétel elég nagy sugárértékeket ad, amelyek nem mindig férnek el, tehát nem kell mindenáron ragaszkodni hozzá, de tervezését meg kell kísérelni. Kisebb értékeket ad a redukált előzési látótávolsághoz tartozó sugár. Egy forgalmi sáv (egyjáratú) erdészeti utaknál nincs lehetőség az előzésre, ezért az előzési látótávolságot sem kell biztosítani.



Előzési látótávolságot biztosító domború lekerekítősugar

A megállási látótávolságot az előbbi értéknél kisebb sugarú lekerekítőkívvel is biztosítani lehet. A gépjárművezető akkor tudja a járművet az észlelt akadály (pl. burkolathiba) előtt megállítani, ha $d = 1,20$ m szemmagasságból, U_f fékúttávolságban rálát az útburkolat szintjére. A lekerekítősugar nagyságát a közelítő parabolaképlettel számítjuk ki a következő helyettesítéssel: $y = d$, $x = U_f$. Így, a megállási látótávolságot biztosító lekerekítősugar legkisebb értéke:

$$R = \frac{x^2}{2y} = \frac{U_f^2}{2 \cdot d} = \frac{U_f^2}{2 \cdot 1,20} = 0,42 \cdot U_f^2$$



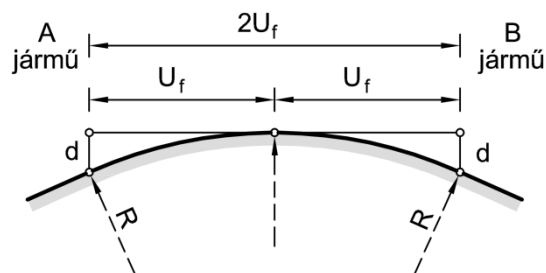
Megállási látótávolságot biztosító lekerekítő sugar akadály észleléséhez

Egy forgalmi sávós erdészeti utaknál az esetleg szembejövő járművezetők akkor tudnak biztonságosan megállni, ha $d = 1,20$ m szemmagasságból a burkolat felett átnézve, $2U_f$ kétszeres fékúttávolságban észreveszik egymást.

$$y = d, \quad x = 2 \cdot U_f / 2 = U_f$$

Ennek alapján az egy forgalmi sávós utak sem kívánnak nagyobb sugarú lekerekítőíveket, mint amekkorák az akadályok megpillantásához szükségesek.

A megállási látótávolsághoz szükséges ívsugarat biztosítani kell, mert kisebb sugarú lekerekítés forgalombiztonsági szempontból nem felel meg. Ha a szükséges lekerekítő ívsugar esetleg nem biztosítható, a sebességet az útszakaszon korlátozni kell arra az értékre, amely az alkalmazott sugárnál már biztonságos.



Lekerekítő sugar egy forgalmi sávós úton, szembejövő járműveknél

Előrelátás biztosítása homorú lekerekítésnél

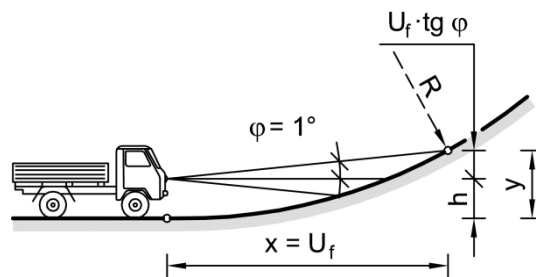
Homorú lekerekítőívekben a látótávolságok biztosítása csak éjszaka probléma, amikor elvileg akkora R lekerekítősugár szükséges, hogy a gépjármű fényszórója legalább az U_f fékút távolságban megvilágítsa az útpályát. A gépjármű $h = 0,75$ m magas fényszórója $\varphi = 1^\circ$ nyílású fénysugárnyalábbal világítja meg az utat. Ennek alapján $x = U_f$ fékúttávolságban a körívordináta:

$$y = h + U_f \cdot \sin \varphi = 0,75 + U_f \cdot 0,0175$$

Az értékeket a parabolaképletbe behelyettesítve, a megállási látótávolságot éjszaka is biztosító homorú lekerekítőív sugarának legkisebb értéke:

$$R_h = \frac{x^2}{2y} = \frac{U_f^2}{2 \cdot (0,75 + U_f \cdot 0,0175)} = \frac{U_f^2}{1,5 + 0,035 \cdot U_f}$$

Ez a képlet rendszerint kisebb sugárértéket ad, mint az eddigi domború lekerekítések sugariai.



Homorú lekerekítés minimális sugárértéke

Lekerekítőív minimális hossza és sugara esztétikai szempontból

A túl kis lekerekítő sugár tervezését esztétikai és vonalvezetés – összehangolási szempontból mind a domború, mind pedig a homorú lekerekítőívекnél el kell kerülni, mert ekkor a lekerekítés ívének hossza túl rövidre adódik, ezért az út távlati képében törésként jelentkeznek. Ez a hátrányos távlati kép a gyakorlati tapasztalatok szerint akkor kerülhető el, ha a lekerekítőív hossza:

$$I_{min} = 2 \cdot v_t$$

ahol:

- I_{min} = lekerekítőív hossza (m),
- v_t = tervezési sebesség (km/h).

A lekerekítőív R sugara az I ívhossztól, a megelőző és következő emelkedő-eső szakaszok $(e_1 + e_2)\%$ törésszögétől függ. Kis szögeknél az $\arcsin \alpha \cong tg \alpha = \frac{(e_1 \pm e_2)\%}{100}$. Ennek figyelembe vételével felírható, hogy:

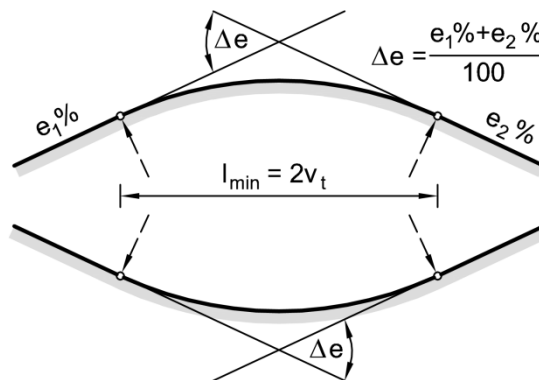
$$I_{min} = R \cdot \arcsin \alpha \cong R \cdot \frac{(e_1 \pm e_2)\%}{100} = 2 \cdot v_t$$

Innen az esztétikai szempontból kívánatos minimális lekerekítőív sugara:

$$R = \frac{200 \cdot v_t}{(e_1 \pm e_2)\%} = \frac{200 \cdot v_t}{\Delta e\%}$$

A képletben az azonos irányú egyenlejtésű szakaszoknál „-”, ellentétes irányú szakaszoknál „+” az előjel.

Ennél a sugárértéknél kisebb lekerekítéseket erdészeti útjainknál ne tervezzünk.



Esztétikai okokból kívánatos minimális lekerekítőív hossza

Lekerekítőív minimális sugara utazáskényelmi – dinamikai szempontból

Utazáskényelmi – dinamikai szempontból legalább olyan nagy lekerekítőív sugarakat kell alkalmazni, aminél a függőleges síkú körívben való mozgás miatt adódó függőleges centrifugális gyorsulás nem lesz kellemetlen. A fellépő centrifugális gyorsulás:

$$a = \frac{s^2}{R} = \frac{v^2}{13 \cdot R}$$

ahol:

- a = centrifugális gyorsulás (m/s^2),
- s = sebesség (m/s),
- R = függőleges ív sugara (m),
- v = sebesség (km/h).

A kísérletekkel meghatározott, megengedhető centrifugális gyorsulás értéke, $a=0,5 \text{ m/s}^2$. Az előző összefüggésekből fejezzük ki a függőleges sugár R értékét, helyettesítsük be a gyorsulás megengedett értékét, a v helyébe írjunk v_t -t. Így az utazáskényelmi – dinamikai okokból szükséges lekerekítőív sugár nagysága (R_d):

$$R_d = \frac{v_t^2}{13 \cdot 0,5} = 0,15v_t^2$$

ahol:

- v_t = tervezési sebesség (km/h).

A számítások alapján ez a sugárérték adódik a legkisebbre. Ezt az utazáskényelmi–dinamikai feltételt mindig betartjuk akkor, ha a lekerekítőív sugarakat az előre látás, vagy az esztétikai–távlati hatás figyelembevételével szabjuk meg.

A legkisebb lekerekítőív sugarak alkalmazása

A lekerekítőív sugarak alkalmazásánál a következőket vegyük figyelembe:

- Domború íveknél először kísérjük meg az előzési látótávolsághoz szükséges legkisebb sugár betartását ha ez nem fér el, vagy alkalmazása jelentős többletköltséggel jár, a redukált előzési látótávolsághoz tartozó sugárral végezzük a lekerekítés tervezését;

- A megállási látótávolság biztosításához szükséges minimális lekerekítősugarat kell alkalmazni akkor, ha a két forgalmi sávós utaknál a redukált előzési látótávolságot biztosító lekerekítősugár betartása nem lehetséges, illetve az egy forgalmi sávós utaknál mindig;
- A megállási látótávolság biztosításához szükséges minimális lekerekítősugárnál kisebb ív forgalombiztonsági okokból nem tervezhető, mert ebben az esetben a járművek az akadályokat, illetve egymást csak megkésve észlelik, és nem tudnak időben megállni;
- Ha a legkisebb sugár alkalmazása nagy többletköltséget jelent, vagy ha egy meglévő létesítményekhez igazodni kell és a tervezési sebességet nem lehet betartani, akkor a megengedett sebességet a kisebb lekerekítősugár szerint kell megszabni, és azt táblával jelezni;
- Ha a legkisebb ív betartása nem lehetséges, a domború íveknél ismertetett módon járunk el;
- A hossz-szelvény tervezésekor törekedni kell az esztétikai és vonalvezetés-összehangolási szempontokat kielégítő lekerekítő ívek tervezésére.

Hossz-szelvény lekerekítőív tervezése

A hossz-szelvény lekerekítése döntő többségben körívvel, illetve ezt pótló másodfokú parabolával történik. (Nagyobb tervezési sebességgel épülő utaknál a lekerekítésre harmadfokú parabolát, klotoidot, kosáriveret és progresszív kosárgörbét is alkalmaznak.)

A lekerekítőív tervezési lehetőségének megvizsgálásához ismerni kell annak helyszükségletét. A lekerekítőív helye azon az elven számítható, hogy a nagy sugarú, lapos köríveknél az ívhosszak és a vetületük azonosnak vehetők. Ha $e_1\%$ emelkedő után $e_2\%$ esés következik, és ismerjük az S metszéspont helyét valamint annak magasságát, akkor

$$I \cong 2 \cdot T = R \cdot \arcsin \alpha = R \cdot \arcsin(\alpha_1 \pm \alpha_2) = R \frac{(e_1 \pm e_2)\%}{100}$$

A keresett T tangenshossz nagysága:

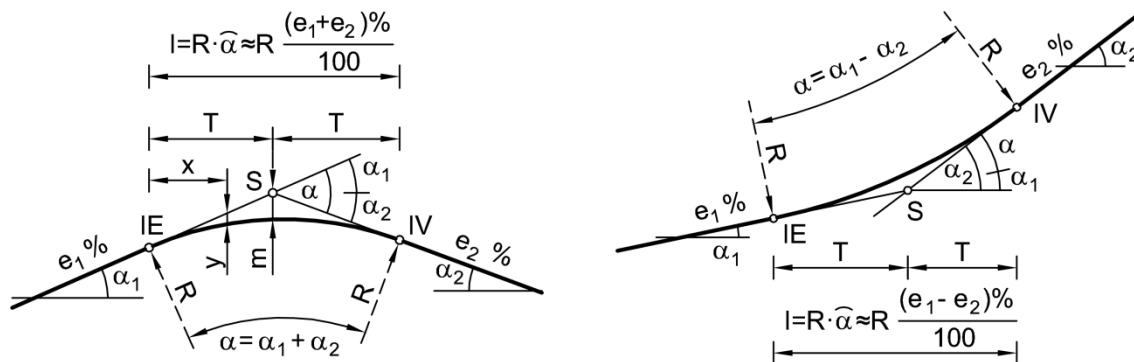
$$T \cong \frac{I}{2} = \frac{R}{200} \cdot (e_1 \pm e_2)\%$$

A képletben „+” az előjel az ellenkező irányú hajlásoknál és „-” az azonos irányú hajlások esetében. A pályaszint magasságát az állandó emelkedő vonalában a kezdőponttól $x=T$ távolságban a közelítő körív-pótló parabolaképlettel lehet számítani:

$$y = \frac{x^2}{2 \cdot R} \quad \text{és} \quad m = \frac{T^2}{2 \cdot R}$$

Ezzel az egyszerű lekerekítőív helyigénye és fő adatai ismertek.

A számítógépes úttervező programok körív-pótló másodfokú parabolát használnak. Ezek helyigényét a programok kijelölik.



Lekerekítőívek helyszükségletének számítása

BURKOLATSZÉLEK VONALVEZETÉSE TÚMEMLÉS-KIFUTTATÁSNÁL

A túmelés kifuttatás (oldalesés-átmenetek) szakaszának feladata az, hogy az egyenes szakaszokon érvényes $d\%$ -os egyoldali esést, vagy tetőszelvényt fokozatosan átvezesse az ívben szereplő $q\%$ -os egyirányú oldalesésbe, a túmelésbe.

A túmelés kifuttatás kiképzése

Túmelés alatt az egyenesben lévő burkolatszél és az ívben az egyirányú keresztdőlés miatt kialakuló burkolatszél közötti relatív magasságkülönbséget értjük, amelynek nagyságát a keresztdőlések változásából számítjuk ki. A kifuttatás kezdete és vége között lévő kifuttatási hossz (T) a túmelést lineárisan futtatjuk ki. Egy közbenső keresztzelvényben kialakuló keresztdőlést a lineáris interpolálással meghatározott túmelésből számítjuk.

A túmelés kifuttatását a burkolat alkotójának elforgatásával alakítjuk ki. A forgatás középpontjának magassága a kifuttatási szakaszban nem változik, ezért ezt a pontot tekinthetjük pályaszintnek. A magassági vonalvezetés tervezésekor a hossz-szelvényben is ezeknek a pontoknak a sorozata jelenik meg pályaszintként. Ezzel biztosítjuk, hogy egyenes és íves szakaszoknál egyaránt egy vonalvezetéstől független pont legyen a pályaszint.

A pályaszintet (forgatási középpontot) kijelölhetjük a tengelyben, amikor a burkolat alkotóját a pályatengely körül forgatjuk, de rögzíthetjük a szélesítés nélküli belső burkolatszél pontjánál is. Kétpályás utaknál (autópályáknál) a belső pályaszélek körüli forgatást is alkalmazzák.

Erdészeti utaknál a pályaszintet, a forgatás középpontját a tengelyben rögzítjük.

A túmelés-átmenet kialakításának tárgyalásánál – a könnyebb érthetőség érdekében – vezessük be a következő egyszerűsítéseket:

- a túmelés-átmenet szakaszát egyelőre tekintsük egyenesnek;
- az íveknél a pályaszélesítést most még nem vesszük figyelembe, tehát úgy a külső, mint a belső pályaszerkezetszél szélesítés nélküli.

Az ív előtti egyenes szakasz oldalesésének kialakítása szerint az egyenes és ív kapcsolatában a következő három esetet különböztetjük meg:

- az egyenesben lévő egyoldalú esés azonos irányú a követő ív túmelésének esésével,
- az egyenesben lévő egyoldalú esés ellentétes a követő ív túmelésének esésével,

- az egyenesben tetőszelvény (kétirányú oldalesés), az ívben egyirányú keresztdőlés, azaz túlemelés van.

Az egyenesben lévő egyoldali esés megegyezik az ív oldalesésével

A túlemelés kialakítása úgy történik, hogy T hosszban a $d\%$ -kal befelé dőlő burkolat alkotóját a pályatengely körül elfordítjuk a $q\%$ -nak megfelelő mértékig. A külső burkolatszél ezalatt m magassággal felemelkedik, a belső burkolatszél pedig m értékkel süllyed. A túlemelés (illetve süllyedés) nagysága:

$$m = m_q - m_d = \frac{B}{2} \cdot \frac{q\%}{100} - \frac{B}{2} \cdot \frac{d\%}{100} = \frac{B}{200} \cdot (q\% - d\%)$$

ahol:

- m = túlemelés (m),
- m_q = $q\%$ oldalesésből adódó magasságkülönbség (m),
- m_d = $d\%$ oldalesésből eredő magasságkülönbség (m),
- B = burkolatszélesség (m),
- $q\%, d\%$ = oldalesések.

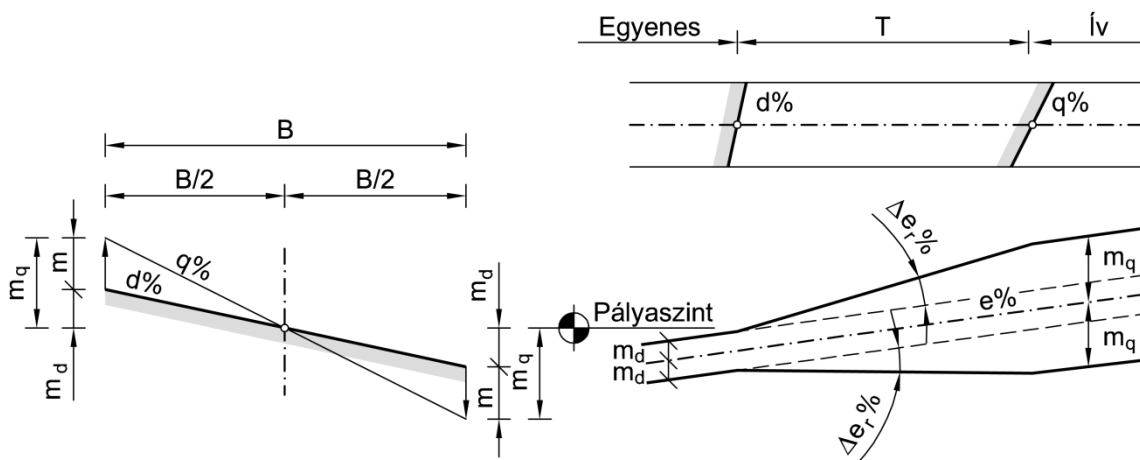
Az oldalesés, illetve túlemelés hosszirányban a távolsággal egyenes arányban változik, tehát a kifuttatás a T kifuttatási hosszban egyenes burkolatszél vonallal történik. A burkolatszél vonala a kifuttatási hosszban Δe_r relatív hosszeséssel eltér a tengely $e\%$ emelkedésétől illetve esésétől. Értéke annál kisebb, minél nagyobb az út tervezési sebessége. Ha $v_t=30-40\text{km/h}$, akkor $\Delta e_r=1,5\%$, ha $v_t=50-60\text{km/h}$, akkor $\Delta e_r=1,0\%$. Ennél nagyobb relatív hosszesés a túlemelés kifuttatásánál utazáskényelmi szempontból nem alkalmazható. A megengedett relatív hosszeséshez tartozó minimális kifuttatási hossz, a T értékét, az alábbi összefüggés segítségével határozhatjuk meg:

$$m = \frac{B}{200} \cdot (q\% - d\%) = T \cdot \frac{\Delta e_r\%}{100}$$

Ebből:

$$T = \frac{B \cdot (q\% - d\%)}{2 \cdot \Delta e_r\%}$$

A tervezés során a T értéknél rövidebb kifuttatási hossz nem tervezhető.



Az egyenesben lévő egyoldali esés megegyezik az ív oldalesésével

Az egyenesben lévő egyoldali esés ellentétes az ív oldalesésével

Az ív oldalesésével ellentétes irányú $d\%$ -os egyoldali esésből úgy jön létre a $q\%$ -kal bíró oldalesés, hogy a burkolat alkotóját a pályatengelyben lévő forgáspont körül T hosszon átfordítjuk addig, amíg a kívánatos irányú és $q\%$ -kal rendelkező pálya ki nem alakul. A külső burkolatszél túlemelése, illetve a belső burkolatszél süllyedése m mértékű, melynek nagysága:

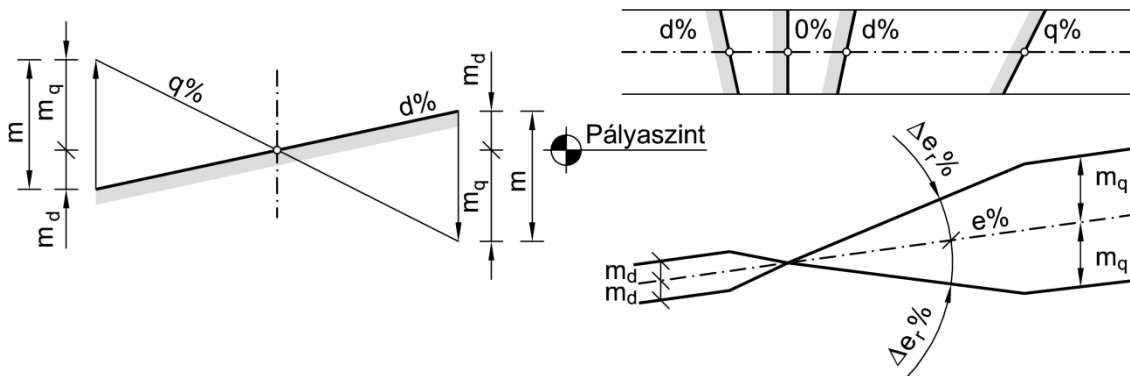
$$m = m_q + m_d = \frac{B}{2} \cdot \frac{q\%}{100} + \frac{B}{2} \cdot \frac{d\%}{100} = \frac{B}{200} \cdot (q\% + d\%)$$

A minimális kifuttatási hossz pedig, ha:

$$m = \frac{B}{200} \cdot (q\% + d\%) = T \cdot \frac{\Delta e_r\%}{100}$$

Ebből:

$$T = \frac{B \cdot (q\% + d\%)}{2 \cdot \Delta e_r\%}$$



Az egyenesben lévő egyoldali esés ellentétes az ív oldalesésével

Az egyenesben tetőszelvény, az ívben egyirányú oldalesés van

A tetőszelvényvel rendelkező felületből úgy alakítjuk ki a $q\%$ -os egyirányú oldalesést, hogy – a belső burkolatfél változatlanul hagyása mellett – először a külső burkolatfél alkotóját a pályatengelyben lévő forgáspont körül elforgatjuk addig, amíg esése a belső burkolatfél esésével megegyező lesz (nyereg-átmenet szakasza). Ezután a belső és külső burkolatfelet, mint alkotót együtt forgatjuk el a $q\%$ -nak megfelelő mértékig (túlemelés-átmenet szakasza). A T kifuttatási hosszon létrejött m túlemelés értéke:

$$m = m_q + m_d = \frac{B}{2} \cdot \frac{q\%}{100} + \frac{B}{2} \cdot \frac{d\%}{100} = \frac{B}{200} \cdot (q\% + d\%)$$

A kifuttatás minimális hossza, ha:

$$m = \frac{B}{200} \cdot (q\% + d\%) = T \cdot \frac{\Delta e_r\%}{100}$$

Ebből:

$$T = \frac{B \cdot (q\% + d\%)}{2 \cdot \Delta e_r\%}$$

A túlemelés kifuttatási szakasz hossza (T) a nyereg – átmenet (NY) és a túlemelés – átmenet (T') szakaszából tevődik össze.

A nyereg-átmenet szakaszában alakul ki a tetőszelvényből a $d\%$ -os egyirányú oldalesés. Mivel a belső burkolatfél a szakasz teljes hosszán $d\%$ oldalesésű, a szélesítés nélküli burkolatszélén nem jön létre süllyedés. A külső burkolatfél oldalesése $-d\%$ -tól $+d\%$ -ig változik. Így a külső és belső burkolatfelület között az egyenesben kialakult törés végéig megmarad, de a törésszög a szakasz végére 0-ra csökken.

A túlemelés-átmenet szakaszában alakítjuk ki az egyirányú $d\%$ -ból a $q\%$ -os oldalesést. A szélesítés nélküli belső burkolatszél ettől kezdve fokozatosan lesüllyed.

A nyereg-átmenet szakaszának végén a külső burkolatszél túlemelése $2m_d$, ezzel számítható ennek a szakasznak a minimális hossza:

$$2 \cdot m_d = B \cdot \frac{d\%}{100} = NY \cdot \frac{\Delta e_r\%}{100}$$

Ebből:

$$NY = B \cdot \frac{d\%}{\Delta e_r\%}$$

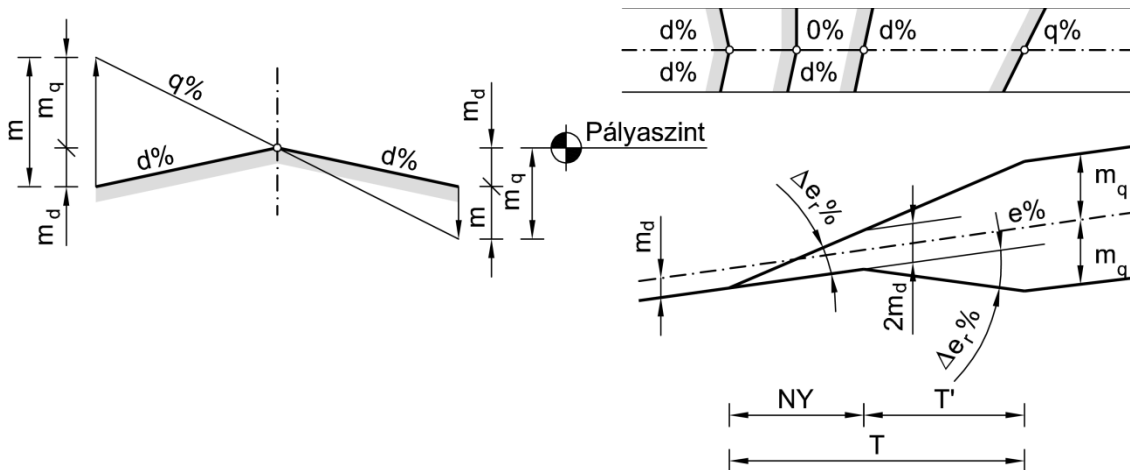
A túlemelés-átmenet szakaszának minimális hossza pedig, ha:

$$m_q - m_d = \frac{B}{2} \cdot \frac{(q\% - d\%)}{100} = T' \cdot \frac{\Delta e_r\%}{100}$$

Ebből:

$$T' = \frac{B \cdot (q\% - d\%)}{2 \cdot \Delta e_r\%}$$

A két szakasz összege a teljes kifuttatási hosszal (T) egyezik meg.



Az egyenesben tetőszelvény, az ívben egyirányú oldalesés van

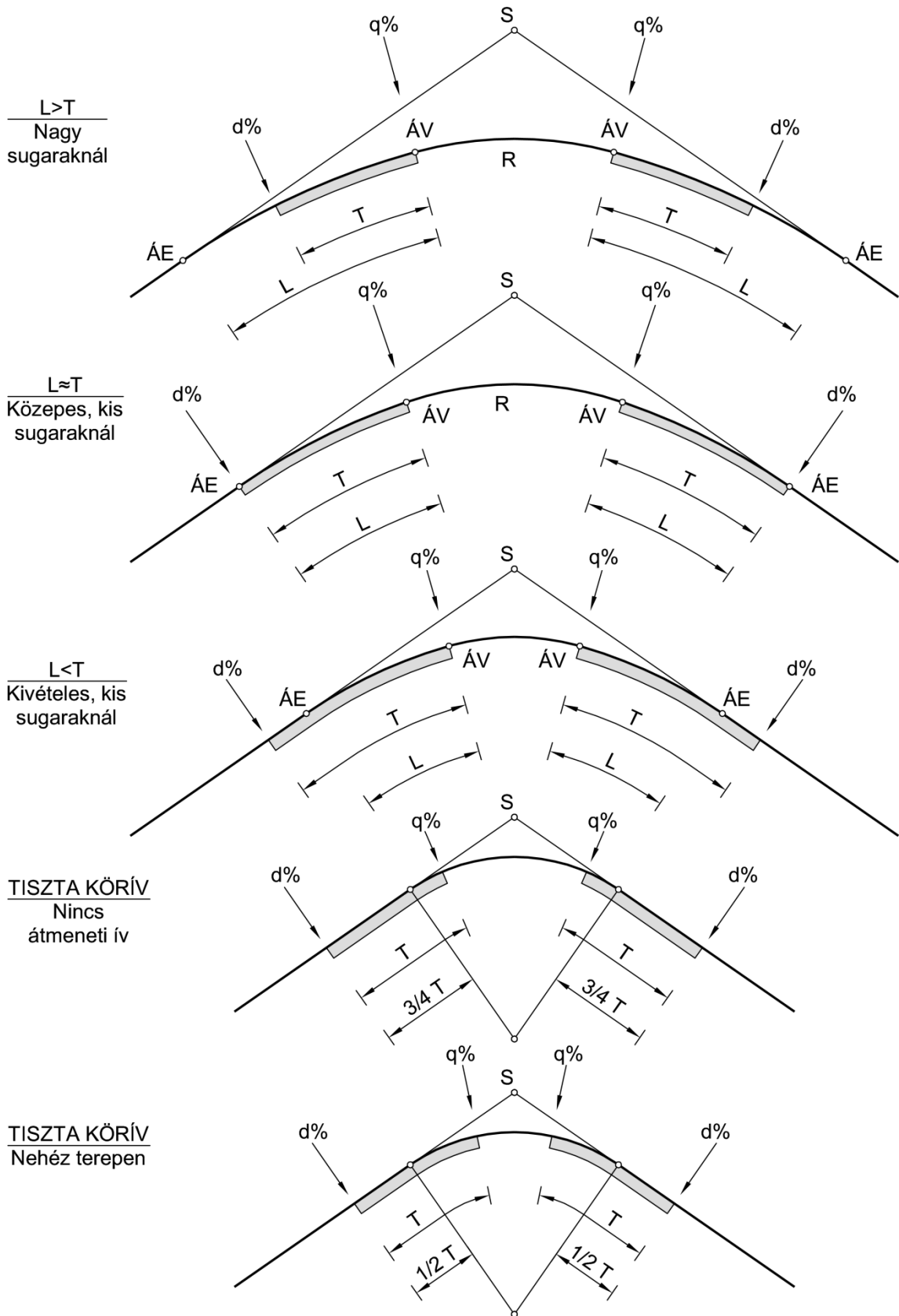
A túlemelés-átmeneti szakasz elhelyezése és a kifuttatás tervezése

A túlemelés kifuttatási szakasz elhelyezése a következők figyelembevételével történjen:

- hosszú átmeneti íveknél ($L > T$) a túlemelés-átmenet szakasz végét az átmeneti ív végéhez kell illeszteni;
- amikor az átmeneti ív és a kifuttatás hossza közel egyforma ($L \sim T$), akkor az átmeneti ív hosszán futtatunk ki;

- rövid átmeneti íveknél ($L < T$), először célszerű megkísérelni az átmeneti ív hosszának növelését. Amennyiben ez nem lehetséges, akkor a kifuttatás az egyenesben kezdődik és az átmeneti ív végénél fejeződik be;
- tiszta köríveknél, ahol $L=0$, a túlemelés kifuttatási hosszának háromnegyede az egyenesbe, egynegyede a körívbe essen. Nehéz terepviszonyok között a túlemelés-átmenet egyik fele az egyenesbe, másik fele a körívbe eshet;
- elleníveknél a túlemelés kifuttatás hosszát úgy kell elhelyezni, hogy a 0%-os (vízszintes) oldalesés az inflexiós pont közelébe essen;
- elleníveknél, amikor egyenesben tetőszelvényt tervezünk, a két körív közötti rövid egyenes szakaszon ezt nem alakítjuk ki, hanem $q_1\%$ -ot a kifuttatási hosszon át kell fordítani a $q_2\%$ -ra;
- kosáríveknél a túlemelés átmeneti szakaszt a kisebb sugarú körívhez csatlakoztatjuk. Tiszta körívek csatlakozásánál a kifuttatási hossz felét az egyik, másik felét a másik körívbe helyezzük;
- azonos irányú, de egyenessel csatlakozó ívek között tetőszelvényt nem alakítunk ki. A nagyobb sugarú ív oldalesését a kisebb sugarú ívig megtartjuk. A túlemelés átmenet szakaszt a kisebb sugarú ívhez kapcsolva helyezzük el. Ezen a szakaszon a $q_1\%$ -ból forgatással alakítjuk ki a $q_2\%$ -ot.

A túlemelés kifuttatás szakaszán belül, az egyes pontokra vonatkozó túlemelési értékek (m_i) a kifuttatás kezdőpontjából a pályatengelyben mért távolságokkal arányosan, lineáris közbesítéssel határozhatók meg. A kifuttatás átmeneti szakasz pontjaiban az oldaleséseket a túlemelésből (m_i) számíthatjuk ki, vagy egyoldali esés alkalmazásánál az m_i -hez hasonlóan, lineáris közbesítéssel határozhatjuk meg. Ezeket az adatokat a keresztmetszelvények megtervezésénél fogjuk felhasználni.



Tülemelés kifuttatási szakasz elhelyezése

BURKOLATSZÉLEK VONALVEZETÉSE PÁLYASZÉLESÍTÉSÉNél

Az ívben haladó járművek nagyobb szélességű sávot igényelnek a mozgáshoz, mint egyenesben. Ez a szélességtöbblet az ún. pályaszélesítés, ami abból adódik, hogy a nem kormányzott kerekek kisebb sugarú ívben gördülnek, mint a kormányzottak. A szükséges pályaszélesítést úgy kapjuk, hogy az ívben mozgó jármű első külső és hátsó belső kerekének gördülési sugárkülönbségéből levonjuk az egyenesben haladó jármű nyomszélességét. A legtöbb jármű tengelyeinél a nyomtávolság megegyezik, vagy csak elhanyagolhatóan kis mértékkel tér el egymástól, így a kerekek gördülési sugara helyett a tengelyek középpontjai által befutott ívsugarakat használjuk fel a pályaszélesítés nagyságának meghatározására.

A pályaszélesítés nagyságát úgy kapjuk meg, hogy az első tengely közepe által befutott ívsugárból levonjuk az utolsó tengely közepe által leírt ívsugarat. Az így kiszámított pályaszélesítés egy forgalmi sávra vonatkozik. A teljes útpálya szükséges szélesítése az egyes forgalmi sávok szélesítésének összege. A pályaszélesítés nagyságát az ívsugár értéke, a jármű szerkezeti méretei (tengelytávolság, vonóhorog távolsága a hátsó tengelytől, vonórúd hossza) és kormányzási rendszere szabja meg. A szélesítés nagysága tekintetében az erdészeti utakon közlekedő járművek közül a pótkocsis tehergépkocsit tekinthetjük mértékadónak. A többi jármű szélesítés igénye ezt az értéket nem haladhatja meg.

Szélesítés nagysága pótkocsis tehergépkocsi esetén

A pótkocsis tehergépkocsi szélesítés szempontjából fontos méretei az alábbiak:

- a_1 = tehergépkocsi tengelytávolsága (m),
- a_2 = vonóhorog távolsága a gépkocsi hátsó tengelyétől (m),
- a_3 = pótkocsi vonórúdjának hossza (m),
- a_4 = pótkocsi tengelytávolsága (m).

Az a_1, a_2, a_3 és a_4 szakaszok kezdő és végpontjához tartozó sugarak: R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 . Ezek közül R_1 az első, R_5 pedig az utolsó tengely középpontjának fordulási sugara.

A szélesítés mértéke (ΔB):

$$\Delta B = R_1 - R_5$$

R_1 értéket tekintjük ismertnek. Ebből a sugárnagyságból kiindulva, az a_1, a_2, a_3 és a_4 méretek segítségével, a kapcsolódó derékszögű háromszögekből Pythagoras tételének felhasználásával az R_5 értéke számítható, az alábbiak szerint:

$$R_1^2 = R_2^2 + a_1^2 \quad \text{ebből:} \quad R_2^2 = R_1^2 - a_1^2$$

$$R_3^2 = R_2^2 + a_2^2; \quad R_2 \text{ behelyettesítésével:} \quad R_3^2 = R_1^2 - a_1^2 + a_2^2$$

$$R_3^2 = R_4^2 + a_3^2 \quad \text{ebből:} \quad R_4^2 = R_3^2 - a_3^2$$

$$R_3 \text{ behelyettesítésével:} \quad R_4^2 = R_1^2 - a_1^2 + a_2^2 - a_3^2$$

$$R_4^2 = R_5^2 + a_4^2, \text{ ebből:} \quad R_5^2 = R_4^2 - a_4^2$$

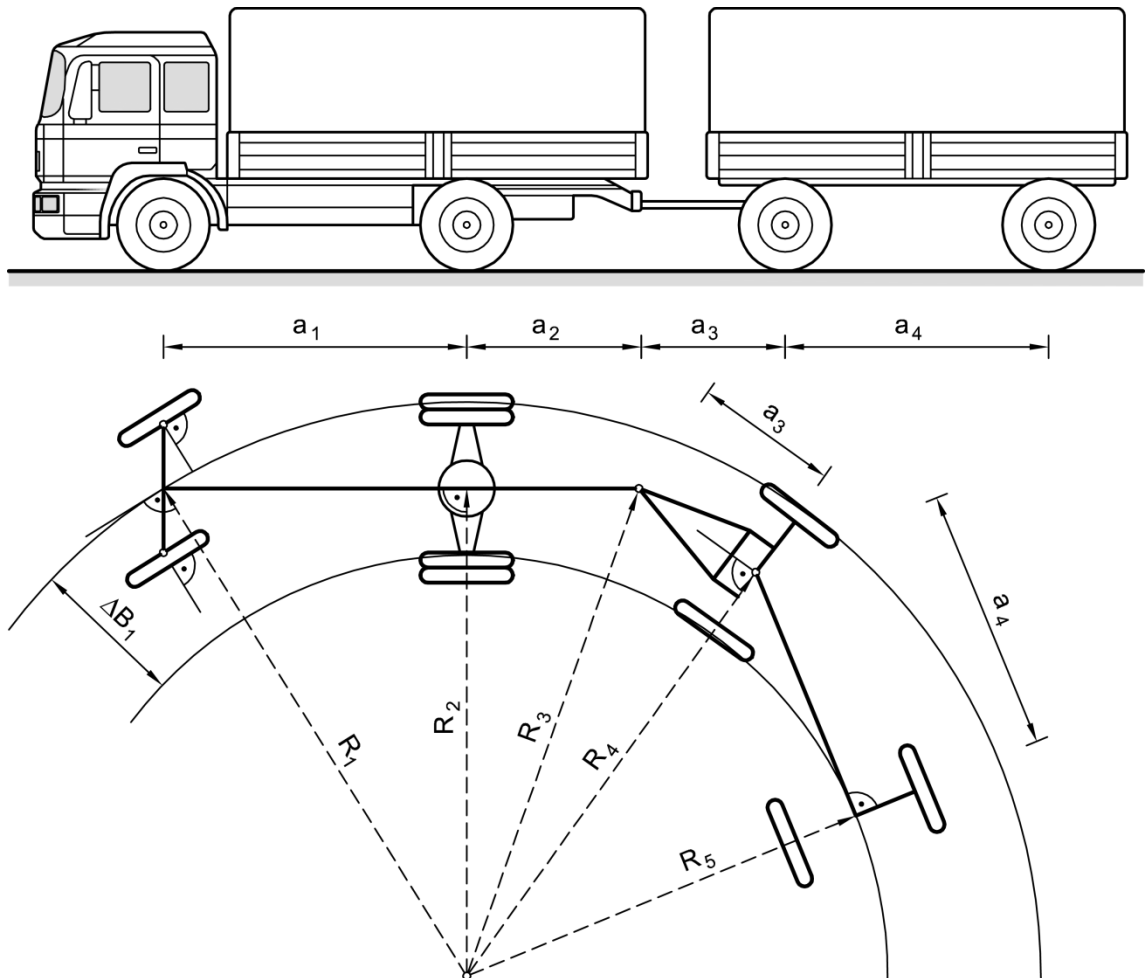
$$R_4 \text{ behelyettesítésével:} \quad R_5^2 = R_1^2 - a_1^2 + a_2^2 - a_3^2 - a_4^2$$

A keresett sugárérték tehát:

$$R_5 = \sqrt{R_1^2 - a_1^2 + a_2^2 - a_3^2 - a_4^2}$$

Az egy forgalmi sávra vonatkozó szélesítés pedig:

$$\Delta B_1 = R_1 - \sqrt{R_1^2 - a_1^2 + a_2^2 - a_3^2 - a_4^2}$$



Pótkocsis tehergépkocsi helyzete és szélesítés igénye ívekben

A számítás közben feltételeztük, hogy a jármű kerekei koncentrikus körökön, tiszta gördüléssel haladnak. A tehergépkocsi első tengelye által leírt R_1 sugarú ív egy forgalmi sávú utakon megegyezik a tengelyvonallal. Két forgalmi sávú pályánál pedig a külső és belső sávok középvonalainak átlagos sugara – kis elhanyagolással – a tengelyvonal sugarával helyettesíthető.

Így tehát:

$R_1 = R$ behelyettesítés után

$$\Delta B_1 = R - \sqrt{R^2 - a_1^2 + a_2^2 - a_3^2 - a_4^2}$$

Ez az összefüggés sorbafejtéssel egyszerűbb alakra hozható. Az előző egyenletben a négyzetgyök alatti kifejezés átrendezésével és sorbafejtésével az alábbi, közelítő képletet kapjuk:

$$\Delta B_1 = R - R \cdot \sqrt{\left(1 - \frac{a_1^2 - a_2^2 + a_3^2 + a_4^2}{R^2}\right)}$$

További egyszerűsítéssel megkapjuk az erdészeti utakon közlekedő járművek szélesítési igényének számítására használható közelítő összefüggést:

$$\Delta B_1 \cong \frac{a_1^2 - a_2^2 + a_3^2 + a_4^2}{2 \cdot R}$$

Az erdészeti utakon közlekedő további járművek szélesítési igényét erre a közelítő összefüggésre támaszkodva meghatározható.

Szélesítés nagysága tehergépkocsiknál, személygépkocsiknál és munkagépeknél

Tehergépkocsi, személygépkocsi és munkagépek közlekedésénél az $a_2 = 0$, $a_3 = 0$ és $a_4 = 0$. Így a szélesítés:

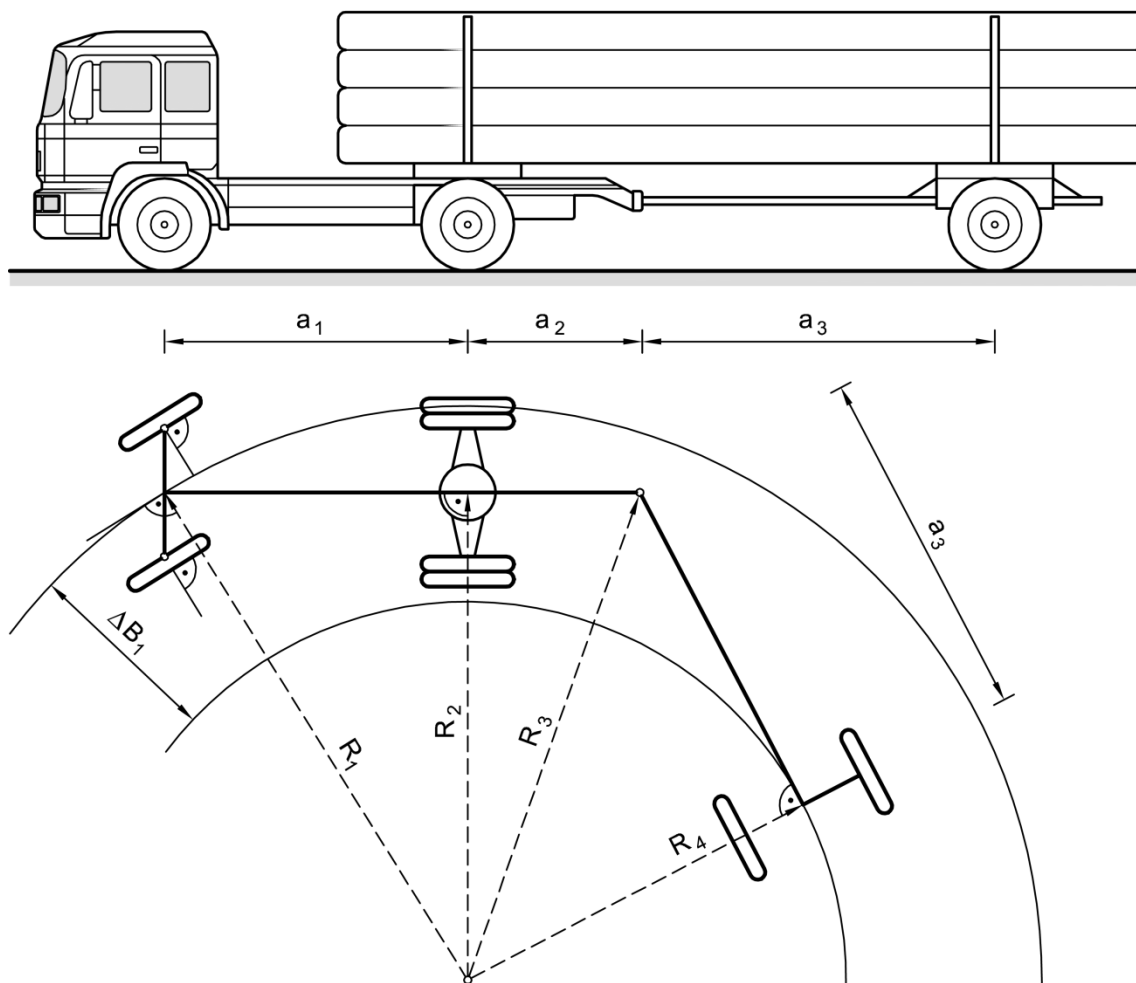
$$\Delta B_1 = \frac{a_1^2}{2 \cdot R}$$

Hosszúfás szerelvény utánfutóval

Hosszúfa szállítására, csak speciálisan kialakított hosszúfás szerelvény alkalmas, amely elég nagy szélesítést igényel. A számításnál $a_4 = 0$, a szélesítés pedig:

$$\Delta B_1 = \frac{a_1^2 - a_2^2 + a_3^2}{2 \cdot R}$$

Az a_2 -nek a_3 rovására való növelésével a szélesítés mértéke csökkenthető.



Szélesítés nagysága egyszerű utánfutós hosszúfás szerelvényénél

Szélesítés nagysága kormányzott utánfutós hosszúfás szerelvényénél

A kimondottan hosszúfa szállítására kialakított speciális szerelvény utánfutója rendszerint a tehergépkocsi hátsó kerekeinek nyomában fut. Az utánfutó kormányzása történhet keresztkötelekkel, nyomórudakkal, vagy a tehergépkocsi kormányművéről hidraulikus, pneumatikus és elektromos úton. Ha $a_4 = 0$, $a_2 = a_3$ és $b_1 = b_2$, akkor $R_2 = R_3$. A számításhoz használt elméleti szerelvényénél a szélesítés nagysága a keréknyomok eltolódásából:

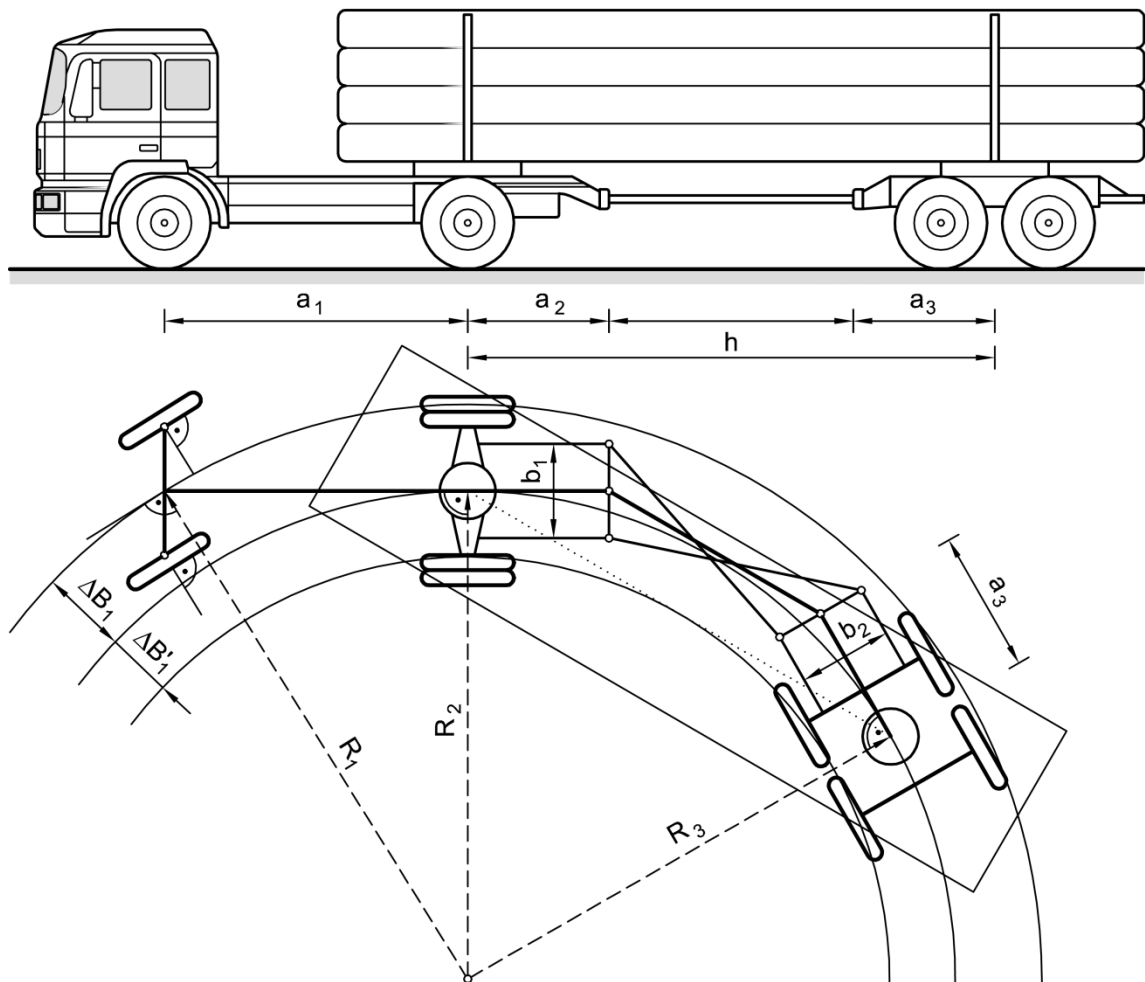
$$\Delta B_1 = \frac{a_1^2}{2 \cdot R}$$

A szélesítés mértékét tehát a tehergépkocsi méretei szabják meg. A hosszúfával megrakott szerelvény azonban ezzel a szélességgel megnövelt sávban nem fér el. A forgószámolyok közötti távolság felében a rakomány az ívmagassággal kilép a sávból, ami az utánfutó kormányzásának a következménye. A forgószámolyok h távolságra vannak egymástól. A kilépés értéke a parabola képlet alapján:

$$\Delta B'_1 = \frac{h^2}{8 \cdot R_2}; \quad R_2 = R - \Delta B_1$$

Egy forgalmi sáv utaknál ezzel az értékkel elegendő az ív belső oldalán, a szabadon tartandó sávot megnövelni. Két forgalmi sáv kiépítésnél a belső oldalon a szabadon tartandó sávot, a külső oldalon

pedig a járófelület szélességét is meg kell növelni ezzel az értékkel, mert ennek hiányában a szemben haladó szerelvények összeütközhetnek.



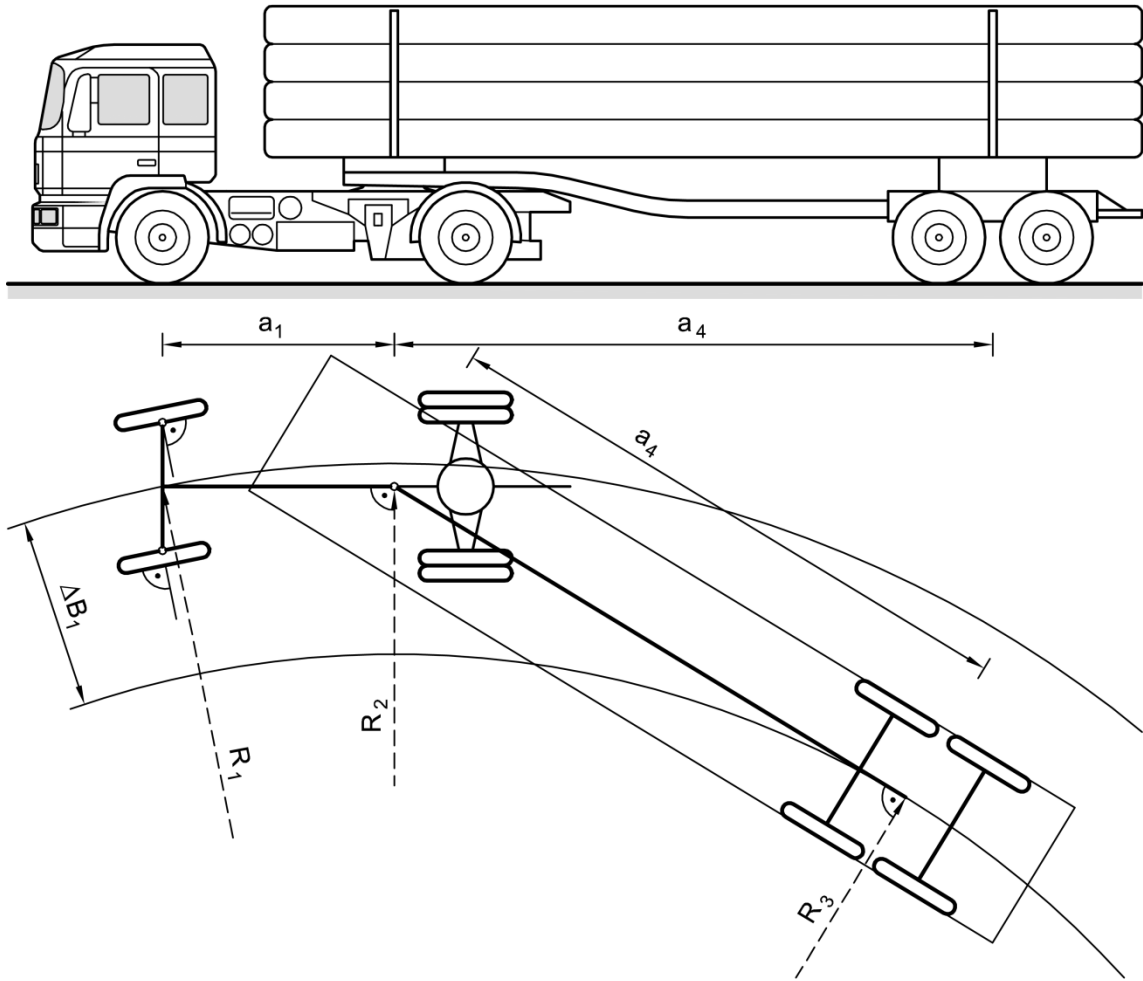
Szélesítés nagysága kormányzott utánfutós hosszúfás szerelvénynél

Szélesítés nagysága nyerges vontatónál

Nyerges vontatóknál a rakomány elhelyezésére alkalmas félpótkocsit a királycsap köti össze a vontatóval. Az $a_2 = 0$ az $a_3 = 0$ és a félpótkocsi királycsapja és hátsó tengelye közötti távolság a_4 . A szélesítés mértéke:

$$\Delta B_1 = \frac{a_1^2 + a_4^2}{2 \cdot R}$$

A nyerges vontató szélesítési igénye elég nagy. Emiatt ez az elrendezés hosszúfás szerelvények kialakításához kevésbé javasolható. Amennyiben ilyen járművek közlekedésére számítani lehet, akkor a korábban épült útjaink korszerűsítésekor meg kell vizsgálni, hogy az ívekben a kellő szélesítéssel rendelkezünk-e.



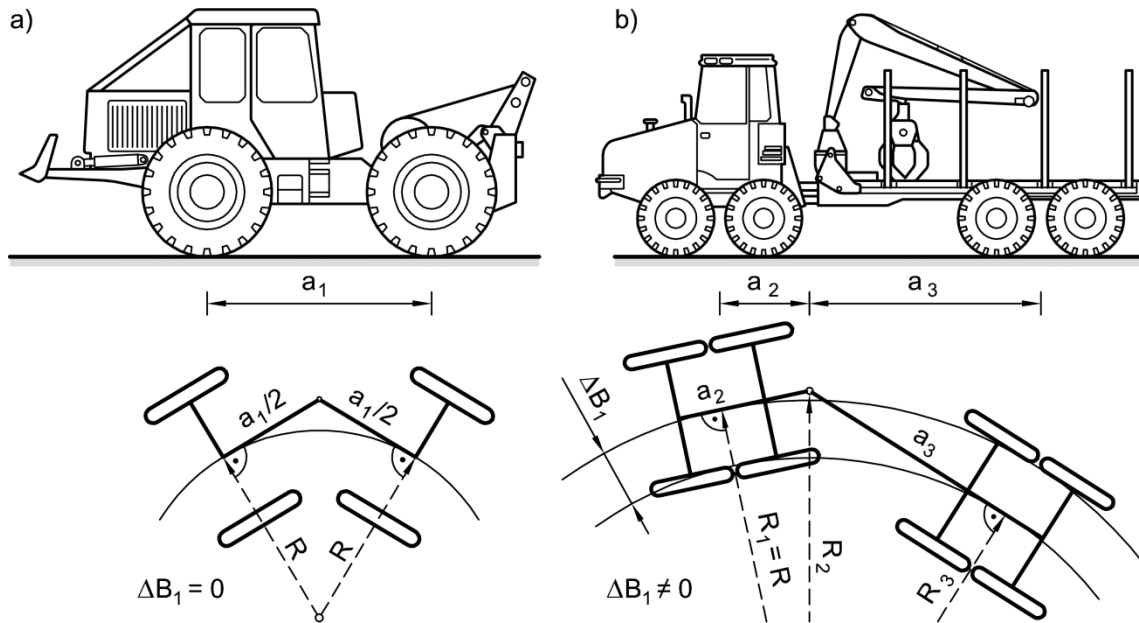
Szélesítés értéke nyerges vontatónál

Szélesítés nagysága alvázcsuklós kormányzású vontatóknál

Az alvázcsuklós kormányzású vontatók nem igényelnek szélesítést, ha a csuklót a tengelytávolság felében helyezték el (markolós vonszolók, csörlős vonszolók. Ennél a szerkezeti kialakításnál a hátsó kerekek az első kerekek nyomán haladnak, ami nagyon kedvező az akadályok kikerülése szempontjából. Ebben az esetben $\Delta B_1=0$.

A kihordóknál (forwardereknél) az első tengelyhez közelebb helyezik el a csuklót, mint a hátsóhoz. A szélesítés mértéke:

$$\Delta B_1 = \frac{-a_2^2 + a_3^2}{2 \cdot R}$$



Csuklós vontatók szélesítés-igénye ívekben

Szélesítés nagysága két pótkocsis szerelvénynél

A pótkocsi vonóhorgának távolsága a hátsó tengelytől a_5 . A többi jelölés mint a pótkocsis tehergépkocsinál. A szélesítés nagysága:

$$\Delta B_1 = \frac{a_1^2 - a_2^2 + 2a_3^2 + 2a_4^2 - a_5^2}{2 \cdot R}$$

A pályaszélesítés kifutóvonala és az üldözőgörbe

Az egyenesből illetve az ívből egyenesbe forduló járművek az előzőekben meghatározott szélesítést fokozatosan növekedve, illetve fokozatosan csökkenve veszik igénybe. A szélesítés 0-tól ΔB_1 -ig való növekedése, illetve a ΔB_1 -ről 0-ra való csökkenése a pályaszélesítés kifutóvonala szerint történik, ami egy üldözőgörbének felel meg.

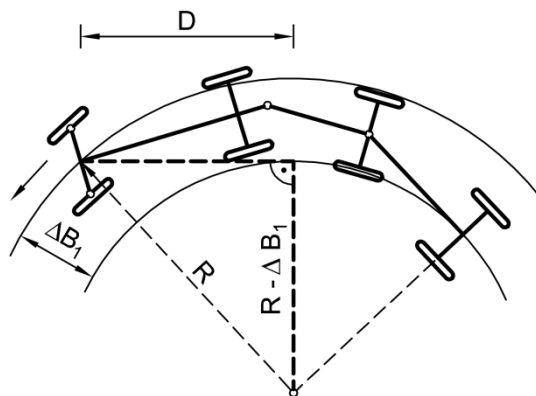
A gépkocsi szerelvény hátsó tengelyének középpontja egy üldözőgörbén fut. A vezérgörbe az első tengely középpontjának az útja (az úttengely vonala). Az üldözőgörbe minden pontja a hozzá tartozó vezérgörbe-ponttól mindig D távolságban van.

A D távolság gépkocsinál a tengelytávolság ($D = a_1$), a gépkocsi szerelvényeknél pedig az egyenértékű tengelytávolság. Az egyenértékű tengelytávolságú gépkocsi szélesítési igénye megegyezik a gépkocsi szerelvény szélesítési igényével. Ez alapján felírható:

$$(R - \Delta B_1)^2 + D^2 = R^2$$

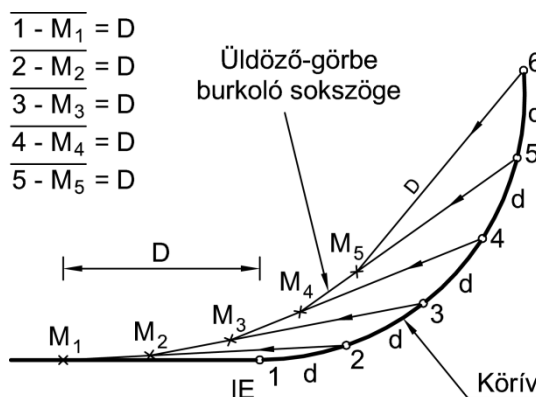
Ebből:

$$D = \sqrt{R^2 - (R - \Delta B_1)^2}$$



Egyenértékű tengelytávolság értelmezése pótkocsis tehergépkocsinál

Az üldözőgörbe burkoló sokszöge a Guhlmann-féle szerkesztéssel rajzolható meg. Az út tengelyvonalán a körív, vagy az átmeneti ív kezdőpontjából (IE vagy ÁE=1. pont) azonosra választott d távolságonként bejelöljük az 1-2-3 stb. jelű pontokat. Az 1 jelű ponttól visszamérjük a D távolságot, adódik az M_1 pont. Az M_1 pontot 2-vel kötjük össze, 2-től visszamérjük a D távolságot, kapjuk az M_2 pontot. Az M_2 pontot a 3. ponttal kötjük össze. A 3-tól visszamérjük a D távolságot, kapjuk az M_3 pontot (és így tovább).

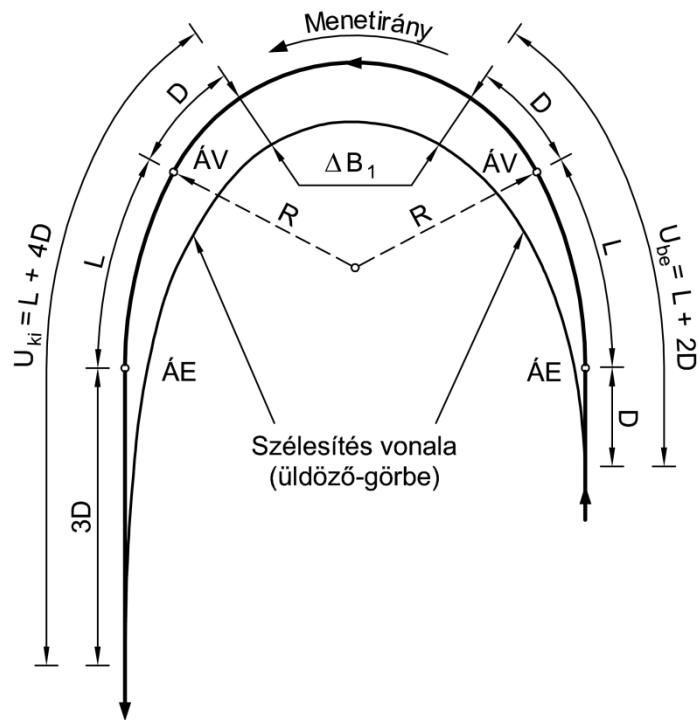


Üldözőgörbe szerkesztése Guhlmann szerint

Egy nagy középponti szögű ívnél, útfordulónál végig elvégezve a D tengelytávú jármű hátsó tengelye útjának megszerkesztését, azt tapasztaljuk, hogy az U átmeneti szakasz hossza is és ordinátái is eltérőek a behaladásnál és a kihalásnál:

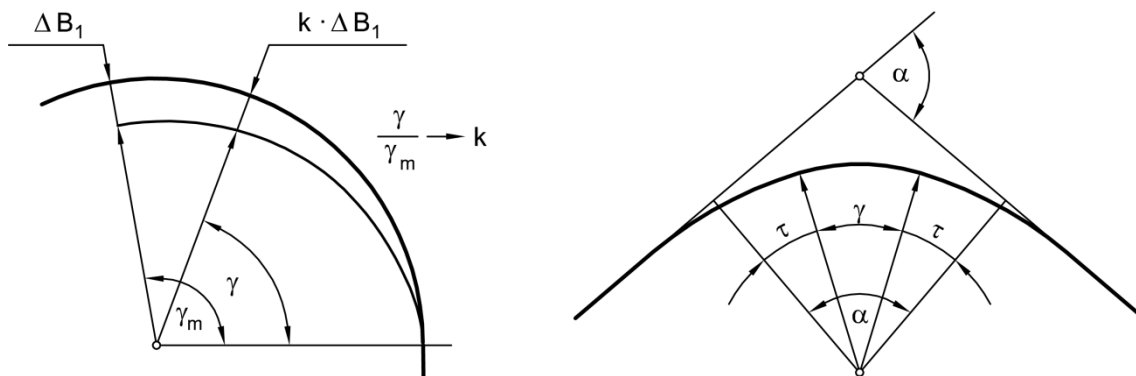
behaladásnál: $U_{be} = D + L + D = L + 2 \cdot D$;

kihalásnál: $U_{ki} = D + L + 3D = L + 4 \cdot D$.



Jármű szélesítési igényének alakulása az ív befutása alatt

A Guhlmann-féle üldözőgörbe szerkesztése arra is rámutat, hogy az eredetileg egy forgalmi sávra vonatkozó ΔB_1 pályaszélesítést a jármű valóban csak akkor foglalja el, ha az ív középponti szöge elegendő nagy, s elér egy, az R sugártól függő γ_m határértéket. Ha az ív középponti szöge γ e határérték alatt marad, az R sugárhoz tartozó ΔB_1 szélesítés értékét csökkenteni kell, és ezt a szélesítést kell kifuttatni. A $\frac{\gamma}{\gamma_m}$ -től függő csökkentő tényező k , az egy forgalmi sáv csökkentett szélesítése pedig $k \cdot \Delta B_1$ lesz. Tehát a szélesítés értéke nemcsak a járműtől, az ív sugarától (R), hanem az ív középponti szögének nagyságától is függ.



Szélesítés összefüggése a középponti szög nagyságával

Pályaszélesítés értékei

Pályaszélesítést csak a 250 m-nél kisebb sugarú íveknél kell tervezni. Az egy forgalmi sávra vonatkozó pályaszélesítést (pótkocsis tehergépkocsit alapul véve) az R sugár és a középponti szög függvényében az EUTI táblázatban adja meg. A táblázati értékek már az illető középponti szögnek megfelelő, csökkentett pályaszélesítéseket adják meg egy forgalmi sávra vonatkozóan.

A teljes pályaszélesítés:

$$\Delta B = n \cdot \Delta B_1$$

ahol:

- n - a forgalmi sávok száma,
- ΔB_1 - egy forgalmi sávra vonatkozó pályaszélesítés

A táblázat adatainak számításánál figyelembe vett pótkocsis tehergépkocsi méretei:

$$a_1 = 7,00 \text{ m}, \quad a_2 = 2,00 \text{ m}, \quad a_3 = 2,50 \text{ m}, \quad a_4 = 5,00 \text{ m}.$$

A táblázat szélesítési értékei biztosítják, hogy erdészeti útjainkon is zavartalanul közlekedhessenek azok a normál építésű járművek, amelyek a közutat használják. A közúton is közlekedő hosszúfás szerelvények szerkezeti kialakítását pedig úgy kell megoldani, hogy a fenti szélesítési igényt ne lépjék túl, mert ebben az esetben a közúti forgalomban balesetveszélyt jelentenek.

Pályaszélesítés-kifuttatásának tervezése

A pályaszélesítés vonalának igen gondos megszerkesztése elsősorban a domb- és hegyvidéki utak kis sugarú fordulóinál lesz fontos, a forgalombiztonság és a járhatóság biztosítása érdekében. Más esetekben rendszerint megelégedhetünk a kevesebb munkát jelentő, de kielégítő pontosságot szolgáltató közelítő eljárások alkalmazásával.

A ΔB szélesítést általában az ív belső oldalán helyezük el, de szükség esetén megosztható a pálya két oldalára is.

Kifuttatás az üldözőgörbe megszerkesztésével

A tárgyalt eljárások közül ezzel a módszerrel tervezett szélesítés igazodik legjobban a járművek mozgásához. Munkaigénye eléggé magas, ezért csak kivételesen, kis sugarú fordulónál alkalmazzuk. A kifuttatás megszerkesztése, a tervezés elvégzése az előzőekben tárgyalt ismeretekből következik. A kifuttatási szakaszon belül a szélesítés nagysága – közelítően – lineáris közbesítéssel határozható meg.

Kifuttatás belső klotoid átmeneti ívvel

A számítás kiindulási összefüggései az alábbiak:

$$\Delta R_b = \Delta R + \Delta B$$

$$R_b = R - \frac{B}{2} - \Delta B$$

ahol:

- ΔR = tengely köríveltolása (m),
- ΔR_b = belső burkolatszél köríveltolása (m).

A belső klotoid további adatai:

$$L_b = \sqrt{\frac{\Delta R}{24 \cdot R_b}}$$

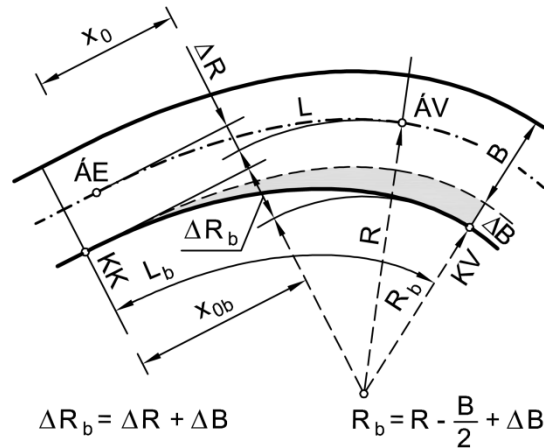
$$p_b = \sqrt{R_b \cdot L_b}$$

ahol:

- L_b = belső burkolatszél klotoid átmeneti ívének hossza (m),
- ρ_b = belső burkolatszél klotoid átmeneti ívének paramétere (m).

Ezekből az adatokból a belső klotoid fő kitézési adatai számíthatók. A kifuttatási szakasz íve a tengelyvonal klotoid ívénél hosszabb. Ezért a szélesítés kifuttatásának kezdete (KK) már az egyenes szakaszon, az átmeneti ív eleje ($ÁE$) pont előtt elkezdődik, a kifuttatás vége (KV) pedig a tiszta körívre esik az átmeneti ív vége ($ÁV$) pont után.

A kifuttatási szakaszba eső pontok (KK - KV) szélesítési adatai – jó közelítéssel – lineáris közbesítéssel is kiszámíthatók. A kifuttatásnak ez a módja tiszta körívénél is alkalmazható. Ebben az esetben $\Delta R = 0$.



Szélesítés kifuttatása belső klotoid átmeneti ível

Kifuttatás kétszeres sugarú belső ível

Ezt a módszert elsősorban tiszta körívénél alkalmazzuk, de felhasználható klotoid átmeneti ível tervezett tengelyvonalú pályáknál is. Először számítjuk a szélesített belső burkolatszél sugarát, amelynek kétszerese az előív sugara:

$$R_b = R - \frac{B}{2} - \Delta B.$$

A belső ív köríveltolásának mértéke:

- tiszta körívénél: $\Delta R_b = \Delta B$,
- klotoid átmeneti íves tengelynél: $\Delta R_b = \Delta R + \Delta B$.

Ezt követően meghatározzuk a kifuttató kétszeres sugarú ív félhosszának érintőirányú vetületét:

$$(2 \cdot R_b)^2 = (2 \cdot a_b)^2 + (2 \cdot R_b - 2 \cdot \Delta R_b)^2$$

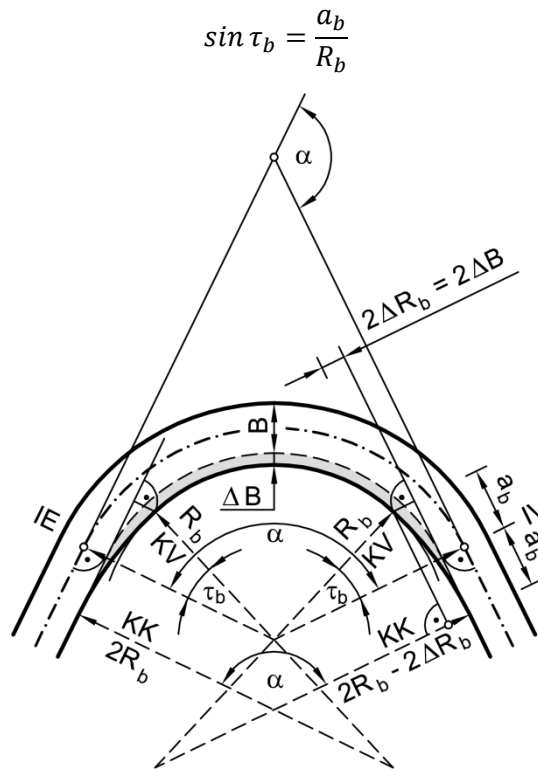
ebből:

$$a_b = \sqrt{(2 \cdot R_b - \Delta R_b) \cdot \Delta R_b}$$

A kifuttatás tehát $2a_b$ hosszön történik, így a kifuttatási hossz fele az egyenesbe, fele az ívbe esik.

A szélesítés a_b távolságnál $\Delta B/2$; $2 \cdot a_b$ távolságban pedig ΔB nagyságú. A kifuttatási szakaszon belül a szélesítés lineáris közbesítéssel számítható. A szélesítés akkor fér el, ha az ív középponti szöge egy minimális szögértéknél nagyobb. (A fél ívhossz a kifuttatási hosszánál nagyobb.)

$$\alpha \geq \alpha_{b \min} = 2 \cdot \tau_b$$



Szélesítés kifuttatása kétszeres sugarú ível

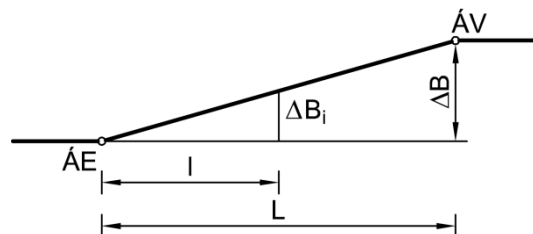
Kifuttatás a tengelyvonal átmeneti ívének hosszán

A szélesítést kialakíthatjuk az ív belső oldalán, vagy forgalmi sávonként megosztva. A szélesítés mindkét esetben az átmeneti ív elejében kezdődik, és fokozatosan növekedve az átmeneti ív végében éri el a ΔB értéket. Lineáris kifuttatásnál a szélesítés a távolsággal egyenes arányban nő. Így a közbenső pontok szélesítése aránypárral számítható:

$$\Delta B_l = \frac{l}{L} \cdot \Delta B$$

ahol:

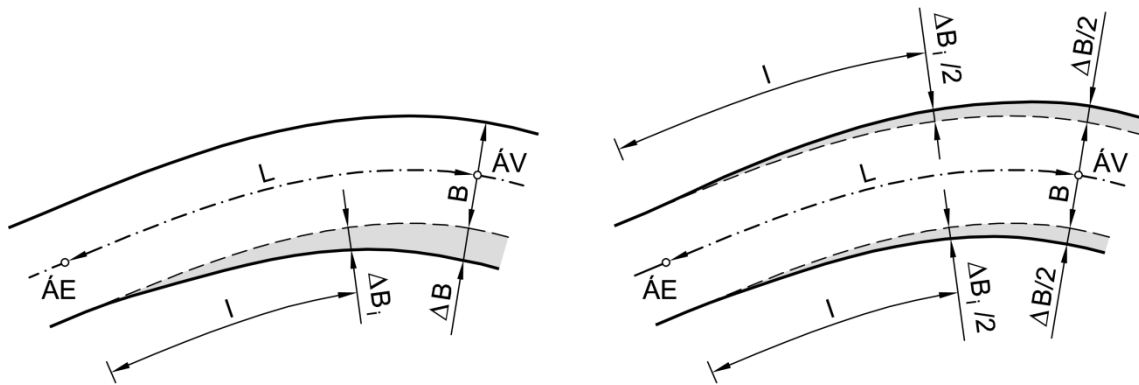
- ΔB_l = l távolsághoz tartozó szélesítés (m),
- l = átmeneti ív hossza az $\hat{A}E$ -től (m),
- L = átmeneti ív teljes hossza,
- ΔB = szélesítés (m).



Szélesítés kifuttatása egyenes vonallal

A ΔB_l sugar irányú felmérésével megkapjuk az l távolságban lévő burkolatszél egy pontját. Megfelelő számú burkolatszél pont előállítása után a szélesített burkolatszél megrajzolható.

Erdészeti utaknál általában megfelelő, ha a szélesítést az ív belső oldalán, a tengelyvonal átmeneti ívének hosszán futtatjuk ki.



Szélesítés kifuttatása a tengelyvonal átmeneti ívének hosszán

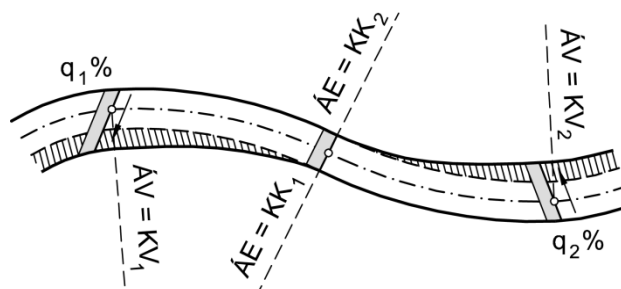
Túlemelés és a szélesítés kifuttatás különleges helyzetű ívsorozatoknál

Tervezési és kivitelezési szempontból is előnyös, ha a túlemelés-átmenet kialakításának hossza megegyezik a pályaszélesítés kifuttatásának hosszával, annak kötött geometriai helyzete miatt. Kialakulnak azonban olyan vonalvezetési helyzetek, amikor az általános kifuttatási szabályokat nem lehet betartani, ezért attól eltérő szabályozást kell elfogadni. Ilyen vonalvezetési helyzetek alakulnak ki az ívsorozatoknál, mint

- inflexiós átmeneti íves köríveknél,
- a közvetlenül csatlakozó azonos irányú köríveknél,
- a rövid egyenes szakasszal csatlakozó azonos irányú íveknél.

Inflexiós átmeneti íves körívek

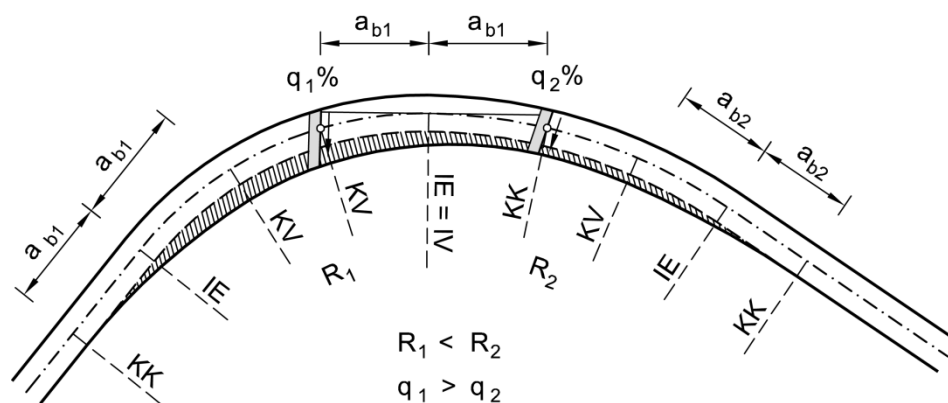
Ebben a geometriai helyzetben az ellenkező oldalon megjelenő szélesítés kifuttatása a klotoid átmeneti ív hosszán megvalósítható. Az ellenkező irányba váltó dőlésnél a közös $\text{ÁE}=\text{KK}$ pontba nem szükséges a burkolatot kétoldali dőléssel (tetőszelvényként) kialakítani, hanem azt a KV_1 ponttól a következő KV_2 pont között kell átvezetni úgy, hogy a közös ÁE pontban (az inflexiós pontban) a keresztdőlés 0% legyen. A kifuttatás a KV_1 - ÁE között lineárisan csökkenik 0%-ig, majd ugyanígy növekszik a következő ív KV_2 pontig.



Inflexiós átmeneti ívek

Közvetlenül csatlakozó azonos irányú körívek

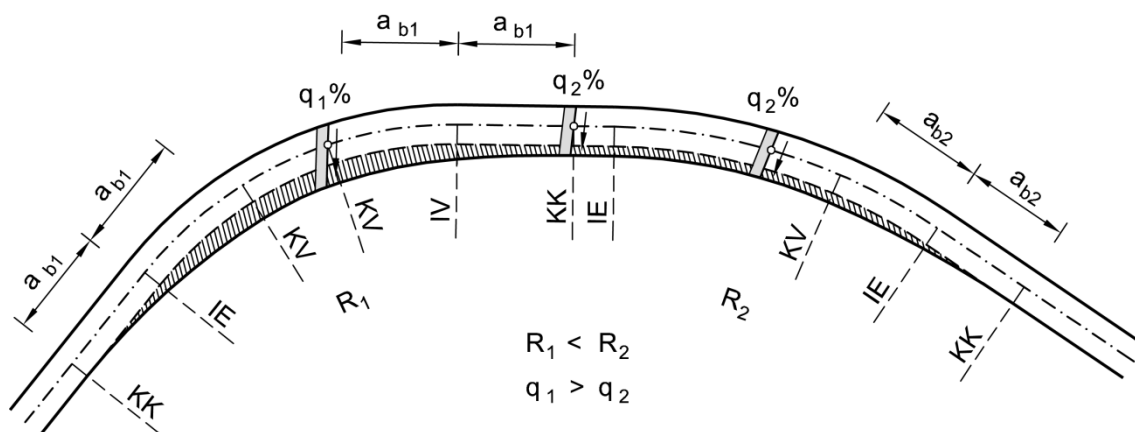
Közvetlenül csatlakozó azonos irányú íveknél a szélesítés és a túlemelés nagyságának különbségét futtatjuk át egymásba. A kifuttatási szakasz hossza a kisebb sugarú ívhez számított $2a_{b1}$ távolság, amelyet az $\text{IE}=\text{IV}$ pontra szimmetrikusan helyezünk el.



Közvetlenül csatlakozó azonos irányú körívek

Rövid egyenes szakasszal csatlakozó azonos irányú ívek

Két azonos irányú körív között nem előnyös egy rövid egyenes szakaszt meghagyni, hanem azt a két ív összetolásával célszerű kiejteni. Amennyiben a két ív összetolása nem valósítható meg, akkor a kisebb sugarú ív túlemelését és szélesítését kell az ívhez tartozó $2a_{b1}$ hosszón az IE, illetve IV pontra szimmetrikusan átfuttatni a következő ív túlemelésébe, illetve szélesítésébe. A rövid egyenesben a szélesítés, illetve a túlemelés nagysága a nagyobb sugarú ív ívben tervezendő méreteivel egyenlő.



Rövid egyenessel csatlakozó azonos irányú ívek

LÁTÓTÁVOLSÁG BIZTOSÍTÁSA, ÉS ELLENŐRZÉSE A VONALVEZETÉS TERVEZÉSEKOR

Látótávolság jelentősége és biztosítása

A látótávolság alakulása igen jelentősen befolyásolja az út forgalombiztonságát, átlagsebességét és a megengedhető forgalom nagyságát. Az út tervezésénél és korszerűsítésénél a kedvezőbb feltételek megteremtésére a következő irányelveket kell érvényesíteni:

- a tervezési sebességnél megfelelő megállási látótávolságot az út teljes hosszán biztosítani kell. Amikor egy-egy rövidebb szakaszon ez nincs meg, és csak nagy költséggel lenne megteremthető, akkor ott sebességhatártást kell előírni és ezt jelzőtábla elhelyezésével elrendelni;

- a meglévő előrelátási távolság nagysága az út hosszában természetesen változik. Törekedni kell azonban arra, hogy ez a változás a látótávolság csökkenésének irányában ne következzen be hirtelen és véletlenszerűen;
- az előzési látótávolságokkal rendelkező útszakaszok aránya annál nagyobb legyen, minél nagyobbak az illető útkategóriánál a forgalmi követelmények, minél magasabb a szolgáltatási színvonal, illetve minél jobban szeretnénk a kapacitás kihasználást csökkenteni a kapacitás növelésével;
- két forgalmi sáv, közjóléti célt is szolgáló erdészeti utaknál törekedni kell arra, hogy:
 - $v_t = 60$ km/h esetén az úthossz harmadán,
 - $v_t = 50$ km/h esetén az úthossz negyedén

az előzési látótávolság – lehetőleg egyenletes elosztásban – meglegyen.

Két forgalmi sávú utaknál a megállási és az előzési látótávolságot, egy forgalmi sávú utaknál csak a megállási látótávolságot ellenőrizzük. A viszonylag alacsony tervezési sebességű erdészeti utaknál rendszerint kielégítő pontosságot nyújt a síkban végzett közelítő látótávolság ellenőrzés.

Kis körívsugaraknál főleg domb- és hegyvidéki utaknál, közel állandó emelkedővel kapaszkodó szakaszokon, vagy pedig nagyobb R körívsugaraknál akkor, ha legalább 6-8-szor nagyobb sugarú ($R_f = 6R-8R$) magassági lekerekítőívbe esnek, az út vonala a térben fut ugyan, azonban közelítéssel egy ferde sík közelében marad és emiatt térbeli síkgörbének fogható fel. Ilyen esetekben a látótávolságokat a vízszintes ívekben adódó oldalakadályok határozzák meg. Ebben az esetben az U látótávolság biztosításához szükséges d látószélesség egyszerű eljárásokkal meghatározható.

Látószélesség meghatározása számítással

Számítással akkor határozható meg a látószélesség, ha a körív hossza meghaladja az U távolságot. Kis sugarú íveknél a szükséges látószélesség értéke:

$$d_{sz} = R - R \cdot \cos \delta; \quad \text{arc} \delta = \frac{U}{R}$$

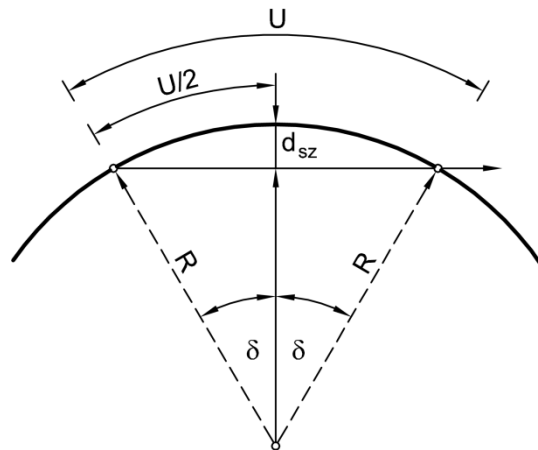
ahol:

- d_{sz} = szükséges látószélesség (m),
- R = belső forgalmi sáv sugara, egy forgalmi sávú utaknál a tengelyvonal sugara (m),
- δ = látótávolsághoz tartozó középponti szög,
- U = látótávolság (m).

Közepes és nagy sugarú ívekre vonatkozó parabola képlet szerint pedig:

$$d_{sz} = \frac{U^2}{8 \cdot R}$$

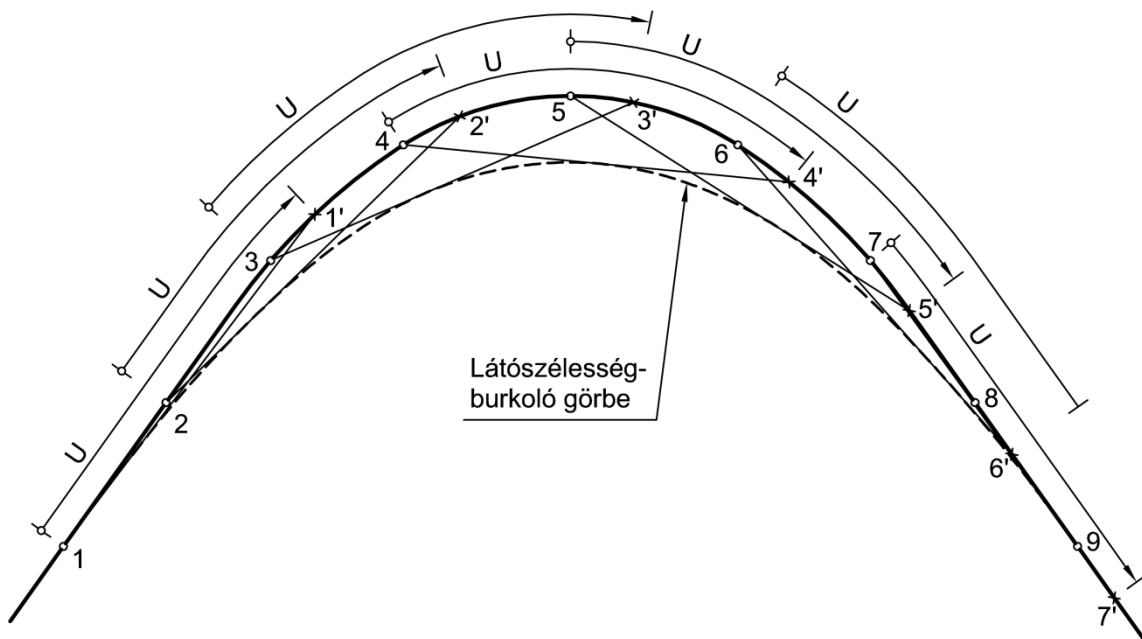
Az $U=U_e$ vagy $U=U_m$ látótávolság behelyettesítésével az előzési vagy a megállási látótávolság ellenőrzését végezzük.



Látószélesség meghatározása számítással

Látószélesség meghatározása grafikus módszerrel

A grafikus látószélesség-ellenőrzést akkor kell elvégezni, amikor a körív hossza kisebb, mint az U . A szerkesztés lényege, hogy a belső forgalmi sáv tengelyén, illetve egyenmő utaknál a pályatengelyen egyforma távolságban kijelöljük az 1–2–3–4 stb. kezdőpontokat, amelyektől mindig U hosszokat mérünk fel az ívben. Így kapjuk az előző kezdőpontnak megfelelő 1'–2'–3'–4' stb. végpontokat. Az egymásnak megfelelő pontokat összekötve, a látótávolság biztosításához szükséges látószélesség vonalának burkoló sokszögét kapjuk meg. A d_{sz} a rajzról bármely tengelypontra vonatkozóan lemérhető.



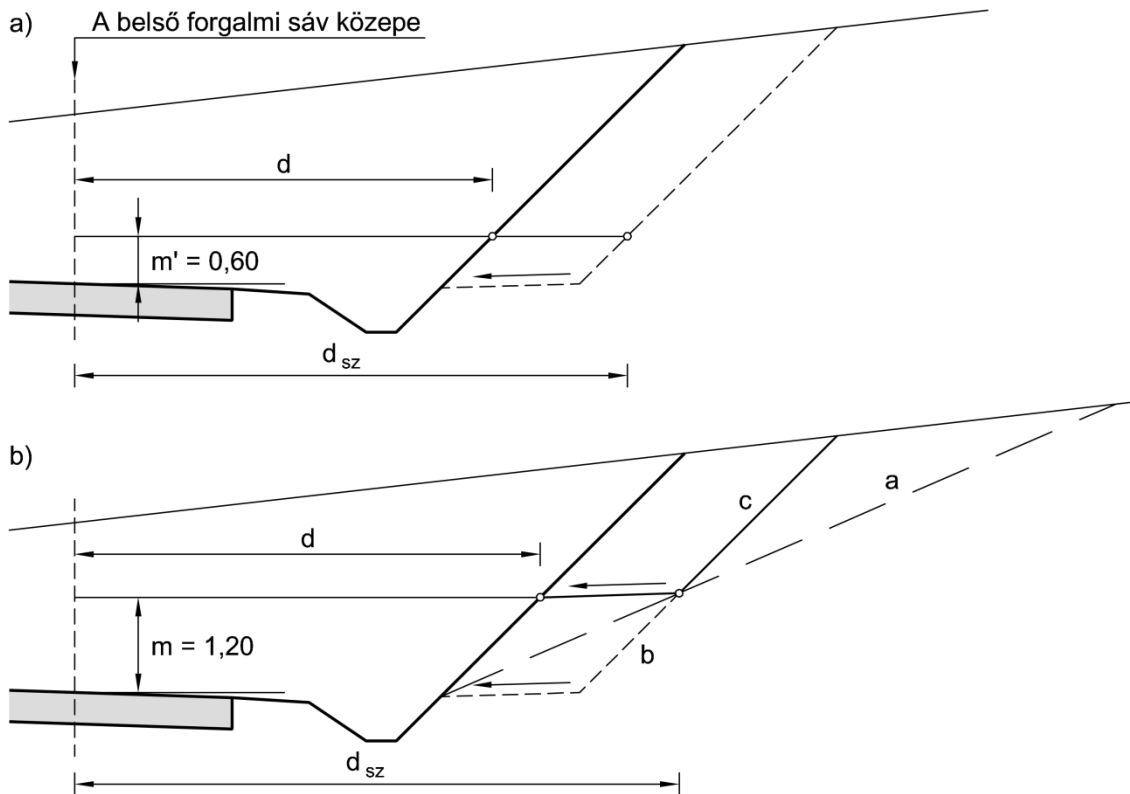
Látószélesség grafikus meghatározása

Látószélesség ellenőrzése és biztosítása

A keresztmetszvényben adódó d meglévő és a d_{sz} szükséges látószélesség összehasonlításával megállapítható, hogy megvan-e az U látótávolság. Ha a $d < d_{sz}$, akkor a látószélesség módosításával, vagy az akadály eltávolításával teremthető meg a látószélesség. Az esetek többségében a d_{sz} a vonalvezetés módosítása nélkül, a bevágás növelésével, nem túl nagy földmunkatöbblettel biztosítható. A megállási látótávolsághoz rendszerint a belső forgalmi sáv közepének szintjétől $m =$

0,60 m magasságig, az előzési látótávolsághoz pedig a belső forgalmi sáv közepének szintjétől $m = 1,20$ m magasságig kell a bevágási szelvényt kinyitni.

A megállási látószélesség biztosításáról csak akkor mondhatunk le, ha megvalósítása nagy költségtöbblettel jár (pl.: tömör sziklában kell a bevágást kialakítani). A sebességet az ilyen útszakaszon a meglévő d távolságnak megfelelő, még biztonságos értékre kell jelzőtáblával korlátozni. Az előzési látótávolságnál szükséges bevágástöbblet elkészítése akkor indokolt, amikor az nem okoz nagy költségemelkedést.



Látószélesség ellenőrzése és növelésének módjai

Látószélesség ellenőrzése térbeli módszerrel

Amikor a vizsgált útszakasz nem tekinthető síkban fekvőnek (síkbeli térgörbének), akkor a látótávolság térbeli módszerrel ellenőrizhető.

A térbeli látótávolság ellenőrzése a helyszínrajz, a hossz-szelvény és a kereszt-szelvények adatainak felhasználásával történik. Meg kell állapítani, hogy a gépkocsivezető 1,20 m magasságból kiinduló és megállási látótávolságnál a pályafelületre, előzési látótávolságnál pedig a szembe jövő járműre irányuló U hosszú szemsugara nem ütközik-e akadályba. Ennek megállapítására meg kell szerkeszteni a kereszt-szelvényekben a szemsugár dőléspontját. Amikor a dőléspont eltakart helyre esik, akkor az akadály eltávolításával (bevágás megszélesítésével, béléfal áthelyezésével stb.), vagy a tervezett vonalvezetés módosításával az előrelátást meg kell teremteni, illetve ha ez jelentős költségtöbbletet okoz, vagy egyéb nyomós ok miatt nem lehetséges, akkor a sebességet kell korlátozni.

A út térbeli vonalvezetésének tervezésekor a helyszínrajz és a hossz-szelvény futásának összehangolásával a látószélesség ellenőrzése is megtörténik. A számítógépes úttervezés lehetőséget biztosít a szabad látótávolság gyors ellenőrzésére.

TÉRBELI VONALVEZETÉS

Az utak tervezésekor a tervező feladata az, hogy biztonságos és a gépjárművezető számára kényelmes térbeli vonalvezetést tervezzen, amely legyen összhangban a kiépítés színvonalával. Az adott domborzati és faállomány viszonyok közé elképzelt térbeli vonalvezetés a tervezés során először vetületeiben (helyszínrajz, hossz-szelvény, kereszt-szelvény) jelenik meg, majd az összehangolás folyamatában tevődik össze végleges térbeli vonalvezetéssé.

A térbeli vonalvezetés esztétikai hatása

A térbeli vonalvezetés akkor jó és kedvező, ha az út térbeli képének változása mindig folyamatos, nyugodt, mentes a hirtelen eltűnő, és másutt felbukkanó, vagy zavaros és nehezen áttekinthető szakaszoktól, emellett a vezető mindig jól látja előre az út irányát, mindezekkel együtt az út esztétikusan és kellő változatosságot nyújtva simul a tájba.

A jó térbeli vonalvezetés megteremtése, a helyszínrajz és a hossz-szelvény helyes összehangolása, tehát az út kedvező távlati képe és esztétikus beillesztése a tájba, semmiképpen sem jelent lényegesen nagyobb, vagy kedvezőtlen földmunkatöbbletet, illetve jelentős építési költségnövekedést. A jó úttervező éppen ezeknek a szabályoknak és módszereknek az alkalmazásával tud eredményesen simulni a terephez. A gazdaságos tervezés és a jó térbeli vonalvezetés kedvező összhangját a tervezőnek kell megteremteni. A jelentkező – többnyire elenyésző – többletköltséget kárpótolja a gépkocsiveető jobb munkakörülménye, a magasabb forgalombiztonság, a jobb utazási kényelem, a kedvezőbb tájba illesztés és az alacsonyabb üzemeltetési költség.

Erdészeti útjaink tervezésénél is fokozott figyelmet kell fordítani a jó térbeli vonalvezetés megvalósítására. A térbeli vonalvezetés elveinek az érvényesítésére és módszereinek alkalmazására – a kis tervezési és építési költség következtében – nyilvánvalóan szerényebbek a lehetőségeink, mint a nagyforgalmú közutak esetében. Gondos tervezéssel azonban sok olyan megoldás alkalmazható, amely költségnövelés nélkül elősegíti a kedvezőbb vonalvezetést. A nagyon kedvező térbeli vonalvezetés kialakítása a számítógépes úttervezéssel napjainkban különösebb nehézség nélkül megvalósítható.

A helyszínrajz és a hossz-szelvény összehangolásának alapelvei

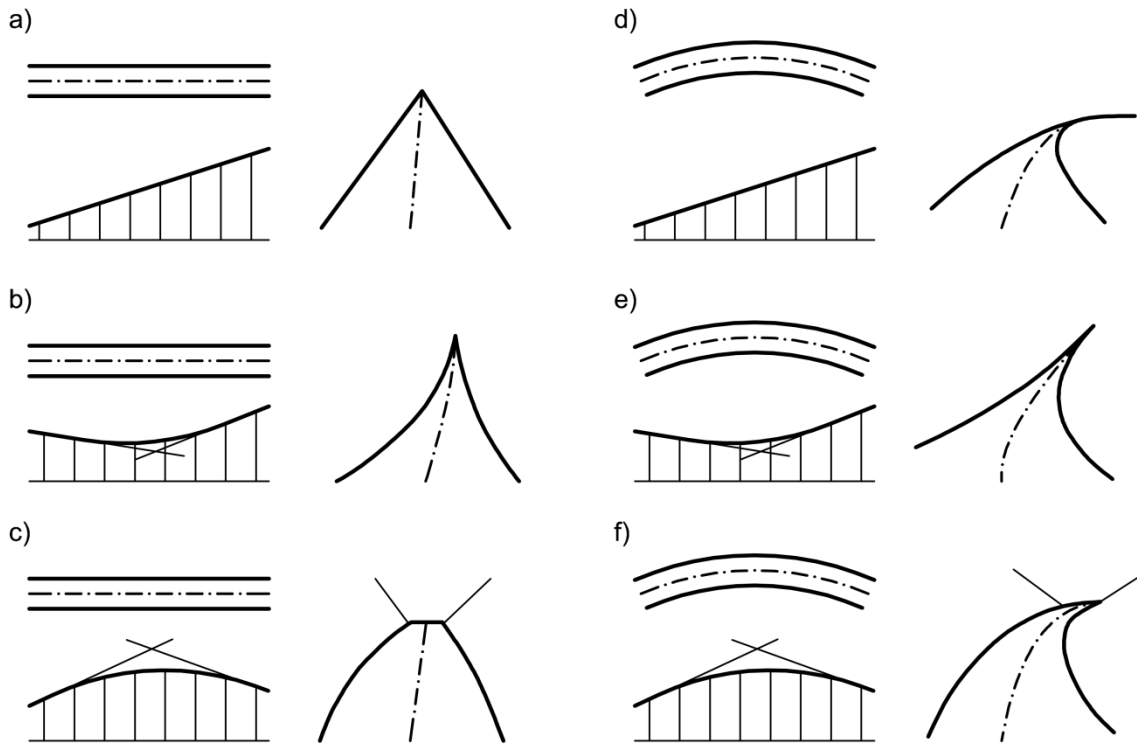
A helyszínrajz és hossz-szelvény összehangolásának érdekében először a fő helyszínrajzi és hossz-szelvény elemek párosítását kell értékelnünk, mégpedig a gépkocsiveető szemmagasságából látott távlati kép alapján.

Helyszínrajzi és magassági vonalvezetési elemek kapcsolata

Sorszám	Helyszínrajz	Hossz-szelvény
1.	Egyenes	Állandó emelkedő (vagy lejtő)
2.	Egyenes	Homorú lekerekítőív
3.	Egyenes	Domború lekerekítőív
4.	Ív	Állandó emelkedő (vagy lejtő)
5.	Ív	Homorú lekerekítőív
6.	Ív	Domború lekerekítőív

Kapcsolatváltozatok alkalmazása és térbeli hatása:

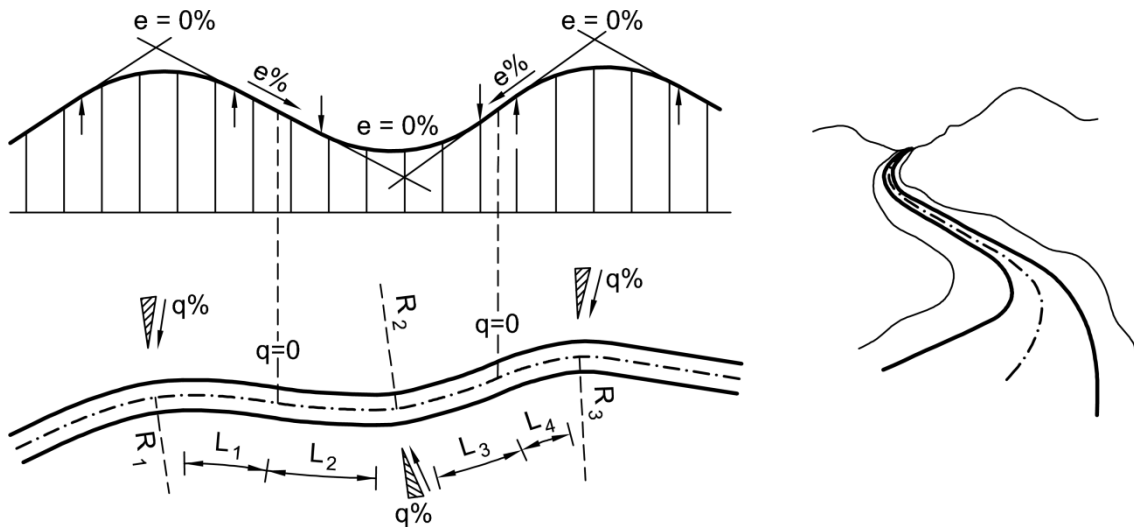
- Egyenes-állandó emelkedő: együttes alkalmazását hosszabb szakaszon kerüljük, rövidebb szakaszon pedig ellenőrizzük. Egyhangú, fárasztó, reflexkompító szakasz, merev hatása van az ívek között is;
- Egyenes-homorú lekerekítőív: együttesen alkalmazva hatása kedvező, ha a lekerekítés sugara elég nagy;
- Egyenes-domború lekerekítésben: együttes alkalmazása kedvezőtlen hatású, feltétlenül kerülendő párosítás. Az út egyenes lezárással a semmibe fut, a domború ív másik fele nem sejteti, hogy a pálya merre vezet. Az optikai vezetés megszűnik;
- Ív-állandó emelkedővel: együttes alkalmazása kielégítő hatású. Amikor az emelkedő az ív hosszára kiterjed, az ív beláthatósága és távlati képe kedvező. Ha azonban az emelkedő rövidebb az ívnél, akkor ez kellemetlen, merev szakasznak hat;
- Ív-homorú lekerekítés: együttes alkalmazása igen kedvező. Ideális, ha mindkét ív hossza egybeesik. A vonal hosszan belátható, esztétikusan simul a terephez, szükséges, hogy a lekerekítő sugár lehetőleg 6-10-szerese legyen a helyszínrajzi körívsugárnak ($R_f=6-10 \cdot R$);
- Ív-domború lekerekítésben: együttesen alkalmazva kedvező. Ideális, ha mindkét ív hossza egybeesik. Bár a vonal beláthatósága csak a domború ív tetejéig tart, mégis kedvező, mert egyértelműen látni lehet a folytatódó szakasz irányát. Ez a megoldás a terephez simuló, nagy lekerekítő sugár esetén esztétikus.



Vízszintes és magassági vonalvezetés elemeinek kapcsolatváltozatai

A jó térbeli vonalvezetés megkívánja, hogy a körívek két oldalán általában hosszabb, az un. vonalvezetési célú átmeneti ívek legyenek, amelyek különböző hosszúsággal tervezve a vízszintes ív hosszát változtathatóvá teszik, elősegítve ezzel a hossz-szelvény ívekkel való jó összehangolását.

Ideális eset az, ha a vonal a helyszínrajzban nyújtott ellenívek sorozatával halad előre, ugyanakkor a hossz-szelvényben a homorú és domború lekerekítések inflexiósan, vagy rövid állandó esésekkel, emelkedőkkel úgy következnek egymás után, hogy a vízszintes ívek és a magassági lekerekítőívek közelítően összeesnek. Ennek az az előnye, hogy a vonal térbeli vezetése harmonikus, lendületes, terephez simuló, valamint a burkolat vízvezetése is jól biztosított. A hossz-szelvény tető- és mélypontjában ugyanis, ahol $e=0\%$, ott a $q\%$ túlemelés, az inflexiók pontokban pedig, ahol a pálya $q=d=0\%$ -os, ott a hossz-szelvényben lévő $e\%$ hosszesés víztelenít.



Ideális térbeli vonalvezetés

Hidaknál különös gondossággal kell a vízszintes és magassági vonalvezetést összehangolni. A korszerű hidak a térbeli vonalvezetésnek megfelelő térgörbét esztétikusan képesek követni. Kedvezőtlen távlati hatású viszont az olyan eset, amikor a híd mintegy idegen, merev test, sík tábla formában fedi át a völgyet és idegenül csatlakozik az úthoz.

A helyszínrajzi és a magassági vonal kialakításánál egyaránt törekedjünk a nagyobb sugarú ívek használatára. Ezzel a vonalvezetést lendületessé tesszük, az kellően nyújtott és hajlékony lesz. Nagyon gyakoriak azok a vonalvezetési hibák, amelyek a túlságosan kis sugarú ívek alkalmazásából adódnak (kicsinyes vonalvezetés).

Erdőben haladva az egyenes vonallal szemben előnyösebb a vízszintes ív alkalmazása, mert a vezető nem folyosót, hanem természetbe simuló, azzal hangulatos egységet alkotó esztétikus útszakaszt lát.

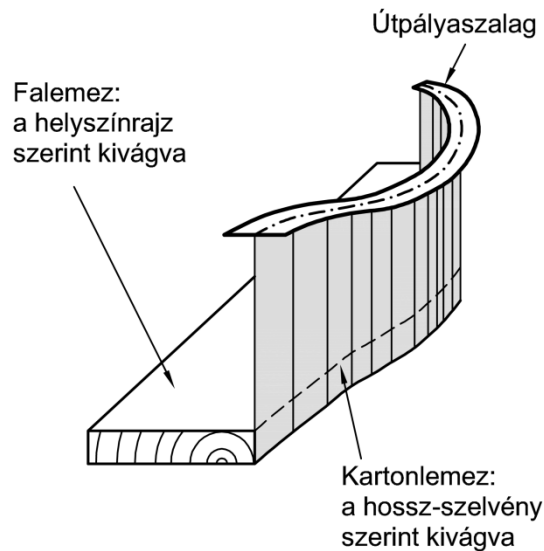


Erdőben haladó út ívben kedvezőbb

Térbeli vonalvezetés ellenőrzése és javítása

A helyszínrajz és a hossz-szelvény összehangolása egy folyamatos egyeztetéssel járó kétoldali közelítés, amikor az első elképzelésből kiindulva többszöri módosítással és ellenőrzéssel elérjük a megítélésünk szerint legkedvezőbb megoldást. Mivel a kialakuló képeket mindkét menetirányból nézve elemezni kell, ezért az oda-vissza javítást gyakran sokszor el kell végezni. Erdészeti utak esetében nem elég csak az esztétikai kívánalmakat figyelembe venni, hanem az építési költségeket alapvetően befolyásoló földtömegeloszlás változását is mérlegelni kell. Az ilyen átfogó szemléletű összehangolást teszi lehetővé a számítógépes tervezés, amikor az elkészült variációkat elmentve, azok összehasonlíthatók és elemezhetők lesznek.

Az út térbeli megjelenését korábban térbeli modell (pl.: gradients modell) készítésével ellenőrizték. Ez munkaigényes eljárás, de segítségével az összehangolási hibákból származó törések, ugrások, kedvezőtlen képek felderíthetők és javíthatók.



Gradiens-modell

A perspektív képek az út helyszínrajzából, hossz-szelvényéből és a kereszt-szelvényeiből szerkeszthetők meg. A számítógépes programok lehetővé teszik, hogy az út képe a digitális terepmodellbe illeszthető, amin az útnak a tájba illesztése is megjeleníthető, tanulmányozható.

A meglévő utak vonalvezetésének vizsgálatát fényképsorozatokkal és videofelvételekkel valósíthatjuk meg. Az úton végighaladó gépkocsiból készített felvételek alapján érzékletes kép alakítható ki az útról. Legelőnyösebben videofelvétellel lehet érzékeltetni a kép időbeli változását, és a vezetőre tett optikai benyomásokat különösen akkor, amikor a felvétel a tervezési sebességgel haladó gépkocsiból készült. A videofelvétel előnye, hogy az bárhol megállítható, visszatekinthető és tanulmányozható.

Útmenti fásítás szerepe az út térbeli vonalvezetésében

Az útmenti fásítás nagyon lényeges eszköz az út környezetének kedvező kialakításában. A célszerűen elhelyezett fák és cserjék fokozzák az optikai vezetést, változatosságukkal ébren tartják a figyelmet, biztosítják az esztétikus útkörnyezetet, amelynek eredményeként kényelmesebb utazási feltételek alakulnak ki és ezáltal javul a forgalombiztonság is.

Az útmenti fásításnak kedvezőtlen formája az út két oldalán futó, a kerítés benyomását keltő sorfásítás, ahol a fasorok mechanikusan, egyhangúságot okozva kísérik az út két oldalát – kedvező esetben – a padkán kívül. Fasorok helyett az út mentén korszerű, tudatosan megtervezett és szakszerűen kivitelezett ligetszerű, csoportos fásítást kell alkalmazni.

A ligetszerű fa- és cserjetelepítés az út vonalvezetésével összhangban történjen. A ligetszerű facsoportok időnkénti feltűnése, változatosságot jelent és önkéntelenül felhívja a figyelmet az út veszélyes szakaszaira, emellett esztétikus, kellemes útkörnyezetet biztosít, és csökkenti a vezetés fáradtságát. A fa- és cserjecsoporthoz telepített növényfajok kiválasztásánál figyelni kell a tavaszi, nyári virágzásra és az őszi lombszíneződésre, amely szintén a figyelemfelkeltés eszköze lehet. Nem szerencsés azonban, ha a színhatás vibrálóvá válik, mert ez a vezetőben feszültséget ébreszt. A növénycsoportok nagyságát és egymástól való távolságát a tervezési sebesség figyelembevételével kell meghatározni.

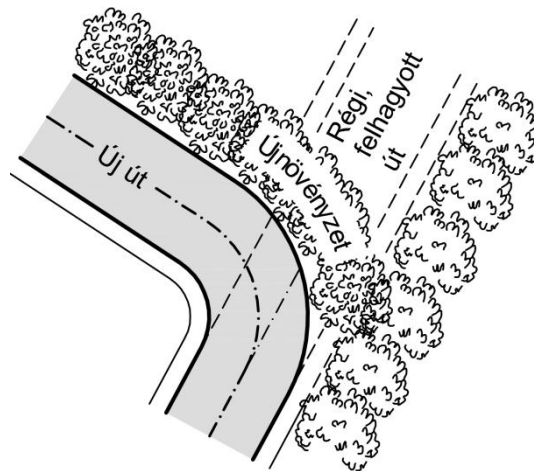
A vonalvezetéssel szorosan összefüggő alkalmazási lehetőségek a következők:

- az ívek külső oldalára telepített hangsúlyos fa- és cserjecsportok az útkanyar veszélyességét jól kiemelik;



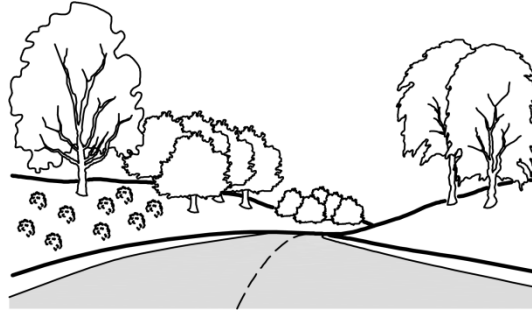
Hangulatos fa- és cserjecsport az ívek külső oldalán

- domború lekerekítésben az ív külső oldalát követő, magas facsoport jó optikai vezetést ad az út irányáról, azon a szakaszon is előjelzést adva, ahol az út szalagja már nem látható;
- növénytelepítéssel jelentősen lehet javítani a hibás összehangolásból vagy kényszerhelyzetekből adódó vonalvezetési hiányosságokat, növelve a forgalombiztonságot;



Optikai félrevezetés megszüntetése

- nagy bevágások nagy oldalfelületeit igen változatosan bontják meg és élénkítik az odatelepített cserjék és fák;
- bevágásból vagy zárt erdőből kihaladó szakaszokon lévő fokozatosan ritkuló facsoport a hirtelen szellőkés ellen véd;



Nagy bevágások rézsűfelületeit élénkítő fa- és cserjecsportok

- csomópontoknál, útvégződéseknél, autóbuszmegállóknál alkalmazott kiemelő-figyelmeztető facsoportnak fontos információs szerepe van;
- osztott pályás utakon a közbenső elválasztósávba telepített cserjék a fényszórók éjszakai vakítását akadályozzák meg;
- pihenőhelyek, leállóhelyek gondos, parkszerű betelepítése az útkörnyezet kialakításának fontos tényezője;
- különösen fontos és a környezet- és természetvédelem szempontjából jogosan megkövetelhető, hogy már a tervezés időszakában, de főleg az építés után gondosan foglalkozzunk az út mentén, illetve annak közelében nyitott anyagyerőhelyek utólagos berendezésével és tervszerű fásításával, rekultiválásával.

ÚTTENGELYEK SZÁMÍTÁSA ÉS KITŰZÉSE

VÍZSZINTES TENGELYSZÁMÍTÁS ÉS KITŰZÉS

Úttervezéskor az út tengelyvonalának megtervezését a semleges vonal alapján közvetlenül a terepen, vagy meglévő, illetve a tervező által készített térképen, digitális terepmodellen grafikusán végezhetjük el, minden esetben szem előtt tartva az általános vonalvezetési, valamint a műszaki-gazdasági irányelveket. Az így kialakuló, folyamatosan egymáshoz csatlakozó egyenesekből, átmeneti ívekből és körívekből álló térbeli geometriai vonal pontjait számszerűen, pontosan rögzíteni kell, hogy a terepen ezt a vonalat később elő tudjuk állítani, a terepen ki tudjuk tűzni. Az út tengelyvonalának számszerű meghatározását úgy helyszínrajzi (vízszintes, horizontális), mint magassági (vertikális) értelemben az út tengelyszámításával végezhetjük el.

A tengelyszámítás közben meg kell határozni a főpontok (az egyes elemek csatlakozási pontjai) és a részletpontok (a főpontok közötti tengelypontok) kitűzési adatait valamely sokszögvonallal kapcsolt derékszögű, vagy poláris koordináták formájában. Meg kell határozni a kapott pontok szelvényezési értékét, amely egy adott kezdőponttól mért távolságukat jelenti.

Vízszintes tengelyszámítás és kitűzés a főérintők és a sarokpontok alapján

A tengelyszámítás és kitűzés klasszikusnak tekinthető formája a sarokpontokkal és főérintőkkel történő számítás. A tengelyszámításnak és kitűzésnek ez a hagyományos módja korábban az erdészeti utak tervezésénél általánosan használt volt. A számítógépek elterjedése az úttervezésben lehetővé tette a koordináta transzformációk tömeges és gyors elvégzését, ezért a kitűzési adatokat általános sokszögvonallal is számítani lehet és a kitűzés elvégezhető. A helyszínrajzi fő- és részletpontok helyzetének meghatározásához a számítógépes programok is a sarokpontokkal és főérintőkkel dolgozó módszer matematikai képleteit használják fel.

A módszer lényege, hogy a térképen, vagy közvetlenül a terepen felkeresett és kitűzött semleges vonal fő egyenseinek irányát meghatározzuk és ezeket meghosszabbítva a semleges vonalhoz simuló sokszögvonallal – a tengely sokszögvonallal – illesztjük. Ezekhez a sokszögoldalokhoz érintőlegesen csatlakoznak a körívek és átmeneti ívek, azok főérintői lesznek, egyenes szakaszai pedig az út egyenesbe eső részét képezik.

A tengelyvonal számítását a kitűzött és bemért sokszögvonallal adataira támaszkodva végezzük el úgy, hogy először a tengelyvonal egyes csatlakozó elemeinek (egyenes, átmeneti ív, körív) közös pontjait, az ívfőpontokat határozzuk meg, a sokszögmenetből adódó α középponti szög és a választott R sugár alapján.

Az α középponti szög az ω baloldali közbezárt szögeből számítható:

- ha $\omega < 180^\circ$ akkor:
$$\alpha = 180^\circ - \omega$$
- ha $\omega > 180^\circ$ akkor:
$$\alpha = \omega - 180^\circ$$

A főpontok közül az egyenes és körív, vagy átmeneti ív közös pontjának – az egyenes és ív érintési pontjának – meghatározását végezzük el először. Erre támaszkodva tűzzük ki a többi főpontot – mint az átmeneti ív és körív közös pontját, az ívhossz felében lévő ív tetőpontot – kialakítva ezzel egy kitűzési vázat.

Az ívfőponok közé kerülő részletpontokat ezek alapján tűzhetjük ki, kellően besűrítve (10-20 m) az ívfőpontok közötti távolságot, lehetőséget adva a keresztmetsvények felvételére, a földmunka és a pályaszerkezet építés pontos elvégzésére.

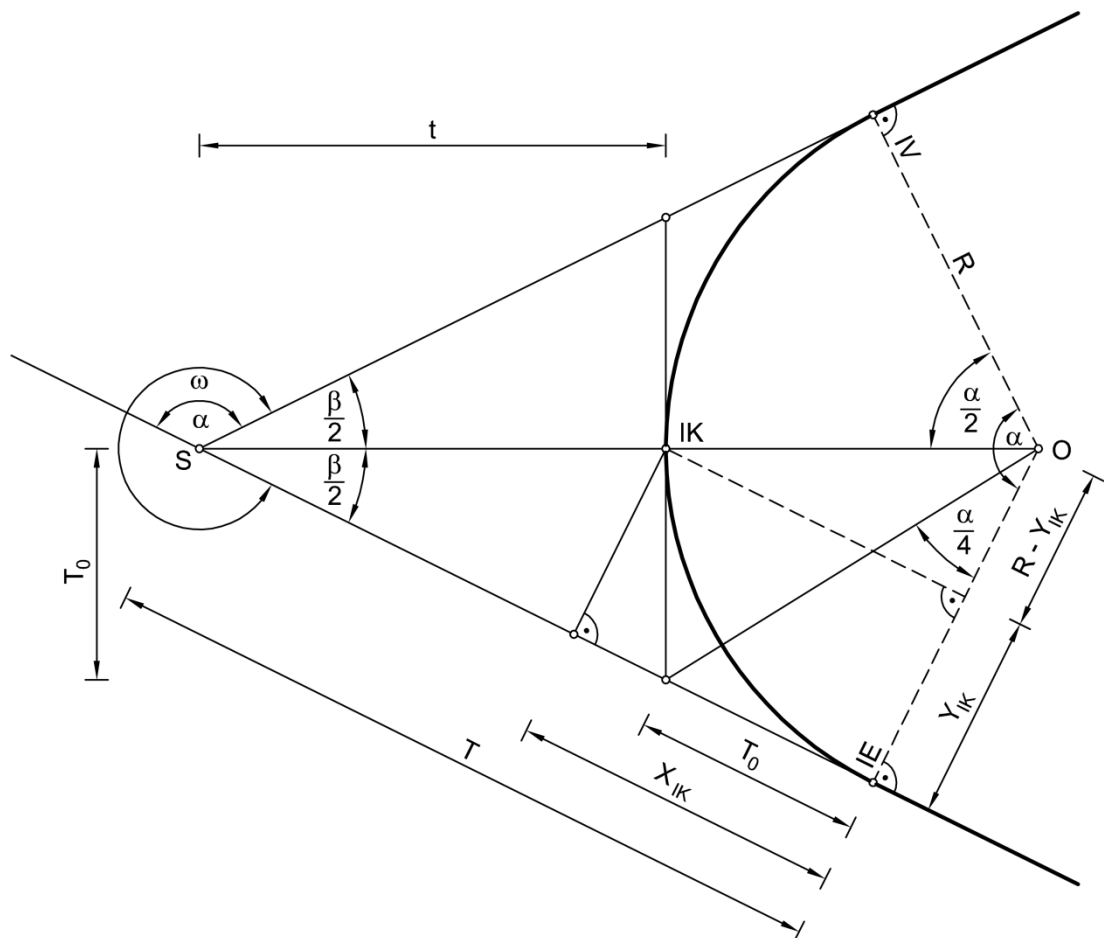
Egyszerű körív főpontszámítása és kitűzése

A tengelyvonal tervezés legegyszerűbb esete az, amikor a két sokszögoldalhoz egy átmeneti ív nélküli tiszta körív csatlakozik. A számítás kiindulási adatai:

- ω baloldali közbezárt szög, amelyet két sokszögoldal metszéspontjában – a sokszögpontban (S) – mérünk;
- α középponti szög, amely ω baloldali közbezárt szögből számítható;
- körív R sugara.

A számítást a körív főpontok adatainak számításával kezdjük. A körívben három főpontot különböztetünk meg:

- ív eleje (IE), illetve az ív vége (IV) pontok az egyenes és körív közös – érintési – pontjai;
- ív közepe (IK) – a tetőpont – az ívhossz felében van, ahol a szögfelező metszi az ívet.



Körív főpontjainak kitűzése

A főpontok közül elsőnek az IE és IV főpontokat kell meghatározni, amelyek rögzítik a további kitűzés alapját. Ezeket a pontokat megkapjuk, ha az S sokszögponttól kiindulva a sokszögoldalakra felmérjük a T érintő (tangens) hosszakat:

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$$

Az IK ívközéppont vagy tetőpont rögzítését háromféle módon végezhetjük el:

az S sokszögponttól $\frac{\beta}{2}$ szögfelező irányba felmérjük az $S-IK=t$ tetőponti távolságot ($\beta = 180^\circ - \alpha$):

$$t = \frac{R}{\cos \frac{\alpha}{2}} - R = R \cdot \left(\frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1 \right)$$

$$t = R \cdot \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right)$$

Kitűzhetjük a tetőpontot az ismert IE , illetve IV pontokra támaszkodva derékszögű összrendezővel. A sokszögoldalra IE , illetve IV ponttól az S sarokpont felé felmérendő abszcissza:

$$X_{IK} = R \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

az innen merőlegesen felmérendő ordináta:

$$Y_{IK} = R - R \cdot \cos \frac{\alpha}{2}$$

$$Y_{IK} = R \cdot \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right)$$

végül kitűzhető a tetőpont a T_0 tetőponti érintők segítségével úgy, hogy a

$$T_0 = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4}$$

tetőponti érintő hosszát az IE , illetve IV pontokból az S irányába felmérjük, majd a két pont által kijelölt $2 \cdot T_0$ hosszúságú szakaszra felmérjük a T_0 távolságot mindkét oldalról, ezzel megfelelő ellenőrzéssel az IK pontot kapjuk.

Tengelyszámításkor az ív hosszát is meg kell határozni, amely az IE és IV közé esik:

$$IH = R \cdot \operatorname{arcsin} \alpha$$

Körív részletpontok kitűzése

A körív részletpontokat derékszögű összrendezővel és poláris koordinátákkal (kerületi szögekkel) tűzhetjük ki. Erdészeti utak kitűzésénél azt a módszert kell választani, amit az összelátás és a rendelkezésre álló műszerpark lehetővé tesz. Egyszerűbb műszerekkel (Pl.: szögtűző prizma) és a sokszögoldalon meglévő összelátás esetében a derékszögű összrendezővel egyszerűbb a kitűzés. Mérőállomással rendelkező tervezőnek célszerűbb a poláris koordinátákkal elvégezni a kitűzést, mert prizmára az irányzás még sűrű növényzetben is sikeres lehet.

Körív részletpontok kitűzése derékszögű koordinátákkal

Derékszögű koordinátákkal legegyszerűbb a körív egy ismert pontjához tartozó érintőről a kitűzés. A koordináták számításához először meg kell határozni, hogy az érintési pont és a kitűzendő pont

között mekkora az ívirányú távolság (s). Ennek és a sugárnak (R) az ismeretében az ívhez tartozó középponti szög (β) számítható:

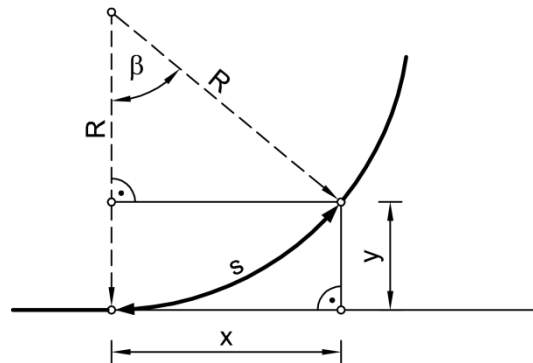
$$\text{arc}\beta = \frac{s}{R}$$

A kitűzési adatokat a β szög ismeretében az érintési pontra, mint kezdőpontra számíthatjuk:

$$x = R \cdot \sin \beta$$

$$y = R \cdot (1 - \cos \beta)$$

összefüggésekkel.



Körív részletpont kitűzése derékszögű összrendezővel

Körív részletpontok kitűzése kerületi szögekkel

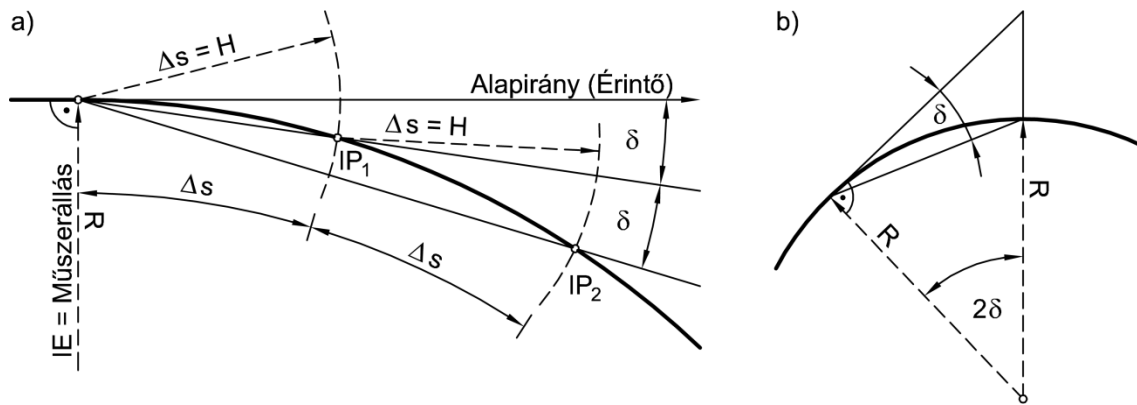
A körív kitűzésének másik alapvető módszere a kerületi szögekkel (poláris koordinátákkal) történő kitűzés. A kitűzés alapját itt is a körív egy ismert pontja és az ehhez tartozó érintő képezi. A kitűzés menete a következő:

- az érintőre az ismert érintési pontban felmérjük a kitűzendő ívdarabhoz (Δs) tartozó kerületi szöget (β);
- az így kitűzött irányba felmérjük az érintési pontból az ívdarabhoz tartozó húr hosszát.

A kitűzéshez tehát ismerni kell a kerületi szöget és a húr hosszát. A Δs húr hosszhoz tartozó kerületi szög egy adott R sugár esetén fele a Δs ívhosszhoz tartozó középponti szögnek.

$$\text{arc}\delta = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta s}{R}$$

A felméréendő húr hosszát nagysugarú íveknél, vagy kis ívhosszaknál jó közelítéssel a Δs ívhosszal vehetjük egyenlőnek.



Körív részletpont kitűzése poláris koordinátákkal

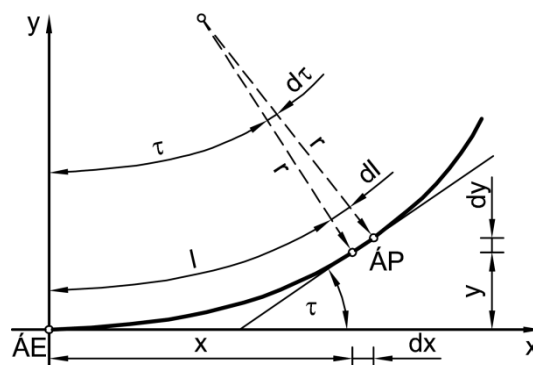
Átmeneti ív pontjainak kitűzési koordinátái és adatai

A korábbi fejezetekből ismert, hogy az egyenes ($r = \infty$) és a körív R közé járműdinamikai okokból klotoid átmeneti ívet tervezünk, melyet a:

$$p = \sqrt{R \cdot L}$$

nagyságú paraméterrel jellemezhetünk.

A klotoid kitűzéséhez szükséges derékszögű koordináták egy x-y koordinátarendszerben számíthatók. Az $\hat{A}E$ pontból kiinduló görbe l hosszúságú szakaszának végén (AP) a görbületi sugár nagysága r , az érintő hajlásszöge τ . Növeljük meg az ívhosszat dl ívelemmel, amelynek hatására az érintő hajlásszöge $d\tau$ értékkel növekszik.



Átmeneti ív egy pontja összrendezőinek számítása

Ez a $d\tau$ érték az ábra szerint:

$$d\tau = \frac{dl}{r} = \frac{1}{r} \cdot dl$$

Az előzőekből:

$$\frac{1}{r} = \frac{l}{R \cdot L} = \frac{l}{p^2}$$

amelyet behelyettesítve:

$$d\tau = \frac{l}{p^2} \cdot dl$$

Integrálva a képletet megkapjuk a τ érintőszög változásának egyenletét az l ívhossz változásának függvényében:

$$\tau = \int_0^l d\tau = \int_0^l \frac{1}{r} \cdot dl = \int_0^l \frac{l}{p^2} \cdot dl$$

Az integrálást elvégezve az átmeneti ív l hosszúságú darabjához tartozó végérintő hajlásszöge:

$$\tau = \frac{l^2}{2 \cdot p^2} = \frac{l^2}{2 \cdot R \cdot L}$$

A dl ívelem x , illetve y irányú vetülete számítható:

$$dx = \cos \tau \cdot dl$$

$$dy = \sin \tau \cdot dl$$

A görbe vetületi hosszai tehát a végérintő hajlásszögével kifejezhetők. Integrálás után az l hosszúságú átmeneti ív vetületei:

$$x = \int_0^l dx = \int_0^l \cos \tau \cdot dl = \int_0^l \cos \frac{l^2}{2 \cdot p^2} \cdot dl$$

$$y = \int_0^l dy = \int_0^l \sin \tau \cdot dl = \int_0^l \sin \frac{l^2}{2 \cdot p^2} \cdot dl$$

Az integrálást a szögfüggvények sorbafejtett képletén végezzük. A sorbafejtett képletek:

$$\cos \tau = 1 - \frac{\tau^2}{2!} + \frac{\tau^4}{4!} - \frac{\tau^6}{6!} + \dots + (-1)^n \cdot \frac{\tau^{2n}}{(2 \cdot n)!}$$

$$\sin \tau = \tau - \frac{\tau^3}{3!} + \frac{\tau^5}{5!} - \frac{\tau^7}{7!} + \dots + (-1)^n \cdot \frac{\tau^{2n+1}}{(2 \cdot n + 1)!}$$

A τ helyébe

$$\tau = \frac{l^2}{2 \cdot p^2}$$

összefüggést helyettesítve, az integrálást tagonként elvégezve, a határokat behelyettesítve a klotoid egy részletpontjának derékszögű koordinátáit kapjuk:

$$x = l - \frac{l^5}{40 \cdot p^4} + \frac{l^9}{3456 \cdot p^8} - \frac{l^{13}}{599040 \cdot p^{12}} + \dots$$

$$y = \frac{l^3}{6 \cdot p^2} - \frac{l^7}{336 \cdot p^6} + \frac{l^{11}}{42240 \cdot p^{10}} - \frac{l^{15}}{9676800 \cdot p^{14}} + \dots$$

A klotoidgörbe x , y koordinátaképlete alapján az ívhossz függvényében a kitézési adatok meghatározhatók. A sorok erősen konvergálnak, ezért kisebb görbületű átmeneti ívek esetén elég lenne két-három tag kiszámítása. Mivel az útépitésben a klotoid átmeneti ívet $\tau = 90^\circ$ végérintő hajlásszögig szoktuk figyelembe venni, ezért ezeknél a hosszabb és nagyobb görbületű klotoidoknál mind az öt tagot figyelembe kell venni.

Rendelkezésünkre áll tehát a klotoid átmeneti ív l hosszúságú ívdarabjának kitézéséhez az átmeneti ív x , y vetülete, valamint a ponthoz és a kezdőponthoz tartozó érintők által bezárt τ hajlásszög. A különböző l hosszakhoz tartozó kitézési értékek alapján a gyakorlatban az átmeneti ív pontjai

kitűzhető. Mivel nagyobb görbületű klotoid átmeneti ívek esetében a sorbafejtett képlet 5 tagját kell figyelembe venni, aminek számítása jelenleg már számítógéppel minden nehézség nélkül végezhető.

Az L hosszúságú klotoid ív vetületi hosszai, azaz az átmeneti ív vége pontjának koordinátáit az $l=L$ helyettesítéssel kapjuk.

Szimmetrikus átmeneti íves körív főpontszámítása és kitűzése

Az erdészeti utak tengelyének számításakor általánosnak számító eset a szimmetrikus átmeneti íves körív tengelyvonalának számítása, amikor $p_1=p_2=p$, illetve $L_1=L_2=L$, vagyis a két paraméter és a két átmeneti ív hossza is egyenlő.

Az átmeneti íves körív főpontjai:

- az AE átmeneti ív eleje, amely az a pont, ahol az átmeneti ív az egyenest érinti;
- az AV átmeneti ív vége az átmeneti ív és körív közös pontja;
- az IK ív középpont, értelmezése megegyezik a körívnél mondottakkal.

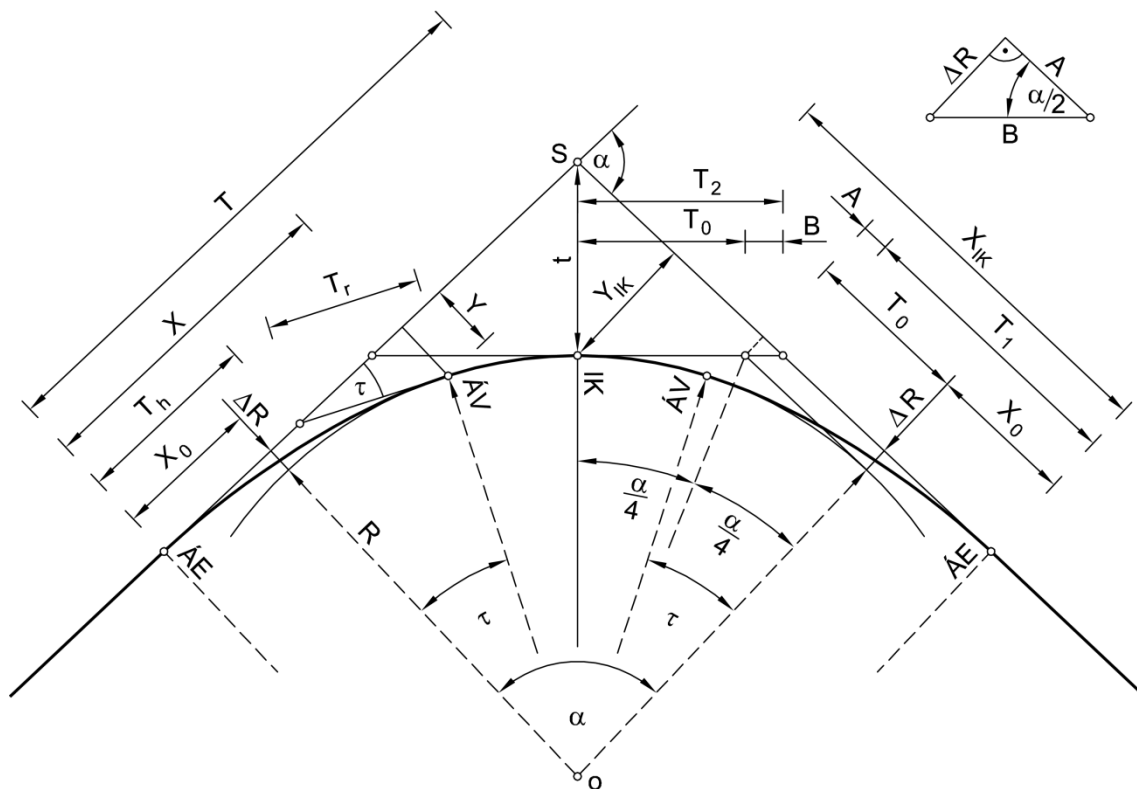
A számításhoz kiindulási adatként most is rendelkezésre áll az α középponti szög és az R körív sugara, valamint a p paraméterű klotoid ívre jellemző:

- ΔR köríveltolás értéke,
- X_0 körív középpont abszcissza
- X, Y az átmeneti ív vége koordinátái,
- T_h, T_r a hosszú és rövid érintők,
- τ a végérintő hajlásszöge.

Első lépésként most is az AE pontok kitűzését végezzük el a:

$$T = (R + \Delta R) \cdot tg \frac{\alpha}{2} + X_0$$

érintő felmérésével. A további ívfőpontok kitűzésének alapját ezek a pontok adják.



Szimmetrikus klotoid átmeneti íves körív főpontjainak kitűzése

Az AV pont kitűzésére két lehetőségünk van:

- derékszögű összrendezőkkal, (X, Y) ;
- a T_h, T_r érintőkkel és a τ végérintő hajlásszögével.

Az ívközéppont kitűzésére itt is három módszer áll rendelkezésünkre:

- a szögfelező irányába felmért tetőponti távolság segítségével:

$$t = \frac{R + \Delta R}{\cos \frac{\alpha}{2}} - R = \frac{R + \Delta R}{\cos \frac{\alpha}{2}} - R + \Delta R - \Delta R$$

$$t = (R + \Delta R) \cdot \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) + \Delta R$$

- derékszögű összrendezőkkal (X_{IK}, Y_{IK}) :

$$X_{IK} = R \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + X_0$$

$$Y_{IK} = R \cdot \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) + \Delta R$$

- tetőponti érintő segítségével, amikor a sokszögoldalra a:

$$T_1 = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4} - \frac{\Delta R}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} + X_0$$

értékeket mérjük fel, majd a két pont által kitűzött szakaszra a:

$$T_2 = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{4} + \frac{\Delta R}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

hosszakat mérjük.

A későbbi számításokhoz szükséges teljes ívhossz:

$$IH = R \cdot \arccos \alpha + \frac{L}{2} + \frac{L}{2} = R \cdot \arccos \alpha + L$$

amelyből a tiszta körív hossza (IH_k):

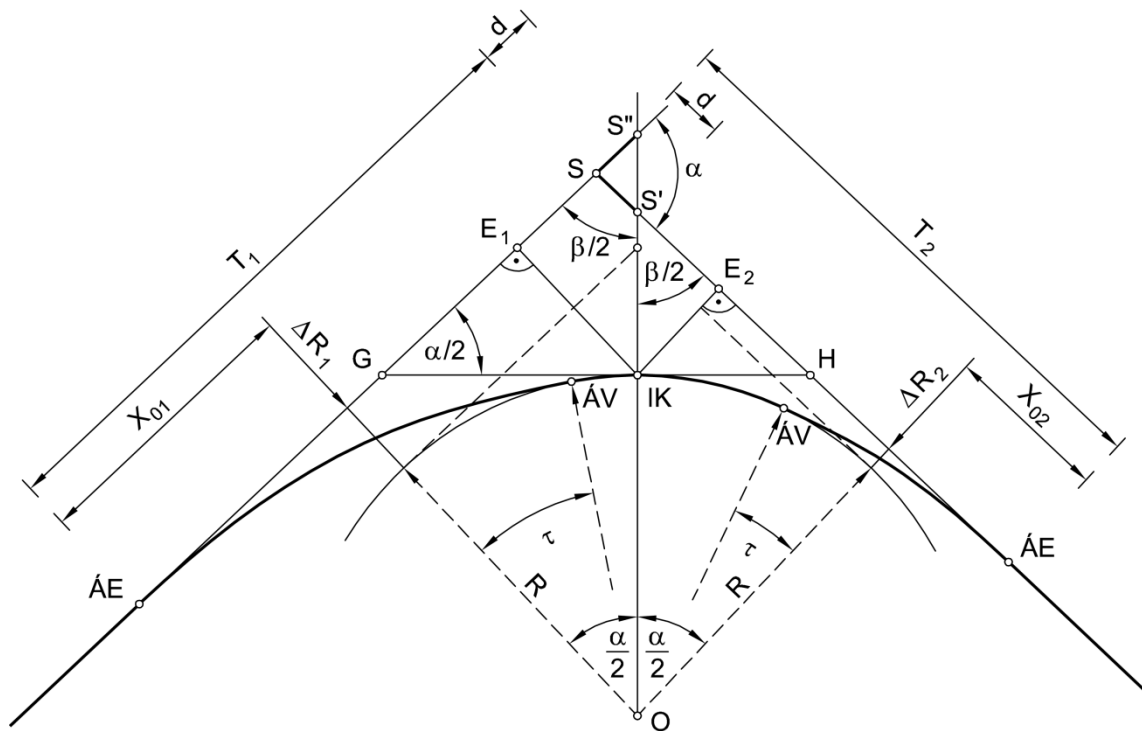
$$IH_k = R \cdot \arccos(\alpha - 2 \cdot \tau) = IH - 2 \cdot L$$

Aszimmetrikus átmeneti íves körív főpontszámítása és kitűzése

Az erdészeti útépités gyakorlatában aszimmetrikus ($p_1 \neq p_2$) klotoid átmeneti íves tengelyvonalakat csak kivételes esetben terveztünk, annak nagyobb számítási igénye miatt. Az informatika térhódítása azonban lehetővé tette ezeknek a tengelyvonalaknak az egyszerű tervezését. A földmozgatás nagyságának lecsökkentése érdekében ezekkel az ívekkel sokkal jobban lehet a terephez simulni, csökkenteni lehet a tájseb nagyságát, tehát alkalmazása az erdészeti útépitésben is kívánatos. Az ilyen ívek tervezését mindig számítógépes programmal végezzük, számításainkat visszavezetve a szimmetrikus átmeneti ív esetére).

Aszimmetrikus átmeneti íves körívről beszélünk akkor, amikor az R sugarú körív két oldalán különböző nagyságú p_1 és p_2 paraméterű klotoidok vannak. A geometriai helyzet elemzéséből és előzetes számításokból ismertek a két csatlakozó átmeneti ív adatai:

- $L_1, X_{01}, \Delta R_1, X_1, Y_1, T_{h1}, T_{r1}, \tau_1$
- $L_2, X_{02}, \Delta R_2, X_2, Y_2, T_{h2}, T_{r2}, \tau_2$



Aszimmetrikus átmeneti íves körív főpontjainak számítása

Az R sugarú körív most a ΔR_1 , és a ΔR_2 körívtolásokkal eltolt, a főérintőkkel párhuzamos egyeneseket érinti. A körív O középpontjából $\frac{\alpha}{2}$ irányba meghúzott egyenes kimetsz az IK tetőpontot,

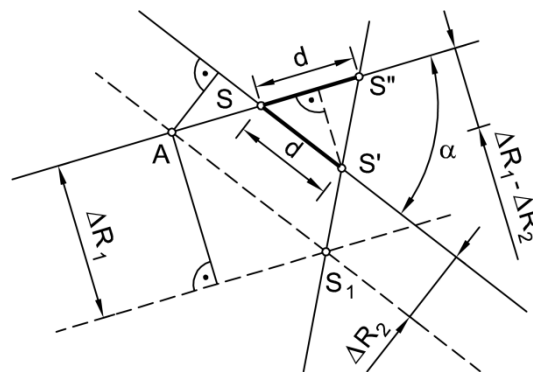
de nem halad át az S sarokponton, hanem a két főérintő irányában meghosszabított egyeneseket metszi az S' és S'' pontokban. Ezek a metszések egy egyenlőszárú háromszög oldalai és az S ponttól d távolságra vannak:

$$d = AS'' - AS = AS_1 - AS = \frac{\Delta R_1 - \Delta R_2}{\sin \alpha}$$

Az AE kitűzése a sarokponttól:

$$T_1 = (R + \Delta R_1) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + X_{01} - d$$

$$T_2 = (R + \Delta R_2) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + X_{02} + d$$



d metszék számítása

Az AV_1 és AV_2 pont kitűzésére két lehetőségünk van:

- derékszögű összrendezőkkal, (X_1, Y_1) és (X_2, Y_2) ;
- T_{h1}, T_{r1} illetve T_{h2}, T_{r2} érintőkkel és a τ_1 és τ_2 végérintő hajlásszögével.

Az ívközéppont kitűzésére derékszögű összrendezők felmérésével végezhető el legegyszerűbben, ahol a bal oldalon a sokszögoldalra felméréendő

abszcissza:

$$X_{IK} = R \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + X_{01}$$

a merőleges ordináta:

$$Y_{IK} = R \cdot \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right) + \Delta R_1$$

A kitűzéseket a jobb oldali sokszögoldalról is el kell végezni, a kitűzési adatok értelemszerű számítása alapján.

A teljes ívhossz:

$$IH = R \cdot \operatorname{arcc} \alpha + \frac{L_1 + L_2}{2}$$

amelyből a tiszta körív hossza (IH_k):

$$IH_k = R \cdot \operatorname{arc}(\alpha - \tau_1 - \tau_2) = IH - (L_1 + L_2)$$

Átmeneti ív részletpontjainak kitűzése

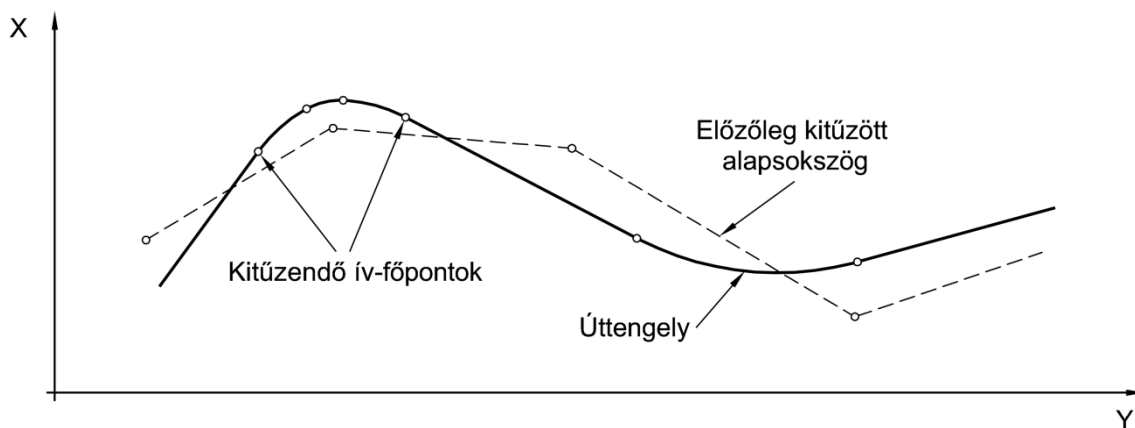
A klotoid átmeneti ív részletpontjait a körív részletpontjaihoz hasonlóan derékszögű összrendezővel, vagy kerületi szöges módszerrel tűzhetjük ki. Az adatokat a sorbafejtett képlettel számítjuk.

Az erdészeti úttervezés gyakorlatában mindkét módszer használható, a körülményektől függően. A számítógépes úttervezéskor mindkét módszer adatait megkapjuk, választásunkat csak a terep nehézsége, fedettsége, és a rendelkezésre álló műszerek befolyásolják. Mérőállomás használatakor a poláris kitűzés előnyös.

Vízszintes tengelyszámítás koordinátarendszerben, kitűzés alapsokszögről

Az informatika és a számítógépes úttervezés elterjedésével a koordináta számítások sokaságát már nem a tervezőnek kell elvégezni, hanem azt a programok elvégzik. Ezzel lehetővé vált a koordináta rendszerben végzett tengelyszámítás. Ekkor már a terepi felvételeket is korszerű mérőállomással lehet megvalósítani, amivel egy lépésben minden pontnak a koordinátája gyorsan, saját számítások nélkül rögzíthető. Ezek alapján saját digitális térképek, digitális terepmodellek készülhetnek, illetve adataink meglévő hasonló állományokba illeszthetők. Az út építése közben jelentkező előny az, hogy a korábban kitűzött tengelyvonal pontjainak megsemmisülése után bármely ismert koordinátával rendelkező két pont által meghatározott egyenesről (legyen az egy korábban kitűzött sokszögoldal, vagy a helyszínen meghatározott két szabatos GPS pont), a rá vonatkozó kitűzési adatok számíthatók és ezek alapján a pont ismét kitűzhető, helyreállítható.

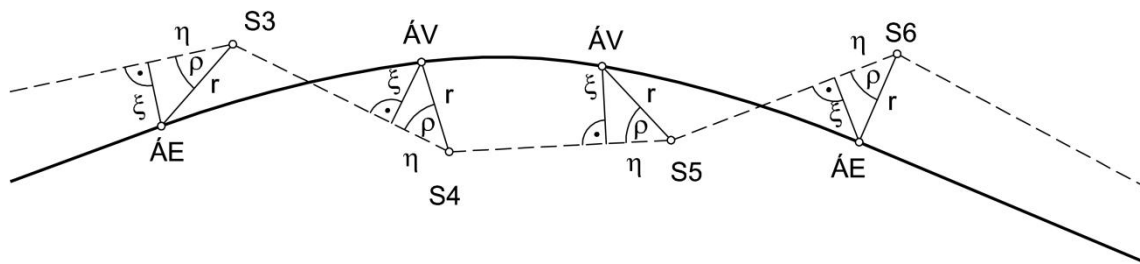
A tervezés első lépésében ki kell tűzni egy alapsokszög vonalat, amelyről a részletméréseket is el lehet végezni. A sokszögpontok és a részletpontok koordinátáit meghatározzuk az országos rendszerben. Ez az szög vonal lesz a későbbi kitűzések alapja.



Tengelyszámítás és kitűzés alapelve koordináta rendszerben alapsokszögről

Az országos rendszerbe illesztett tengelyvonal pontok (fő- és mellékpontok) koordinátái a tervezés eredményeként rendelkezésre állnak, amelyeket a terepen is ki kell tűzni. A kitűzést a terepen már korábban, vagy a tervezési adatok ismeretében újra célszerűen kitűzött és bemért alap- (kísérő vagy kitűzési) sokszögvonalra támaszkodva hajtjuk végre. A kitűzéshez szükséges adatokat úgy kapjuk, hogy az $S_n(x_n, y_n) - S_{n+1}(x_{n+1}, y_{n+1})$ koordinátáival adott sokszögoldalakra a $P(x, y)$ koordinátával adott tengelypontok összrendezőit transzformáljuk. A transzformáció közben minden sokszögoldalt egy-egy koordinátarendszer alapvonalának tekintünk, amelyre a hozzá legközelebb eső pontokat a geodéziából ismert összefüggésekkel transzformáljuk. Ennek eredményeként nyerjük a kitűzéshez szükséges η, ξ derékszögű összrendező párokat, illetve ρ, r poláris koordinátákat, amelyeket felhasználva a kitűzés közvetlenül végrehajtható. A számításokat a számítógépes úttervezésnél a

program közvetlenül generálja, vagy geodéziai programcsomagot hívhatunk segítségül a számítások gyors elvégzésére.



Kitűzés alapsokszögre támaszkodva

Szelvényezés

A szelvényezés folyamán:

- kijelöljük, kitűzzük, állandósítjuk és vízszintes értelemben bemérjük azokat a jellemző tengelyvonal pontokat, amelyek a vízszintes vonalvezetés rögzítéséhez, valamint az építési terv elkészítéséhez szükségesek;
- meghatározzuk, hogy ezek a tengelypontok az út kezdőpontjától milyen távolságra vannak.

A kezdőponttól mért tengelyvonal hossz a szelvényezési érték. A szelvényezési értéket úgy adjuk meg, hogy a kilométereket, illetve a hektométereket a méterektől "+" jellel választjuk el. Így megkülönböztetünk:

- km szelvényezést (pl. 1258,42 = 1+258,42);
- hm szelvényezést (pl. 1258,42 = 12+58,42).

Az erdészeti útépités gyakorlatában a hm szelvényezést használjuk. Az értékeket centiméter pontossággal adjuk meg.

A pontok szelvény száma előtt fel kell tüntetni azok betűjelét is, amelyek a következők:

- Egyenesben lévő pont: semmi;
- Körív eleje: *IE* (Tisztakörívből álló íveknél);
- Körív közepe: *IK*;
- Körív pontja: *IP*;
- Körív vége: *IV*;
- Átmeneti ív eleje: *ÁE*;
- Átmeneti ív pontja *ÁP*;
- Átmeneti ív vége: *ÁV*;
- Kitérő eleje: *KE*;
- Kitérő vége: *KV*.

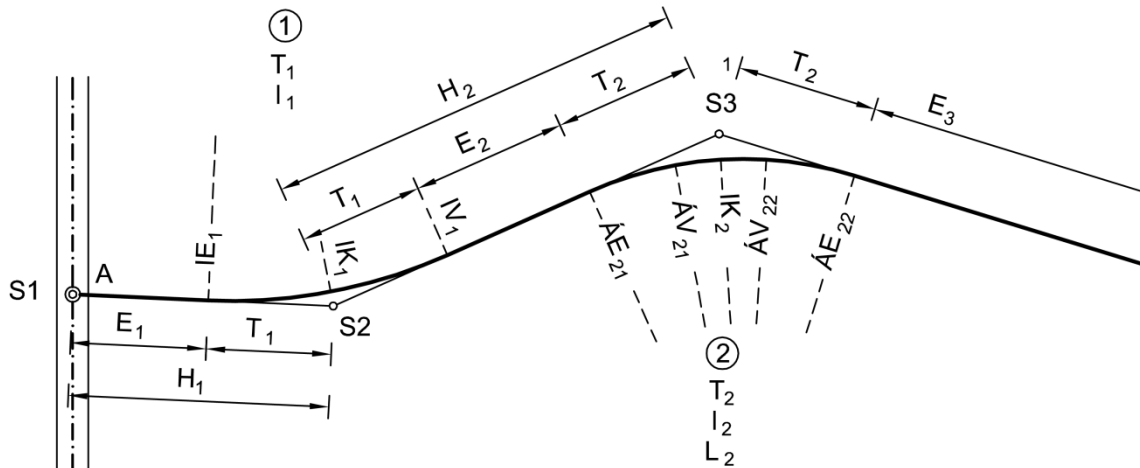
Példa a szelvényezésre: *ÁV 25+41,12* hm szelvény.

A pont jele és szelvény száma egyértelműen megadja az illető pont jellegét és helyét.

A szelvényezésnél általában először az ívfőpontok szelvényezési értékeit számítjuk ki, majd ezután történik a részletpontok szelvény számainak meghatározása. Ezt az indokolja, hogy a tervezéskor kialakuló tengelyvonal futását az ívfőpontok rögzítik, a tengely futását ennek alapján ellenőrizhetjük,

majd amikor azt véglegesnek elfogadjuk, csak akkor számítjuk, vagy számíttatjuk a részletpontok adatait.

A számításhoz egy mért adatból a H sokszögoldal hosszából indulunk ki és a számított T érintőhosszokból, I ívhosszokból és L átmeneti ívhosszokból számítjuk ki az értékeket.



Ívfőpontok szelvényezési értékek számítása

A számítás elvi menete:

Legyen a kezdőpont szelvényezési értéke jelen esetben: A .

$$IE_1 = A + E_1 = A + H_1 - T_1$$

$$IK_1 = IE_1 + \frac{I_1}{2}$$

$$IV_1 = IK_1 + \frac{I_1}{2}$$

$$\acute{A}E_{21} = IV_1 + E_2 = IV_1 + H_2 - (T_1 + T_2)$$

$$IK_2 = \acute{A}E_{21} + \frac{I_2}{2}$$

$$\acute{A}E_{22} = IK_2 + \frac{I_2}{2}$$

$$\acute{A}V_{21} = \acute{A}E_{21} + L$$

$$\acute{A}V_{22} = \acute{A}E_{22} - L$$

és így tovább.

A részletpontok szelvényszámait az egyenesben lévő pontok, illetve az ívpontok közötti távolságok összegezésével nyerjük.

Egyenletes terepet feltételezve a részletpontok távolságát egyenesben 20 - 25 m-ként (sík terepen esetleg 50 m-ként) veszünk fel pontokat. Íveknél a pontok távolságát az R sugár szerint kell meghatározni:

- $R = 10-50$ m, akkor 5-10 m,
- $R = 51-100$ m, akkor 10-15 m,
- $R = 101-200$ m akkor 16-20 m,

- $R > 200$ m, akkor 20-25 m legyen.

Amennyiben a terep pontos megjelenítése azt megkívánja (pl.: vízmosás keresztezésében), akkor ezt a távolságot csökkenteni kell a terep pontos leírásához szükséges mértékben. Be kell szelvényezni:

- a terep kiugró és mélyen fekvő pontjait;
- a terep keresztdőlés-változásának helyét;
- az áteresztők, hidak, útelágazások, útkeresztezések, útcsatlakozások, rakodók helyeit;
- a patak, vasút, és egyéb keresztezések helyét.

Az előbbieken túl fel kell venni még azokat a pontokat is, amelyek a vonalvezetés, vagy a terv elkészítése szempontjából jelentőséggel bírnak.

A szelvényezett pontok adatait a szelvényezési jegyzőkönyv foglalja össze, amelyet készíthet közvetlenül a tervező, vagy lehet egy számítógépes lista.

A beszelvényezett pontokat a kitézés után cövekkel állandósítjuk, a pont jelét és szelvényszámát íráskaróra jegyezzük fel.

MAGASSÁGI TENGELYSZÁMÍTÁS

A tengelyvonal magassági számításakor a helyszínrajzi számítással meghatározott pontok magassági értékeit kell kiszámítani, amely pontok emelkedő, lejtős szakaszon (magassági értelmű egyenesen), vagy függőleges lekerekítő ívben fehetnek.

A hossz-szelvény tervezésekor létrehoztunk egy függőleges sokszögvonalat, amelynek töréseit függőleges lekerekítőívvel csökkentjük. A lekerekítés kialakítására több módszer közül választhatunk, amely történhet:

- körívvel;
- kosárívvel;
- körívpótló parabolával;
- progresszív lekerekítőívvel stb.

Erdészeti utak tervezésénél általában a körívet, illetve körívpótló parabolát alkalmazunk.

Hossz-szelvény lekerekítőív számítása az esésváltoztató módszerrel

A hossz-szelvény pályavonalának grafikus tervezését követően rendelkezésünkre a függőleges sokszögmenet oldalait képező egyenlejtésű szakaszok, emelkedő- illetve lejtő értékei ($e_1\%$; $e_2\%$), a szakaszok metszéspontjának szelvényezési értéke és magassága, a lekerekítőív sugarának nagysága, valamint a lekerekítőív érintési pontjainak (IE , IV) szelvényezési értéke.

Ezekre az adatokra támaszkodva a pálya magassági értelmű számítását el kell végezni úgy, hogy az építési munkák számára kellő sűrűségű részletpontban (10-15-20-25 m-ként) rögzítsük az úttengely magassági helyzetét.

A számítás kezdetén minden esetben ismerjük:

- a lekerekítőív sugarát: R (m);
- a megelőző és a követő érintőirány emelkedő értékeit ($e_1\%$; $e_2\%$);
- az érintők metszéspontjának szelvényezési értékét (x) és a töréspont magasságát (M_T).

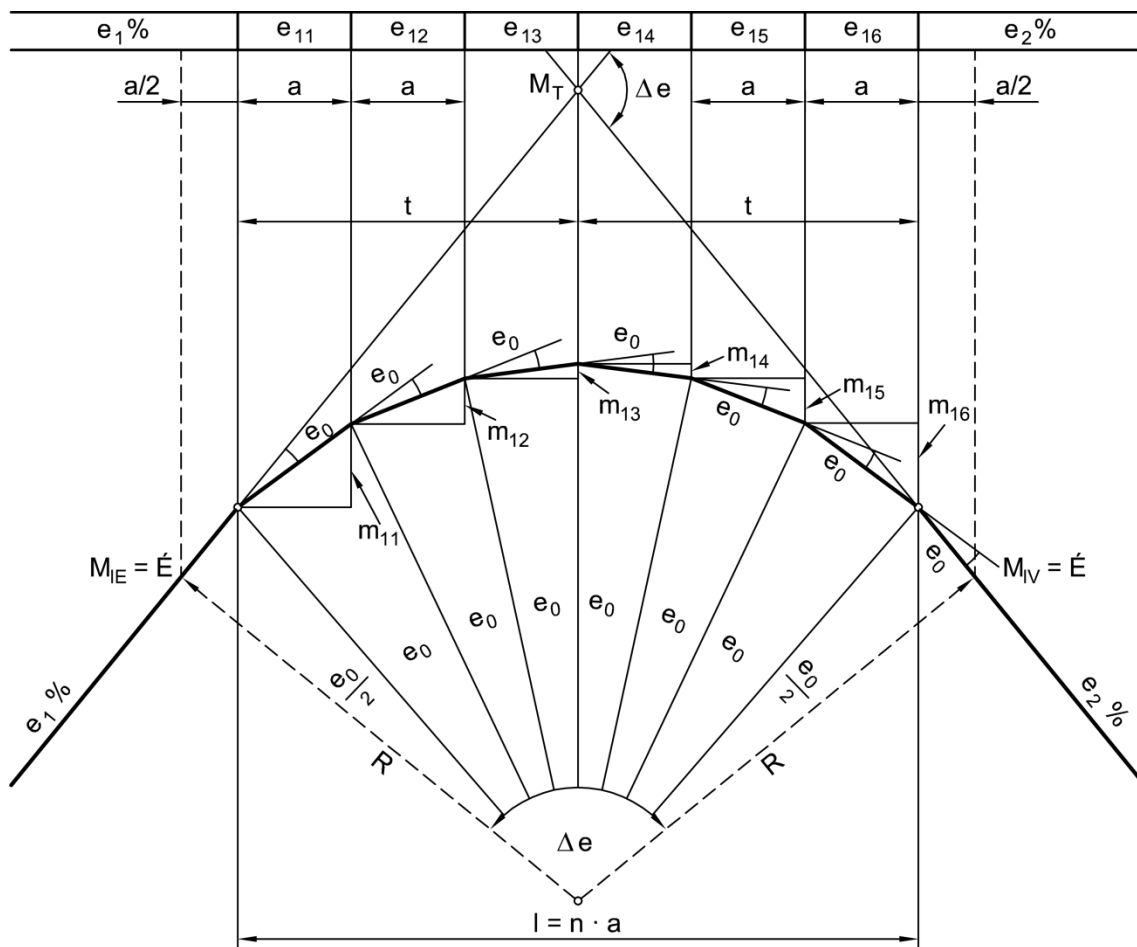
Ha a szelvényezés haladásának irányába az emelkedőt „+”, a lejtőt „-” előjellel vesszük figyelembe A megelőző és a követő érintőirány lejtés értékei alapján a törésszög számítható:

$$\Delta e\% = |e_1\% - e_2\%|$$

ahol:

- $\Delta e\%$ = töréskülönbség
- $e_1\%$ = szelvényezés irányából első szakasz értéke előjelhelyesen,
- $e_2\%$ = szelvényezés irányából a második szakasz értéke előjelhelyesen.

Az esésváltoztató módszer lényege, hogy a lekerekítőív mentén a hossz-szelvényt azonos a hosszúságú szakaszokra bontjuk, amely szakaszokon belül a pálya esése nem változik. Ezzel egy olyan sokszöget hozunk létre, amely a függőleges lekerekítőívet kívülről érinti.



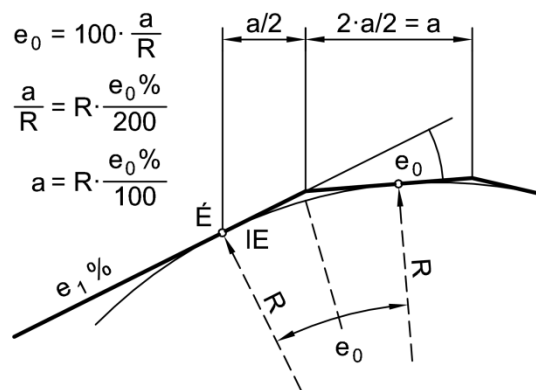
Lekerekítőív esésváltoztató módszerrel

Az érintő sokszög záró oldalai az e_1 lejtésű kezdő, illetve az e_2 lejtésű főérintőre esnek. Az érintési ponttól (\acute{E}) $a / 2$ távolságra kezdődik az $e_1 \pm e_0$ lejtésű, a hosszúságú, főérintőt követő első sokszögoldal. Az érintőre eső $a / 2$ hosszúságú sokszögoldal lejtése e_1 , tehát az egyenlejtésű szakasz utolsó szelvényezési értéke (azaz az első töréspont szelvényezési értéke) az érintési pont szelvényezési értéke után $a / 2$ távolságra esik. Ebben a pontban a pálya esése e_0 értékkel változik. Az a hosszúságú szakasz végén a pálya lejtése ismét e_0 értékkel változik mindaddig, amíg az e_2 lejtésű, követő főérintőt el nem érjük. Az utolsó a hosszúságú $e_2 \pm e_0$ lejtésű szakasz végpontja (az utolsó

töréspont) a záró főérintőre esik, ahol a pálya lejtése ismét e_0 értékkel változik, elérve az e_2 értéket. Ez a pont az ív érintési pontjától $a/2$ távolságra helyezkedik el.

A lekerekítőív helyettesítő sokszög tehát a következőképpen alakul ki:

- a lekerekítőív érintési pontjától $a/2$ távolságra helyezkedik el az 1. töréspont, ahonnan az $e_1 \pm e_0$ lejtésű sokszögoldal indul;
- az 1. töréspont után a hosszúságú sokszögoldalok foglalnak helyet, amelyek között a töréskülönbség e_0 ;
- az n -edik sokszögoldal lejtése $e_2 \pm e_0$. Ez a sokszögoldal az $n+1$ -ik töréspontban e_0 töréskülönbséggel csatlakozik az e_2 érintőhöz. A lekerekítőív érintési pontja ettől az utolsó törésponttól $a/2$ távolságra helyezkedik el.



Lekerekítőív és az érintősokszög helyzete

Ebben a rendszerben a körívsugár R , az a alaphossz, és az egyenlejtésű szakaszok töréskülönbsége (e_0) között a következő összefüggés áll fenn:

$$e_0\% = 100 \cdot \frac{a}{R}$$

amelyből:

$$a = R \cdot \frac{e_0\%}{100}$$

illetve:

$$R = \frac{100 \cdot a}{e_0\%}$$

Az esésváltozások, a burkoló sokszög töréspontjainak száma (n_0):

$$n_0 = \frac{\Delta e\%}{e_0\%}$$

A töréspontok közötti egyenlejtésű szakaszok száma 1-el kevesebb:

$$n = n_0 - 1 = \frac{\Delta e\%}{e_0\%} - 1$$

$$n = \frac{\Delta e\% - e_0\%}{e_0\%}$$

Ezek az oldalak a töréspontok között helyezkednek el, tehát ide az első töréspont előtti – $e_1\%$ lejtővel – és az utolsó töréspont utáni érintő – $e_2\%$ lejtővel – nem számíthatók be.

A lekerekítőívet helyettesítő sokszög hossza – elhanyagolva a ferde hossz és vetülete közötti különbséget – megfelelő pontossággal:

$$I = n \cdot a$$

A lekerekítőív tervezése az alábbi lépésekben történik:

- berajzoljuk a terepvonalhoz a céljainknak legmegfelelőbb futású lekerekítő ívet;
- meghatározzuk az érintési pontok "IE, IV" közötti vízszintes távolságot ($x_{IV} - x_{IE}$);
- megválasztjuk e_0 értékét úgy, hogy a két magassági sokszögoldal közötti töréskülönbséget (Δe) e_0 -al osztva kerek értéket kapjunk n_0 (burkoló sokszög töréspontjainak száma);
- számítjuk a lekerekítő ívet helyettesítő burkoló sokszög oldalainak azonosnak vett a hosszát az $(x_{IV} - x_{IE}) / n_0$ kifejezéssel, majd a lekerekítő ív R sugarát a $100 \cdot a / e_0\%$ képlettel.

Az érintő hossza:

$$t = \frac{I}{2} = \frac{n}{2} \cdot a$$

A lekerekítőívet helyettesítő burkoló sokszög kezdetének és végének

- szelvényezési értéke:

$$x_E = x - t; \quad x_V = x + t$$

- magassága:

$$M_E = M_T \pm t \cdot \frac{e_1\%}{100}; \quad M_V = M_T \pm t \cdot \frac{e_2\%}{100}$$

A sokszög töréspontjai közötti magasságkülönbség:

$$\Delta m = a \cdot \frac{e_0\%}{100}$$

A hossz-szelvény fejlécében minden a osztásközben $e_0\%$ -kal változik az esés, amely Δm magasságkülönbséget eredményez. Ellenőrzésképpen $e_1\%$ -ból kiindulva a lejtése $(n+1)$ -szer $e_0\%$ különbséggel előjelhelyesen változtatva éppen $e_2\%$ esésbe kell érni. Miután helyes eredményt kaptunk, a töréspontok, azaz a pályaszint magasságát kiszámítjuk minden a osztásköz végén úgy, hogy a kezdő magasságból kiindulva sorra összegezzük (előjelhelyesen) a Δm részmagasságokat. Ezzel az utolsó oldal végén M_V magasságot kell kapnunk. Ekkor az úttengely magassági számítását befejeztük a lekerekítőív burkoló sokszöge alapján. A töréspontokat kellő sűrűséggel felvéve elérhető, hogy az ív és az érintő közötti eltérés magassági értelemben nem haladja meg az 1 cm-t.

CSOMÓPONTOK ÉS ÜZEMI LÉTESÍTMÉNYEK

CSOMÓPONTOK TERVEZÉSE

A különböző irányokból érkező utak a forgalmat útcsatlakozásokon, útkereszteződéseken és útelágazásokon keresztül vezetik át. A csomópont két, vagy több út találkozási helye, ahol a különböző forgalmi áramlatok mindegyike – vagy egy része – között kapcsolat van. A csatlakozó utak forgalmát:

- biztonságosan,
- gazdaságosan,
- teljesítőképesen

átvezető létesítmények a csomópontok.

Az erdészeti utak csomópontjai épülhetnek az erdészeti úthálózaton belül, vagy ott, ahol az erdészeti utak a közúthoz csatlakoznak. Hálózaton belül egyszerűbb csomópontokat valósíthatunk meg, a közúti csatlakozások kialakításakor mindig a közutakra vonatkozó szabályokat kell figyelembe venni.

Csomópontok fajtái

Kialakításuk szerint lehetnek:

- egyszintű
 - jelzőlámpa nélküli
 - jelzőlámpás
- különszintű

csomópontok.

Az erdészeti úthálózatokban egyszintű csomópontokat alakítunk ki, amelyek a csomóponti ágak száma és egymáshoz viszonyított helyzete szerint lehetnek:

- útcsatlakozások: háromágú, *T* csomópontok;
- útkeresztezések: négyágú csomópontok;
- útelágazás: háromágú, *Y* alakú csomópontok;
- lejárók.

Csomópontok kialakításának elvei

A csomópontok geometriai tervezésénél a forgalom nagyságát és a közlekedő gépjárműmozgások sajátosságait kell figyelembe venni.

A forgalom nagysága szerint kell a csomópont típusát kiválasztani, a mozgásgeometriát pedig főként a burkolatszélek és az útburkolati jelek kialakításánál kell szem előtt tartani. A helyesen kiválasztott és kialakított csomópont teljesíteni fogja

- a biztonság,
- gazdaságosság,
- teljesítőképesség

hármás követelményét.

Csomóponti biztonság feltételei

A biztonságos csomópont:

- jól észrevehető,
- jól áttekinthető,
- jól felfogható,
- jól jelezhető,
- jól járható.

A csomóponthoz közelítő gépjárművezetőnek kellő időben észre kell venni, hogy csomóponthoz közelít. A csomópontot ezért belátható útszakaszra kell tervezni. A csomópont legjobb helye a homorú lekerekítő ív, legrosszabb helye a beláthatatlan domború lekerekítő ív, ahol a csomópont hirtelen bukkan elő, nagyon veszélyes helyzetet teremtve. Sík vidéki erdészeti utaknál célszerű a felismerhetőséget optikai eszközökkel fokozni.

A jó áttekinthetőség biztosítja, hogy a gépjárművezető a csomópontba érve jól be tudja látni az összes veszélyes helyet, a keresztezési (ütközési) pontokat.

A felfoghatóság biztosítja a csomóponthoz érve a tennivalók egyszerű felismerését. A csomópont ezért ne legyen bonyolult.

A jelezhetőség biztosítja a közúti jelzőtáblák és burkolati jelek elhelyezésére szolgáló területek létrehozásával a megkívánt irányokba történő biztonságos haladást.

A járhatósággal biztosítja azt, hogy a pótkocsis tehergépkocsik és a speciális erdészeti erő- és munkagépek a kis sugarú ívekben is kellően szélesített forgalmi sávon és burkolaton haladhassanak. Ne forduljon elő olyan helyzet, amikor a jármű kereke a padkára kerül, vagy „felmászik” a kiemelt szegélyre.

Csomópontok teljesítőképessége és gazdaságos kialakítása

A teljesítőképesség és a gazdaságos kialakítás egymást feltételező követelmények.

A csomópont teljesítőképességét mindig a fővonal teljesítőképességének biztosításával kell megteremteni.

A csomópont teljesítőképessége befolyásolja a hálózat teljesítőképességét, ami közvetve hat a szállítási költségek alakulására. A csomópontok fajtáit, kiépítettségét ezért a keresztező forgalmak nagysága szerint kell kiválasztani.

A gazdaságosság a forgalom függvényében lehatárolja a csomópont kiépítési szintjét, mert a csomópont kialakítása mindig tetemes többletköltséget jelent.

Nagyon fontos, hogy a tervező a három, sokszor ellentétes követelményt célszerű kompromisszummal valósítsa meg.

Csomópontok tervezése

A csomópontokban a járműforgalmat szabályozni kell, amit az áthaladási elsőbbség és nyomok kijelölésével valósítunk meg.

Az áthaladási elsőbbséget általában a következő rangsornak megfelelően kell szabályozni:

- közút,
- I. o. erdészeti feltáróút,
- II. o. erdészeti feltáróút,
- kiszállítóút.

Azonos útkategóriák csatlakozásánál a jobbkéz-szabályt kell alkalmazni.

A nyomjelölés, a forgalmi áramlatok egymástól elválasztott vezetését biztosítja útburkolati jelekkel, szükség esetén jelzőtáblákkal, terelőszigetekkel.

A forgalom nagysága és az ehhez tartozó kiépítési szint alapján az erdészeti utaknál rendszerint két csomópont típust létesíthetünk:

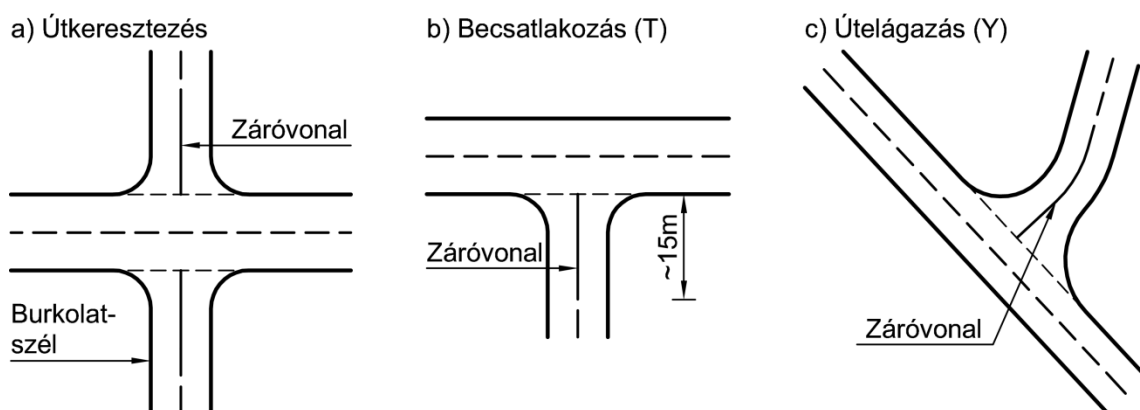
- 1. altípus: csak a mellékirány tölcser alakú;
- 2. altípus: a mellékirány terelőszigetes szabályozásával kialakított csomópont.

Mellékirány tölcser alakú szélesítésével kiképzett csomópont

A csomópontot akkor alakíthatjuk ki ilyen formában, amikor a főirányú út (tehát forgalmi elsőbbséggel rendelkező út) várható jövőbeni forgalma kétirányban együtt 500 jármű/nap érték alatt marad.

Az 1. altípus kialakításának szabályai:

- a főirány forgalmi sávjai változatlanul haladnak;
- a mellékirány betorkollása tölcserszerűen kiszélesedik, lehetővé téve a pótkocsis tehergépkocsik szabályos befordulását;
- a mellékirányban a két forgalmi sávot legalább 15 m hosszon záróvonallal kell elválasztani, hogy a járművek a helyes oldalon, a főirányból lefordulók akadályozása nélkül várakozzanak;
- a mellékirányban elhelyezett „Elsőbbségadás kötelező”, vagy „Állj! Elsőbbségadás kötelező” jelzőtáblával kell az áthaladási elsőbbséget szabályozni.



Csomópont kialakítása tölcserszerű kiszélesítéssel

Mellékirány terelőszigetes szabályozásával kialakított csomópont

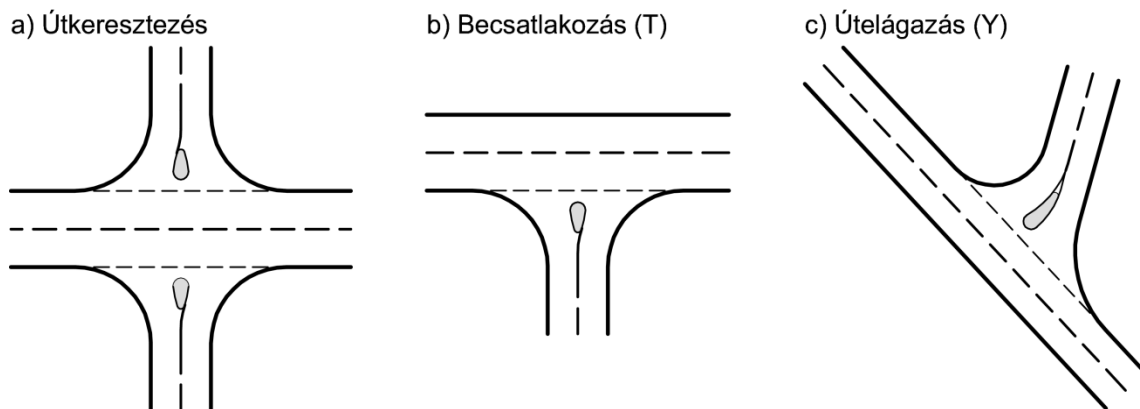
Ezt az altípust ott alkalmazzuk, ahol a főirányból várható forgalom 500 és 3000 jármű/nap közé esik, a mellékirány forgalma pedig viszonylag kicsi.

A 2. altípus kialakításának szabályai:

- a főirány forgalmi sávjai változatlanul haladnak;
- a mellékirány betorkollása tölcészerűen kiszélesedik, lehetővé teszi a pótkocsis tehergépkocsik kedvező és szabályos jobbrafordulását. A burkolatszélek lekerekítésénél alkalmazott előíves körívek fő körívének sugara 12-15 m;
- a mellékirány betorkollásának tengelyében egy-egy csepp alakú terelőszigetet helyezünk el. Ezzel a mellékirány járműveit figyelmeztetjük a csomópontra, csökkentjük sebességüket, megakadályozzuk a kanyarok levágását, és a várakozó járművek helyét a helyes oldali sávon tartjuk. A csepp alakú terelőszigethez záróvonal csatlakozik;
- a mellékirány betorkollásában a csepp alakú terelőszigettől balra – a nyomkijelölés erősítésére – háromszög alakú terelőszigetet lehet elhelyezni;
- a mellékirányban elhelyezett „Elsőbbségadás kötelező”, vagy „Állj! Elsőbbségadás kötelező” jelzőtáblával kell az áthaladási elsőbbséget szabályozni.

Ennek az altípusnak a lényege és döntő fontosságú eleme a csepp alakú terelősziget (vagy keresztvezéseknél a terelőszigetek).

Erdészeti utak és közutak csatlakozásánál alkalmazzuk ezt a típust.



Csomópont kialakítása terelőszigettel

Csomópontok kialakítása

A csomópontok kialakításakor

- helyszínrajzilag a csomópontot be kell illeszteni a csatlakozó utak vonalvezetésébe;
- a csepp alakú szigetet ki kell alakítani és a mellékirányú pálya széleinek fokozatos szétnyitásával a forgalmi sáv szélességét biztosítani kell;
- a járhatóságot biztosítani kell saroklekerekítésekkel.

A csatlakozó utak helyszínrajzi viszonyai befolyásolják a csomópont alakját. A legkedvezőbb esetben a mellékirány merőleges a főirányra. Az ettől eltérő ferde hajlások gyakoriak, amihez a csomópontoknak bizonyos mértékig igazodni kell.

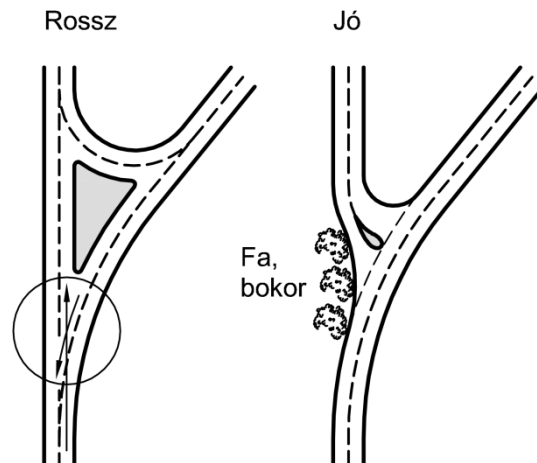
A jó keresztvezésnél:

$$\alpha = 90^\circ$$

elfogadható:

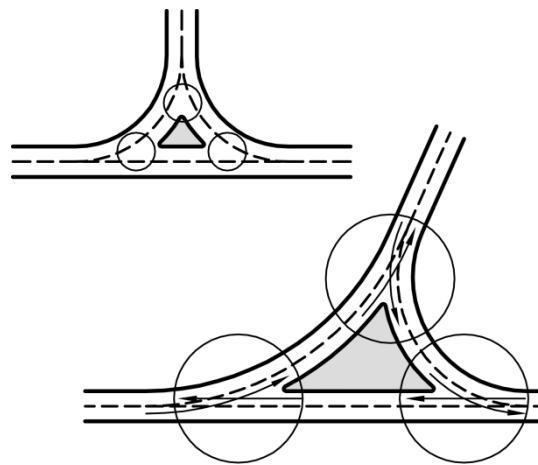
$$60^\circ < \alpha < 120^\circ$$

A túl lapos szembejövő keresztezési irányok és a rosszul belátható csomóponti részek kialakulását el kell kerülni. Rendszerint jó megoldás, ha a ferde mellékirányt a csomópont közvetlen közelében közel derékszögű irányban ráfordítjuk a főirányra. A rávezetés ívének sugara legalább 50 m legyen. Ez a megoldás nemcsak a jó látási és keresztezési viszonyok miatt kedvező, hanem a mellékirány alárendeltségét geometriai és építési szempontból is kiemeli, a gépjárművezetőt sebességcsökkentésre sarkallja.



Lapos útelágazás rossz és jó kialakítása

Korábban delta alakú csomópontokat is kialakítottak, amelyek a forgalombiztonság szempontjából nem megfelelőek, balesetveszélyesek, ezért ezek tervezését kerülni kell.



Delta alakú szintbeli csomópont balesetveszélyes

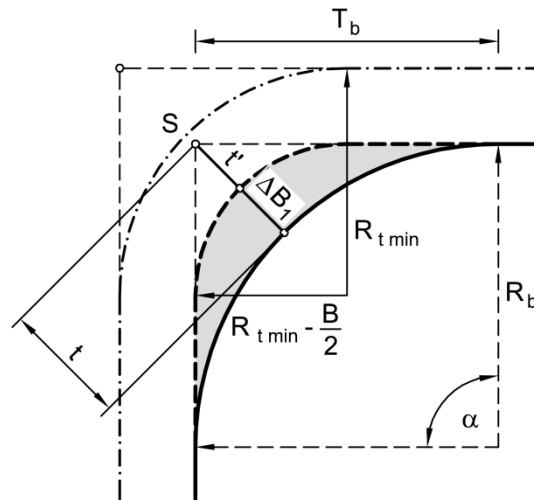
Burkolatszélek vonalvezetése a saroklekerekítésekben

A burkolatszélek vonalvezetését, különösen a saroklekerekítések vonalát úgy kell megtervezni, hogy azok biztosítsák a csomópont jól járhatóságát. Ezt akkor érjük el, amikor a pótkocsis tehergépkocsik befordulásához szükséges ívsugarak rendelkezésre állnak és a kellő pályaszélesítés is biztosított.

A saroklekerekítést kialakíthatjuk:

- körívvel az 1. típusú csomópontoknál,
- háromrészes kosárívvel mindkét csomóponttípusnál.

Erdészeti utak kisméretű csomópontjaiban a saroklekerekítést körívvel alakítjuk ki. Előnye, hogy tervezése és építése egyszerűbb, hátránya, hogy nem követi olyan jól a jármű szélesítésigényét, mint a háromrészes kosárív.



Saroklekerekítés körívvel

A lekerekítősugár legalább akkora legyen, hogy biztosítsa a jármű legkisebb fordulási sugarát (R_{tmin}) és emellett tartalmazza az egy forgalmi sávra vonatkozó szélesítést is. A jármű első tengelyének közepe a minimális fordulási sugár (R_{tmin}) mentén halad. A saroklekerekítés tetőponti távolsága:

$$t = R_b \cdot \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right)$$

Ebből:

$$R_b = \frac{t}{\sec \frac{\alpha}{2} - 1}$$

$$t = t' + \Delta B_1$$

$$t' = \left(R_{tmin} - \frac{B}{2} \right) \cdot \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right)$$

A behelyettesítés után:

$$R_b = \frac{\left(R_{tmin} - \frac{B}{2} \right) \cdot \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) + \Delta B_1}{\sec \frac{\alpha}{2} - 1}$$

Rendezve:

$$R_b = R_{tmin} - \frac{B}{2} + \frac{\Delta B_1}{\sec \frac{\alpha}{2} - 1}$$

ahol:

- R_b = lekerekítősugár (m),
- R_{tmin} = jármű legkisebb fordulási sugara (m),
- t' = jármű legkisebb fordulási sugarához tartozó ív tetőponti távolsága (m),
- B = burkolatszélesség (m),
- ΔB_1 = egy forgalmi sáv szélesítésigénye (m),
- t = lekerekítőív tetőponti távolsága (m),
- α = lekerekítőív középponti szöge (°).

Az érintő hossza (T_b):

$$T_b = R_b \cdot tg \frac{\alpha}{2}$$

Az R_{bmin} tájékoztató értékei:

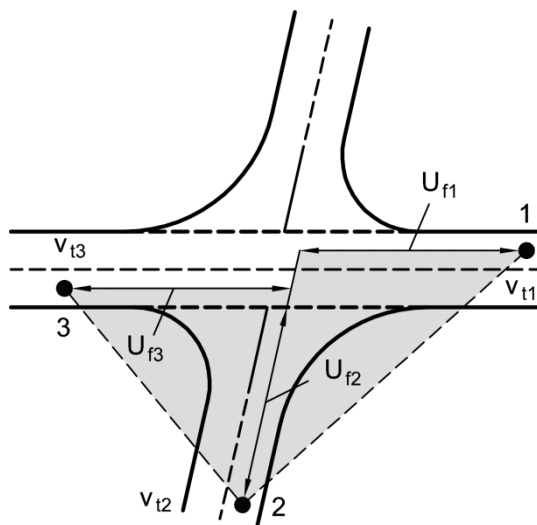
- hosszúfás szerelvényeknél 15 m,
- nagy tehergépkocsiknál 12 m,
- közepes tehergépkocsiknál 10 m.

Látótávolságok biztosítása a csomópontokban

A csomópont területén és a hozzá csatlakozó útszakaszon biztosítani kell a jó beláthatóságot annak érdekében, hogy a csomóponthoz közeledő járművek vezetői idejében észlelhessék és szemmel tarthassák egymást. A csomópontok ágai között ezért megfelelő oldalhosszúságú látóháromszöget kell szabadon tartani, és ezek területén az összelátást akadályozó építményt, növényzetet (facsportokat, cserjéket) és egyéb létesítményeket nem szabad elhelyezni.

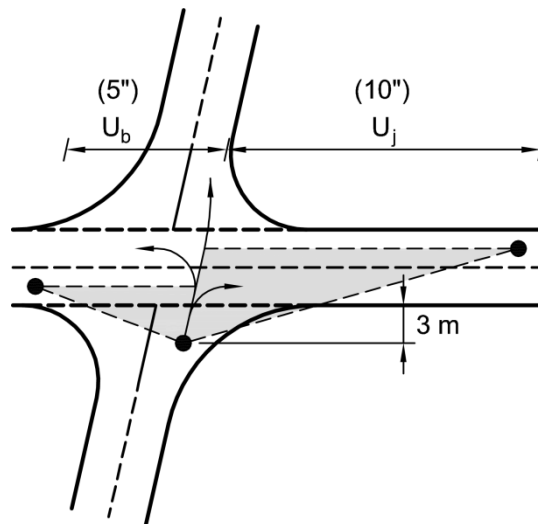
A szabályozatlan csomópontokban mindenképpen, a szabályozottakban lehetőleg biztosítani kell, hogy a csomóponthoz közeledő gépkocsik legalább az U_f fékútnak megfelelő megállási látótávolságokkal képzett látási háromszögek sarokpontjaiból megláthassák egymást.

Az erdészeti utak csomópontjaiban a lágyszárú és cserje fajok magassága miatt, ilyen nagyságú területet szabadon hagyni a termőterület kihasználása miatt nem lehet. Az időszakosan lecsökkenő biztonság ideje rövidíthető, ha ezekre a területekre olyan növényeket telepítünk, amelyek nem emelkednek 1,20 m-nél magasabbra a burkolatszél fölé.



Csomóponti látóháromszögek a megállási látótávolság szerint

Minden csomópontban megkövetelhető, hogy a szabályozatlan csomópontokban óvatos vezetés mellett a burkolatszél előtt, vagy az „Állj! Elsőbbségadás kötelező”, illetve az „Elsőbbségadás kötelező” táblák előtt kb. 3 m-re álló jármű vezetője a főúton jobbról jövő járművet U_j távolságról, a balról közlekedőt U_b távolságból meg tudja látni.



Csomóponti látóháromszögek az elindulási látótávolság szerint

Az elindulási (keresztezési) látótávolság biztosításakor a szabadon tartandó háromszögek hosszabb oldalát képező U_j és rövidebb oldalát képező U_b látótávolságokat azzal a feltételezéssel számítjuk, hogy az álló jármű biztonságos keresztező mozgásához vagy balra befordulásához $t=10$ s időre van szüksége, a jobbra beforduláshoz pedig csak $t=5$ s időre. Ennek alapján:

- az $U_j=2,8 \cdot v_t$,
- az $U_b=1,4 \cdot v_t$

ahol:

- v_t = fölérendelt út tervezési sebessége (km/h,
- U_j, U_b = elindulási (keresztezési) látótávolságok (m).

Amikor a megfelelő U_j és U_b látótávolságok nem biztosíthatók, akkor az elsőbbséggel rendelkező főirányban olyan sebességkorlátozást kell előírni és alapul venni, amely mellett a látótávolságot már biztosítani lehet.

A mellékirányból a közúthoz csatlakozó földutat a területileg illetékes közúti hatóság előírásai szerint burkolt csomópontként kell kialakítani. A közút forgalma ezáltal kevésbé lesz akadályozott és a sárfelhordás veszélye csökkenthető. A burkolat hosszát a földút talajának kötöttsége határozza meg, de legalább 50 m-nek kell lenni.

Elindulási (keresztelési) látótávolságok

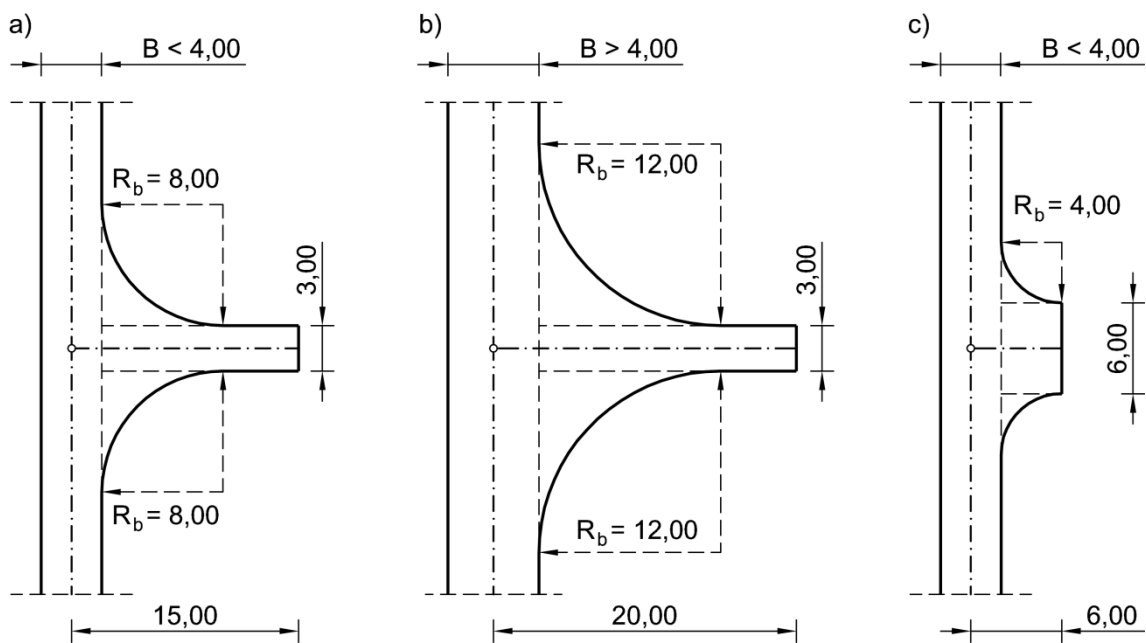
Tervezési sebesség v_t	Elindulási látótávolságok	
	jobbról U_j	balról U_b
km/h	m	
100	280	140
90	250	130
80	220	110
60	170	85
50	140	70
40	112	56
30	84	42
20	56	28

Lejárók

Az erdészeti utak és a termőterület (erdőrészlet) kapcsolatát biztosítják a lejárók. Ezek alacsonyabb rendű csomópontoknak tekinthetők, amelyeken a járhatóságot mindenképpen biztosítani kell.

A rövid lejáró előnye, hogy a befordulást biztosítja, de nem nyúlik be a termőterületbe, zavarva az erdészeti munkákat.

A lejárók alatt az árkot átvezetővel kell átvezetni.



Lejárók

Vasúti keresztezések

Az út és a vasút tengelye által bezárt szög lehetőleg 45° -nál nagyobb legyen, de mindenképpen haladja meg a 30° -ot.

Szintbeni keresztezéseknél az útkeresztezésekhez hasonlóan, lehetőleg biztosítani kell a látási háromszögek szabadon tartását. A látási háromszög befogója az úton a megadott megállási látótávolság, a vasút vonalán $5v_v$ (m), ahol " v_v " a vasúti vonalra engedélyezett legnagyobb sebesség (km/ó).

A sorompó nélküli keresztezéseknél, ha a látási háromszög nincs biztosítva, a járművezető részére a vasútvonal mentén legalább a keresztezési látótávolságot biztosítani kell, és az úton "Állj! Elsőbbségadás kötelező" táblát kell elhelyezni. A keresztezési látótávolságot 10 másodperc keresztezési idő alapulvételével kell számítani, vagyis a jármű vezetőjének $2,8v_v$ hosszban (m) látni kell a vasúti pályát.

A sorompó, fény sorompó, andráskereszt vagy stoptábla láthatóságát a megállási látótávolságról biztosítani kell. Ha a biztosítható látási háromszögeknek a közúti oldala kisebb a szükségesnél, stoptábla mellett legalább a megállási látótávolságnak megfelelő távolságban "Sebességkorlátozás" táblát kell elhelyezni a "Sorompó nélküli vasúti átjáró" táblával együtt.

Vasúti átjáróban az út hosszesése egyezzen meg a vágány túlemeléséből adódó eséssel. Túlemelés nélküli vágánynál a hosszesés 0% . Sorompó nélküli átjáróban a vágánytengelytől számított 2-8 m, sorompóval ellátott átjáróban 5-14 m között az út hosszesése 3% alatt maradjon.

A vasúti keresztezés műszaki terveit az érvényben lévő tervezési előírásoknak megfelelően kell elkészíteni, és ezek alapján meg kell kérni az útépítési engedélykérelemhez csatolandó szakhatósági engedélyt.

ÜZEMI LÉTESÍTMÉNYEK

Kitérő és leállóhelyek

Az egy forgalmi sávós erdészeti utakon a kétirányú forgalom fenntartása érdekében kitérőket létesítünk. Ezek a helyeken a találkozó járművek egymás mellett elhaladhatnak.

A kitérőkben a pálya szélesítése $3,00$ m (kivételesen indokolt esetben $2,50$ m). A szélesítés két oldalon megosztva is kialakítható.

A teljes szélesítéssel rendelkező kitérő hossza igazodjon a közlekedő járművek hosszához:

- pótkocsi tehergépkocsinál legalább 20 m;
- két nagyméretű pótkocsival közlekedő vontató-gépkocsi forgalmánál 25 m.

A szélesítés kifuttatása legfeljebb $1:5$ hajlású vonallal történhet, tehát a kifuttatási hossz egyoldali szélesítésnél legalább 15 m mindkét végen. A kifuttatásban lévő egyenesek csatlakozása ívesen lekerekíthető, de ez el is hagyható.

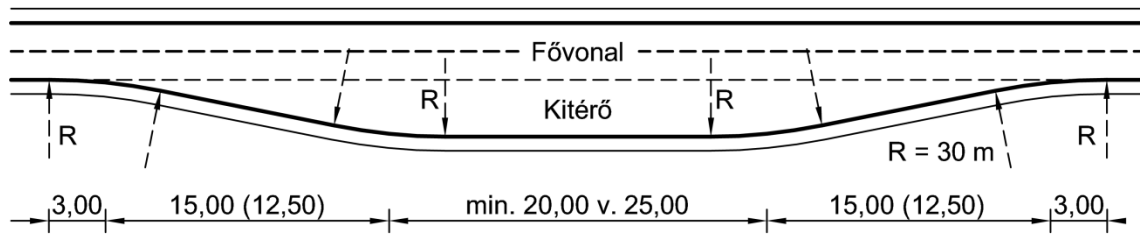
A kitérőkben a pálya kifelé dől $d\%$ -kal. A burkolat anyaga, vastagsága, a padka szélessége és esése a folyópályával megegyező.

A kitérők távolsága $300-500$ m legyen. A kitérőben lévő jármű a szabad látótávolságot nem korlátozhatja. Egyenesben vagy szélesítést nem igénylő nagy sugarú ívekben helyezhetők el,

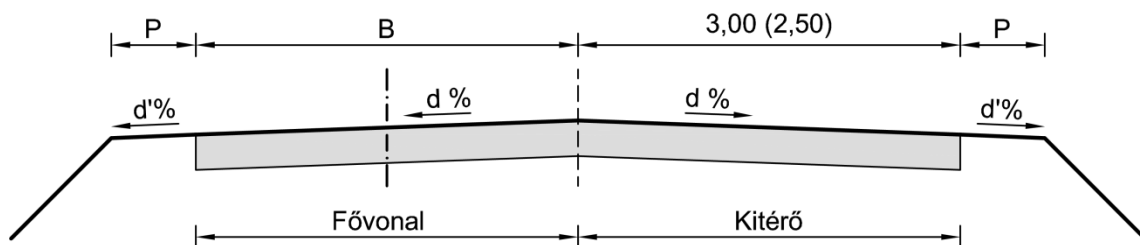
figyelembe véve a topográfiai adottságokat úgy, hogy az akadályok a mozgó járművekből a megállási látótávolságon kívül észlelhetők legyenek.

A kitérők rendeltetésüket csak jól megszervezett forgalom és nagy üzemi fegyelem mellett tudják betölteni, amit a kommunikációs eszközök jelentősen segítenek. A nagy teherbírású tehergépjármű szerelvények elterjedése azonos szállítási feltételek mellett a kitérők szükségességét csökkenti.

FELÜLNÉZET



KERESZTMETSZET



Kitérők kialakítása

Leállóhelyeket az egy forgalmi sávú utak mellett célszerű kialakítani abból a célból, hogy a rakodó járművek mellett a közlekedés folyamatos maradjon. A teljes szélesítés hossza a jellemző gépjármű hosszának legalább kétszerese. Kialakításuk a kitérőkhöz hasonló.

Személygépkocsik részére egyszerű kialakítású leállóhelyeket célszerű létesíteni, ahol az erdészeti szakemberek, az erdőt felkereső turisták személygépkocsija, valamint egyszerűbb erdészeti gépek megállhatnak, várakozhatnak.

Erre alkalmasak az út mellett kialakuló depóniák, amit kevés munkával alkalmassá lehet tenni a személygépkocsik leállítására. Felületüket célszerű 15-20 cm vastag homokos-kavics, vagy murvaterítéssel burkolni. A kifogástalan vízelvezetés megvalósítása feltétele a használhatóságnak.

Feltétlenül szükséges kellő számú gépkocsi megállást biztosító leállóhely létesítése akkor, amikor az erdészeti út egy részéről sorompóval kizárjuk a forgalmat. A leállóhelyet célszerű ilyenkor a sorompó előtt kialakítani, ahol akár egy figyelemfelkeltő táblával is jelezhetjük a lezárás okát (Pl.: természetvédelmi érdekből a gépkocsik közlekedése nem kívánatos, balesetveszélyes erdészeti munkák folynak, stb.)

Pihenőhelyek

A természetközeli, többcélú erdőgazdálkodásban egyre nagyobb teret kell biztosítani az erdő pihenés, kikapcsolódás céljából felkeresők igényeinek kiszolgálására. A pihenőhelyek erdészeti kialakításában messze elmaradunk a jóléti államok helyzetétől, pedig ezek létesítésére különböző szempontok szerint, nagy szükség lenne.

A pihenőhelyek, leállóhelyek tudatos elhelyezésével és célszerű kialakításával szabályozni lehet az erdőt felkereső turisták mozgását, az általuk okozott károkat egy helyre a pihenőhely környezetére összpontosítani. Ezzel egyszerűbbé válik a keletkező szemét összegyűjtése, a pihenőhelyeken kialakított tűzrakó helyek segíthetnek az tüzek keletkezésének megelőzésében, illetve a tűz keletkezési helyét ott rögzítjük, ahová a tűzoltók akadálymentesen ki tudnak vonulni.

Nem elhanyagolható a jelentősége egy - egy gondosan kialakított pihenőhelynek az erdőgazdálkodás, az erdészeti munkák megismertetésében, népszerűsítésében, amennyiben ott ismeretterjesztő táblákat, kisebb bemutatóhelyeket alakítunk ki.

Erdészeti pihenőhelyeket nemcsak az erdészeti utak mentén lehet elhelyezni, hanem azok megvalósíthatók az erdőt átszelő közutak mentén is. Elsődleges cél ekkor is az erdőgazdálkodás kedvező arculatának formálása, ezért ezek üzemeltetésére nagy gondot (és jelentős pénzt) kell fordítani. Célszerű ezeket a közút kezelőjével egyeztetett helyen kialakítani és a költségmegosztást előre tisztázni.

Pihenőhelyeket az üdülőerdő útjai mentén, kedvező adottságú helyeken létesítünk. Előnyben kell részesíteni azokat a helyeket, ahonnan jó és szép kilátás nyílik a tájra, a közelben patak, forrás, tó, víztározó stb. található.

A pihenőhelyeken a gépkocsik kényelmes felállítását biztosító parkolókat kell kialakítani úgy, hogy az egyes csoportok egymást ne lássák, hallják; de ne legyenek olyan távolságra, ami a közvetlen kapcsolatok felvételét megakadályozza. Legyenek a parkolók mellett padok, asztalok, szemétyűjtő edények, nagyobb pihenőhelyek közelében WC-t is kell építeni.

Amennyiben a pihenőhely célja az autós turizmus bevezetése az erdőbe, akkor piknik lehetőséget is biztosítani kell, tűzrakó helyek kialakításával. A tervezéskor ezek számából és elhelyezéséből kell kiindulni, a bútorokat, majd a parkolóhelyeket hozzájuk rendelni.

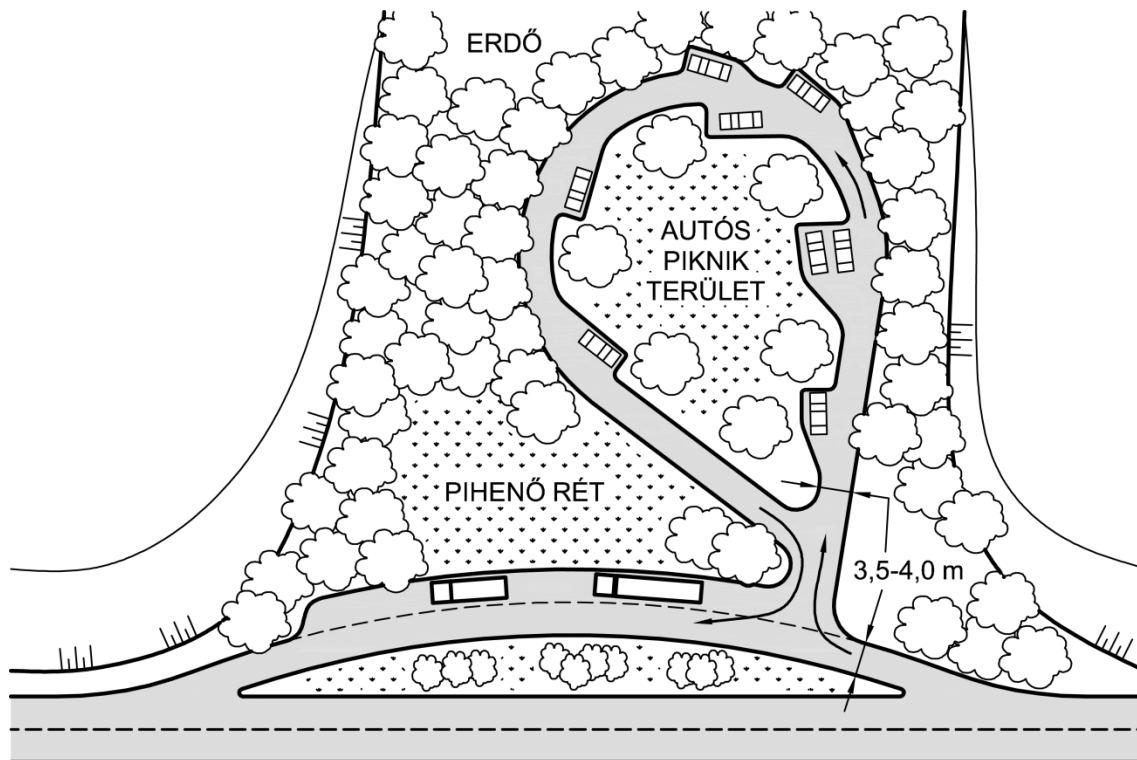
A pihenőhelyeken személygépkocsik és a tehergépkocsik parkolási lehetőségét szét kell választani, az erdei piknikhelyeken a tehergépkocsik jelenléte nem kívánatos.

A pihenőhely egy forgalmi sávós belső útját az átmenő forgalomtól egy 3-10 m széles erdősáv választja el, ebből ágaznak ki a parkolási területek útjai.

Távolsági forgalmat szolgáló utaknál a parkolóhely nagyságát az átmenő forgalom 0,5-1,0%-a alapján, üdülőerdőkben rendszerint a járművek teljes számának figyelembevételével határozzák meg. Egy-egy pihenőhelyen 5-25 személygépkocsinak és 4-10 tehergépkocsinak megfelelő, burkolt parkolóhelyről kell gondoskodni.

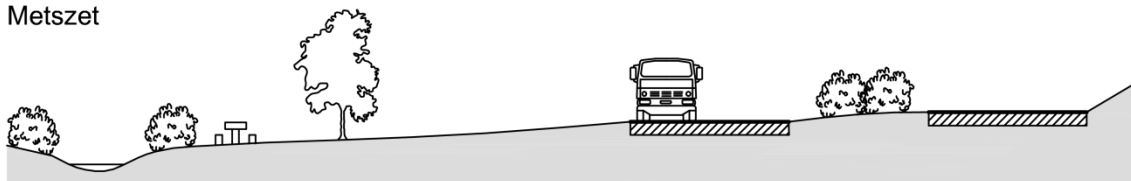
A pihenőhelyeket – lehetőség szerint – lássuk el folyóvízzel.

A pihenőhelyeket a tájrendezéssel összhangban kell megtervezni.

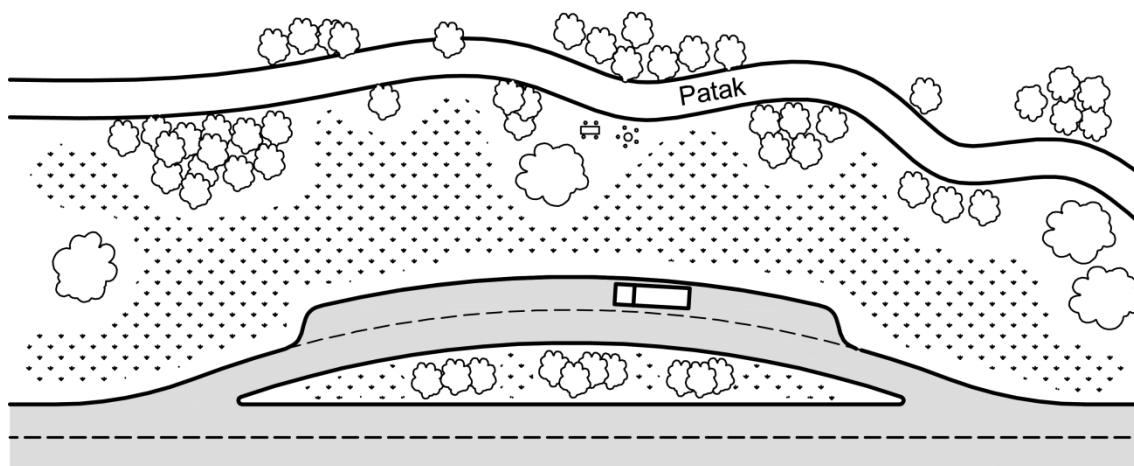


Pihenőhely kialakítása erdőben

Metszet



Felülnézet



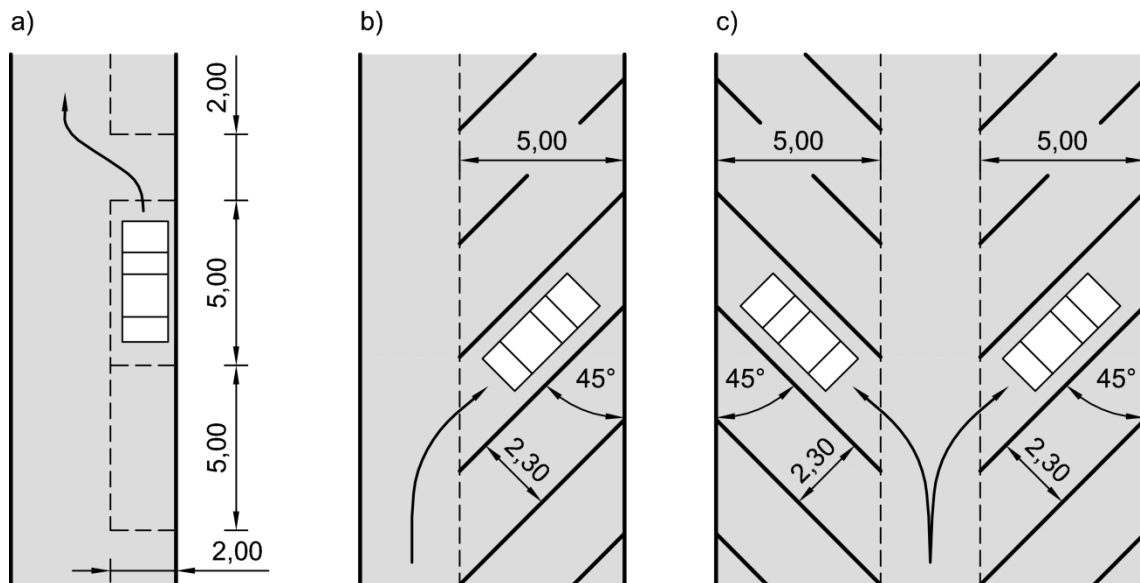
Pihenőhely patak mellett

Parkolóhelyek

A pihenőhelyek létesítése közben figyelemmel kell lenni a gépjárművek biztonságos elhelyezésére és az ott tartózkodó személyek testi épségének megővésére. Ezért a pihenő- és leállóhelyeken a személygépkocsik, valamint az autóbuszok és a tehergépkocsik számára parkolóhelyeket kell kijelölni.

Kiseb parkolóhelyeknél a burkolatszél mellett egy sorban, a burkolatszállal párhuzamosan állnak a járművek. Egy személygépkocsira a ki- és beszálláshoz szükséges közel 6,00 m hosszát kell számítani, ilyenkor a gépkocsik helyeit burkolatjellel nem jelöljük ki. Nagyobb pihenőhelyeknél, a különálló parkolóhelyeken felfestjük a gépkocsik várakozási helyeit.

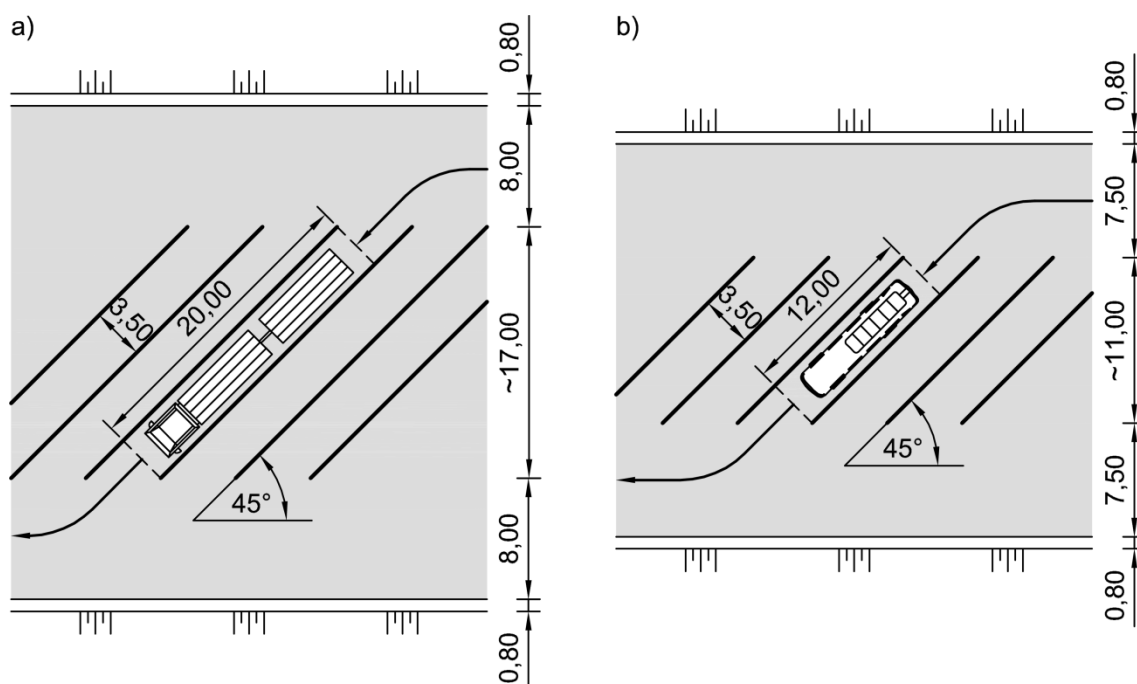
A pihenőhelyek személygépkocsi parkolójának kialakításakor nem célszerű a 25 m²/szgk. területnormához ragaszkodni. Ez az ott tartózkodókban a zsúfoltság kellemetlen érzését kelti. Megfelelőbb a levegős, tágas álláshely-elrendezés, ahol az autós kirándulók kevésbé zavarják egymást.



Személygépkocsi parkolóhelyek elrendezései

Autóbuszok és pótkocsis tehergépkocsik részére külön felállóhelyeket létesítünk célszerűen 45°-os irányban, mindig két megközelítő úttal közrevéve. Így a 12 m hosszú autóbusz és a legfeljebb 18-20 m hosszú pótkocsis teherautó felállóhelyre a járművek menetirány szerint állnak be és tolatás nélkül, mindig előremenetben hagyják el a másik oldali közlekedőúton a parkolóhelyet.

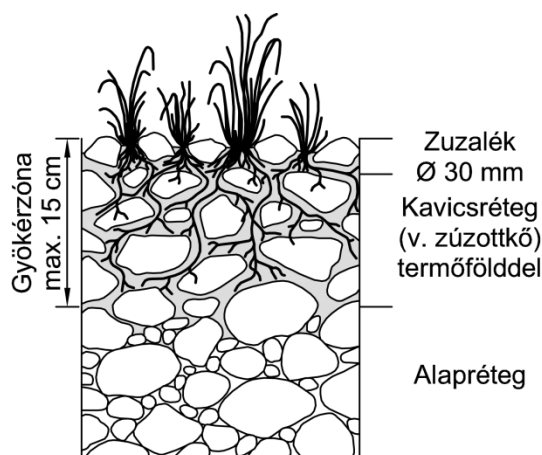
Abban az esetben, amikor a várható nagy járművek száma csak 2-3 db, akkor a parkolóhely párhuzamos felállással is tervezhető. A szükséges sáv szélessége min. 3,00 m, a helyszükséglet pótkocsis teherautónál és pótkocsis autóbusznál 30 m, autóbusznál pedig 18 m, a beálláshoz szükséges távolsággal együtt. A parkolósáv elejét és végét a leállósáv végződésének megfelelően célszerű kialakítani.



Pótkocsis tehergépkocsi és autóbusz parkolóhelyek elrendezése

Az álláshelyek felületét sokszor elegendő 15-20 cm vastag mechanikai stabilizációs, vagy jó mechanikai tulajdonságokkal rendelkező gyepburkolattal ellátni. Az utóbbi a tájesztétikai szempontoknak jobban megfelel és természethez közelálló megoldás.

A két burkolatfajta előnyeit egyesíti magában az ún. gypes-kavics burkolat. A jól előkészített, tömörített tükörbe 15 cm vastagságban, termőföld és kavics (vagy zúzottkő) keverékből álló réteget terítünk, amelyet szintén jól betömörítünk. A felületet végül vékony (1-3 cm vastag) termőréteggel lefedjük. Ezt követi a fejrágázással összekötött fűmagvetés, amelyhez 25 g/m^2 , a mechanikai igénybevételeket jól tűrő, a tájhoz illeszkedő fajokból álló fűmagkeveréket használunk. A vetés után egy szemcseméretű vastagságban elterítjük a kb. 30 mm szemcseátmérőjű zúzalékból álló felső réteget, majd elvégezzük a gypesítésnél szokásos tömörítést és öntözést.



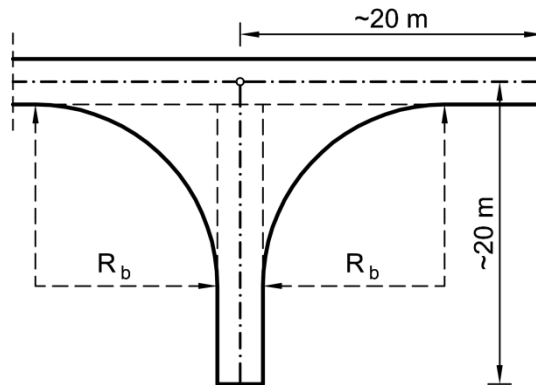
Gyepes kavics burkolat

Gépjárműfordulók

A gépjárművek tolatással, vagy körfordulással tudnak megfordulni. Ehhez a gépjárműfordulókat T, vagy teljes fordulóként alakítjuk ki. A pótkocsis tehergépkocsik tolatással csak nagy nehézségek árán

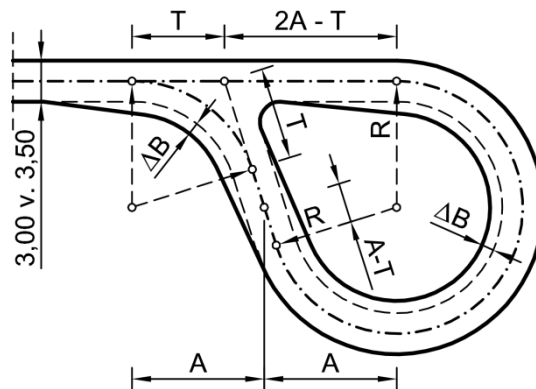
tudnak megfordulni, ezért ezek részére teljes fordulót (körfordulót) kell tervezni. Más helyeken, kisebb helyigénye miatt T forduló építése javasolt.

A T fordulóban a burkolat szélessége az egy forgalmi sávos út szélességéhez igazodjon. A forduló hossza legalább 20 m legyen. A saroklekerekítés javasolt sugara (R_b) közepes tehergépkocsinál 10 m, nagy tehergépkocsinál 12 m legyen. T fordulóként fokozott óvatossággal a csomópontok és a lejárók is felhasználhatók.



„T” gépjárműforduló kialakítása

A teljes fordulónál a víztelenítés okoz nehézséget, amikor az oldalesés az ív középpontja felé irányul. Ekkor az összegyűlt vizet a csepp alakú területről csőátteresztővel kell elvezetni. Tekintettel arra, hogy a járművek sebessége itt alacsony, az oldalesés kifelé is dönthető. Ekkor a csepp alakú felület is burkolható, amely szintén kifelé irányuló esést kap (1-3 %). Ez a terület leálló helyként, vagy tároló felületként hasznosítható.



Gépjárműforduló kialakítása körfordulóként

KISZÁLLÍTÓUTAK TERVEZÉSE

KISZÁLLÍTÓUTAK TERVEZÉSE

KISZÁLLÍTÓUTAK MŰSZAKI JELLEMZŐI ÉS KIALAKÍTÁSUK

A kiszállítóutak olyan állandó létesítmények, amelyek közelítőeszközök, kiszállítószervevények és tehergépkocsik alacsony sebességű közlekedését biztosítják. A kiszállítóutakon ezért lehetővé kell tenni:

- a szállítójárművek, mértékadóan a tehergépkocsik közlekedését,
- a technológiai műveletek elvégzését,
- a közelítőnyomok becsatlakoztatását.

A kiszállítóutak forgalma időszakos. Igénybevételük csak a feltárt területen folyó fakitermelések időszakában jelentkezik koncentráltan. Egyébként forgalma elenyésző, főként az erdőművelési és erdővédelmi feladatok ellátásából keletkezik, nem csúcsgalomszerűen. A kiszállítóút kategóriát nem forgalmi méretezés alapján kell meghatározni, hanem azt a feltérési tervben kell kijelölni. A területfeltérési tervben kiszállítóútnak kijelölt utak később feltérőúttá nem fejleszthetők a jelentős költségráfordítás miatt. A fokozatos kiépítés elvének megfelelően az ilyen utakat eleve II.o. feltérőútként kell a feltérési tervben besorolni.

Kiszállítóutak műszaki jellemzői

A kiszállítóút fő műszaki jellemzői a koronaszélesség, a minimális kanyarulati sugár, a megengedett legnagyobb emelkedő, a megállási látótávolság és a minimális lekerekítő ívsugár.

A koronaszélesség az útosztálytól, a minimális kanyarulati sugár a mértékadó gépjárműszervevény felépítésétől, a megengedett legnagyobb emelkedő a forgalombiztonságtól, a megállási látótávolság egy biztonságosan felvett sebességtől függ.

Forgalmi igények kielégítése

A kiszállítóutakat úgy kell kialakítani, hogy rajtuk a járműmozgás geometriájának figyelembevételével a KRESZ előírásainak megfelelő járművek biztonságosan elérjenek és áthaladhassanak. Az anyagmozgatás gazdaságossága nem kívánja meg ezeken az utakon egy minimális sebesség elérését, ezért tervezési sebességet nem kell figyelembe venni. Azoknál a tervezési elemeknél, amelyek nagysága egy feltételezett sebességhez kötődik, a II. osztályú feltérőutak "N" jelű akadályoztatásának megfelelő sebességet és a hozzá tartozó értékeket kell figyelembe venni.

A legnagyobb emelkedő értékét úgy kell meghatározni, hogy az út jeges állapotban is biztonságosan forgalmazható legyen, erózió pedig ne keletkezessen.

A kiépítés színvonalát (földút, javított földút, mechanikai stabilizáció) alapvetően nem a forgalom nagysága, hanem a földmű talajának vízáteresztőképessége és erózióveszélyessége határozza meg.

Keresztmetszeti kialakítás

Koronaszélesség

Kiszállítóutakon egy mozgó tehergépkocsi helyszükséglete 2,80 m, amely egyben a forgalmi sáv szélessége.

A kiszállítóutak koronaszélessége: 3,50 v. 4,00 m

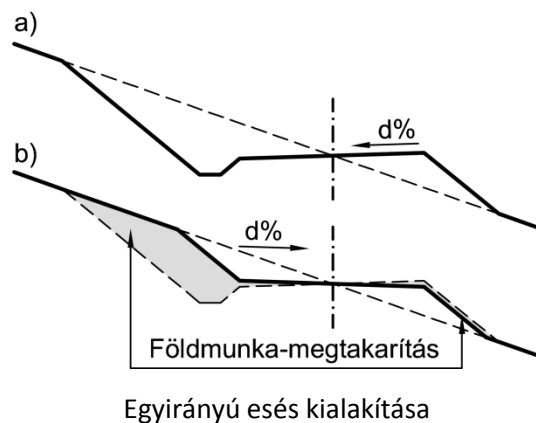
Járható vízvezetés esetén a módosított koronaszélesség magába foglalja a vízvezetés helyigényét is.

Oldalesések

Egyenes szakaszon és ívekben egyaránt a vízvezetés érdekében a pálya felületét egyoldali, vagy kétoldali eséssel kell megtervezni. A kétoldali esést tetőszelvényvel, vagy „bogárhát formával” alakíthatjuk ki. A pálya oldalesése:

- földúton az erózióveszély függvényében: 3-5%;
- javított földúton: 5-8%;
- bogárhát kialakításnál: 0-13% fokozatos átmenettel.

A tervezett kis sebességek miatt ívekben túlemelést nem szükséges tervezni.



Koronaszélesítés kissugarú ívekben

Koronaszélesítést $R = 250$ m-nél kisebb sugarú ívekben a feltáróutakra megadott előírások szerint kell tervezni.

Melléksávok

A kiszállítóutak mellett kitérőket és rakodókat alakíthatunk ki a feltáróutaknál leírtak szerint.

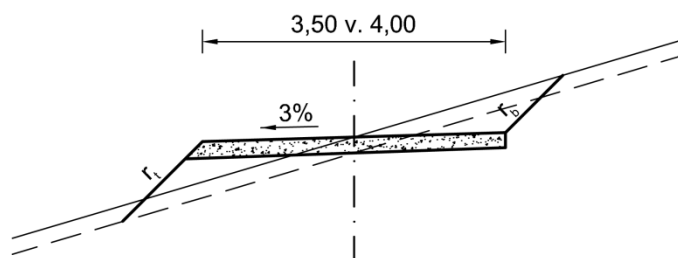
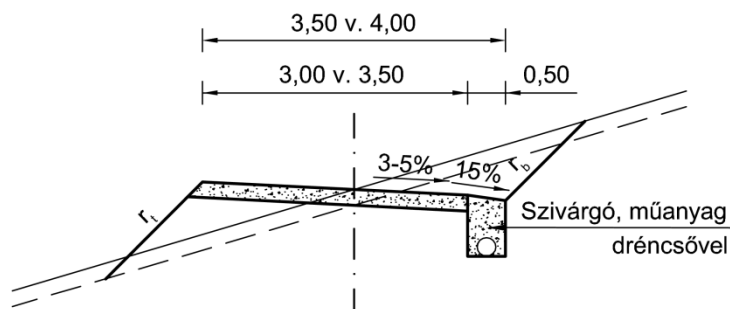
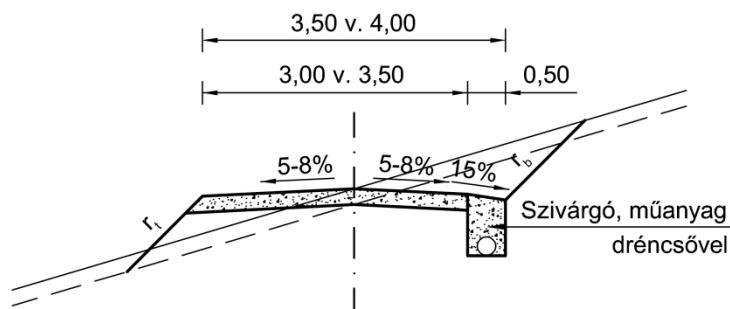
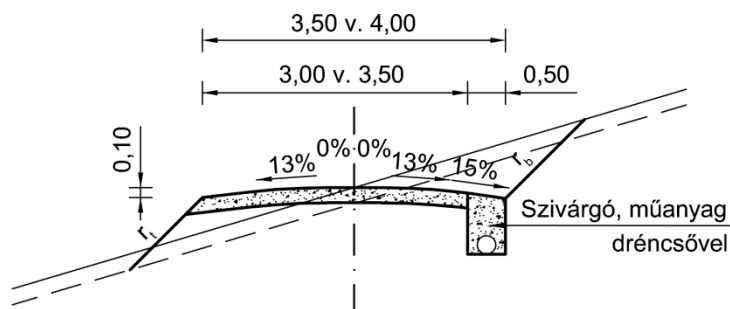
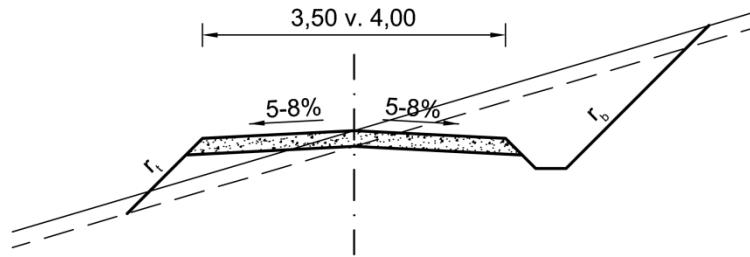
Rézsűk, földműhatárolás

A kiszállítóutak földművének határolására ugyanazok az elvek és előírások vonatkoznak, mint a feltáróutakra.

Vízvezetés, víztelenítés

A vízvezetést úgy kell kialakítani, hogy az összegyűjtött vizet a lehető leggyorsabban szétosszuk az út alatti területen. A vízvezetés kialakítása egyszerű és helytakarékos legyen. A kiszállítóutak vízvezetése megoldható a feltáróutak víztelenítésével azonosan kialakított oldalárok és csőáteresztő-rendszerrel. Jó öndrévezéssel bíró talajok esetében a műszelvény szélességének csökkentése érdekében oldalárok helyett célszerűbb a járható folyóka, illetve a szivárgórendszer kialakítása. Az itt összegyűjtött vizet 20-50 méterenként elhelyezett kis átmérőjű (20-30 cm névleges átmérőjű) műanyag csövekkel lehet a völgy felőli oldalra átvezetni. Tervezéskor a csövek kiosztását

irányelvként kell megadni, pontos elhelyezésüket az építéskor a helyi tapasztalatok figyelembevételével tervezői művezetéssel kell rögzíteni. A kiszállítóút felületének védelmére a feltáróutakhoz hasonlóan vízterelőők építhetők be.



Kiszállítóutak mintakeresztelvényei

Vonalvezetés

A kiszállítóutak vonalvezetése a lehető legjobban kövesse a domborzatot. A kiszállító-utak tervezéséhez ezért olyan egyszerű nyomjelzési módszert kell választani, ami az előbbi feltétel meglétét már a terepen biztosítja. Egyéb szempontokat a vonalvezetésnél csak kivételesen kell figyelembe venni.

Vízszintes vonalvezetés

A kiszállítóutakon a legkisebb kanyarulati sugár nagysága haladja meg a legkisebb technikai sugár nagyságát. Célszerű, ha az R_{min} nem kisebb 15 m-nél. A vízszintes vonalvezetésnél átmeneti íveket nem alkalmazunk.

Magassági vonalvezetés

Javított földútként kialakított kiszállítóutak legnagyobb emelkedése a forgalom biztonságára való tekintettel nem haladhatja meg a 8%-ot. Abban az esetben, ha a kiszállítóút téli forgalmát korlátozzuk, a legnagyobb emelkedő értéke 12% lehet. Erózióveszélyes talajokon földútként kialakított kiszállítóutaknál a legnagyobb emelkedő értékét a talajra jellemző, erózió szempontjából megengedett legnagyobb emelkedő határozza meg.

A hossz-szelvény függőleges lekerékítését úgy kell kialakítani, hogy az a tehergépjárművek közlekedése szempontjából megfelelő legyen és biztosítsa a megállási látótávolságot. A relatív esésváltás 10,00 m hosszon ne haladja meg a 2%-ot.

A pálya befektetésekor kerülni kell azokat a módszereket, amelyek jelentős bevágási többletet eredményeznek. Törekedni kell a szelvényen belüli földtömeg-kiegyenlítésre. A töltés állékonyságát a megfelelő töltésalapozással kell biztosítani. A pálya vonala csak akkor tervezhető mélyebbre, ha az állékony töltési rézsű és a terep metszése nem valósítható meg és ezzel költségesebb műtárgy megépítése elkerülhető. Ebben az esetben a keletkező földfelesleg elhelyezéséről a tervezőnek gondoskodni kell.

Látótávolságok

Kiszállítóutakon a megállási látótávolságot kell biztosítani, amelynek hossza kellő biztonsággal 15,00 m.

ÚTTERVEZÉSI MUNKÁK

TERVMŰVELETEK JELLEGE ÉS TARTALMA

Az erdészeti utak tervezésének célja az, hogy az erdőgazdálkodás műszaki, ökológiai, közgazdasági és társadalmi feltételei, valamint az úttal szemben támasztott további igények szerint:

- a terepen felkeresse az új út helyét;
- az illető útvonalat három vetületben, (helyszínrajz, hossz-szelvény, kereszt-szelvények) terv formájában rögzítse;
- a megtervezett útvonal tengelyét a terepen karókkal és cövekekkel az építés részére kitűzze;
- a földtömeg mozgatóását megtervezzék;
- méret- és anyagkimutatást készítsen a mennyiségek és minőségek szerint;
- tervezői költségvetést végezzen.

Nyomozásnak (trasszírozásnak) nevezzük azt a tervezői munkát, amikor a felmerülő igényeknek és lehetőségeknek megfelelően az új, vagy korszerűsítendő út vonalát részben térképen, főleg azonban a terepen felkeressük.

Nyomjelzés az a terepen folyó, a nyomozást követő, helyszíni mérésekkel járó munka, amikor a tervezett út nyomvonalát a terepen földre vert karókkal és cövekekkel kitűzzük, vízszintes és magassági értelemben bemérjük és ezzel az építendő út nyomvonalát a kivitelező részére a helyszínen rögzítjük.

Helyszíni feltárásokat akkor kell végezni, amikor az útvonalról, vagy útvonal változatokról már megfelelő elképzeléseink vannak. Ekkor vonalas talajmechanikai feltárást kell végezni a talajviszonyok megállapítására, továbbá az út nyomvonala mentén fellelhető építőanyagok felderítésére.

Tervezési folyamat

Az úttervezés közben igen sok, gyakran ellentétes szempontot kell figyelembe venni, amelyek között a megfelelő kompromisszum azonnal nem teremthető meg. A feladatot fokozatos közelítéssel lehet megoldani. Az úttervezés rendje éppen ezért abban áll, hogy az útvonalat többször tervezzük meg, több, egyre részletesebb tervdokumentációt készítve egymás után. Minden tervfázist előzetes egyeztetések sora vezet be, majd az elkészült tervet az erdészeti hatóság hagyja jóvá.

A tervezés legelső fázisában először egy *Elvi Erdőterület Igénybevételi Tervet* kell készíteni, amelyben a tervezett út, vagy kisebb összefüggő, egyszerre megépítendő hálózat vonalait tüntetjük fel, bemutatva az út által érintett erdőterületet. Ehhez egy közelítő terület-kimutatást kell csatolni, erdőrészlet és kataszteri helyrajzi szám szerint. Ezt helyettesítheti az erdészeti hatóság által is elfogadott feltáráshálózati terv. A második tervfázisban készül el az *Engedélyezési Terv*, amely minden műszaki megoldást és méretet tartalmaz. Az utolsó tervfázis az *Építési Terv*, amely teljes részletességgel a kivitelező és a beruházó részére készül. Gyakorlatilag ez az Engedélyezési Terv a Költségvetési kiírással kiegészítve.

Az utolsó terv a *Megvalósulási terv*, amelyet az építés befejezése után kell elkészíteni és a megvalósult állapotot tartalmazza. Ezt nem minden esetben a tervező készíti, hanem azt egy

földmérési jogosultsággal rendelkező mérnök állítja össze. Ez lesz az üzemtervek és kataszteri állapotok helyesbítésének alapja.

Általános tervezési előírások

Az erdészeti utakat az érvényben lévő *Erdészeti Utak Tervezési Irányelvei* előírásainak megfelelően kell megtervezni.

Az erdészeti utak a termelést kiszolgáló gazdasági utak, amelyeknek létesítése és fenntartási költségei közvetve, vagy közvetlenül a termékek árát terhelik, így a műszaki jellemzők meghatározásakor a műszaki minimum elvét kell követni.

Az I. és II. osztályú feltáróutakon a szolgáltatási színvonalat úgy kell meghatározni, hogy a szállítási és az építési költségek összhangját megteremtsük különböző terepadottságok (akadályoztatás) között. A szolgáltatási színvonalat a tervezési sebesség megválasztásával lehet biztosítani.

A kiszállítóutakon a szolgáltatási színvonalat a járművek kitérési lehetősége fejezi ki. Üzemeltetésüket forgalmi és technológiai utasításban szabályozni kell.

Az út áteresztőképességét az indokolt legnagyobb hosszban azonos színvonalon kell tartani, azonos műszaki jellemzők megtartásával. A különböző útkategóriák csomópontokban, vagy olyan jellegzetes helyeken csatlakozzanak, ahol a megváltozott helyzetre a környezet is felhívja a járművezetők figyelmét.

A pályaszerkezetet a talaj- és forgalmi viszonyok, illetve egyéb befolyásoló tényezők figyelembevételével méretezni kell. A pályaszerkezet felépítésének tervezésekor a helyi anyagok felhasználására kell törekedni.

A tervet úgy kell elkészíteni, hogy a létesítmény

- állékony,
- megvalósítható,
- fenntartható

legyen.

A tervező feladata a legkedvezőbb műszaki megoldások kidolgozása és ezzel a gazdaságos kivitelezés és üzemeltetés feltételeinek biztosítása. Tervezéskor a műszaki jellemzőkre megadott még elfogadható legkisebb és legnagyobb értékek között a helyes tervezési koncepció alapján kiválasztott értékeket kell alkalmazni. A tervezési előírások ismeretének és alkalmazásának feltételezése ellenére, a műszaki leírásban és a kiírási műveletben rögzíteni és indokolni kell az előbbi feltételek megoldásait mennyiségi és minőségi vonatkozásban egyaránt. A minőségi előírások betartását tervezői művezetéssel és műszaki ellenőrzéssel kell biztosítani.

Az erdészeti utak építéséhez felhasználható anyagok kiválasztásánál az igénybevétellel arányos minőségű anyagot kell felhasználni az anyagfelhasználás környezetvédelmi elveinek megfelelően.

A terveknek a műszaki megoldásokon kívül tartalmazni kell a méretre, mennyiségre és minőségre vonatkozó összes adatot és előírást.

Az erdészeti utak tervezésekor különös figyelmet kell fordítani az ökológiai igények kielégítésére. Így:

- a termőterület védelme érdekében az út által igénybevett terület gondos megtervezésére, amelyet a keresztmetszelvek alapján úgy kell meghatározni, hogy az a

műszelvény szélességét (a bevágás körömpontjától a töltés talppontjáig tartó távolságot) legfeljebb 1,0 – 1,0 m-rel haladja meg;

- a vízvezetés olyan megoldására, amely az összegyűjtött vizet a termőterületen ismét a leggyorsabban szétosztja;
- a lefejtett humusz ismételt felhasználásának megtervezésére és előírására.

Elvi erdőterület igénybevételi terv

Célja a hatóság számára bemutatni a tervezett út által igénybevett területet, annak nagyságát, a tervezett út főbb műszaki paramétereit. Ezért ennek a tervnek be kell mutatni a tervezett út, vagy kisebb összefüggő, egyszerre megépítendő hálózat vonalait, az út által érintett erdő- és egyéb területeket. Ebben a fázisban még javaslatot lehet tenni vonalvezetési variációkra, azok előnyét és hátrányát bemutatva. Tartalmaznia kell egy közelítő terület kimutatást, erdőrészlet és helyrajzi szám részletességgel, valamint az építéssel érintett földtulajdonosok jegyzékét.

A terv munkarészei:

- Műszaki leírás (terület kimutatással)
- Átnézeti helyszínrajz
 - üzemtervi térképen, M=1:10000,
 - ingatlan-nyilvántartási térképen, M=1:4000;
- Mintakeresztmetszelvények

A műszaki leírás tartalmazza a meglévő állapot leírását, a forgalmi igényeket, a szükséges műszaki jellemzőket az EUTI szerint, a tervezett nyomvonal mérnök-geológiai és vízrajzi adottságait, a pályaszerkezet javasolt felépítését. A terület-kimutatás bemutatja az út által elfoglalt területek nagyságát erdőrészletenként és kataszteri helyrajzi számonként, tulajdonosokként elkülönítve. A tulajdonosok felderítése rendkívül fontos, mert az egyeztetésekbe minden érintett tulajdonost be kell vonni és írásbeli nyilatkozatot kell kérni hozzájárulásuk feltételeiről. Rendkívül fontos a területen lévő közművek és tulajdonosainak megállapítása is, mert a közműkeresztezések feltételeit ezek határozzák meg.

Átnézeti helyszínrajz, M=1:50.000 – M=1:25.000 – M=1:10.000 méretarányú térképen ábrázolja az út nyomvonalát az úthálózat kiterjedésétől és a rendelkezésre álló térképanyagtól függően. A közelítő nyomvonalat a szemleges vonalról készített térképvázlat alapján célszerű ábrázolni.

A mintakeresztmetszelvények M=1:50 méretarányban készülnek és ábrázolják a földmű és a kész műszelvény általános méreteit

A kapcsolódó hatósági eljárás:

- Erdőterület igénybevételének elvi engedélye iránti kérelem benyújtása;
- Erdőterület igénybevételének elvi engedélye.

Az engedély birtokában megkezdhető az engedélyezési terv készítése.

Engedélyezési terv

Az engedélyezési terv az út építését megelőző hatósági engedélyezési eljárás részére készül. Az engedélyezési terv munkarészei azonosak az építési (kiviteli) terv munkarészeivel, de nem tartalmazza a Költségvetést és annak munkarészeit:

- Műszaki leírás (terület kimutatással);

- Átnézeti helyszínrajzok:
 - üzemtervi térképen, $M=1:10000$,
 - ingatlan-nyilvántartási térképen, $M=1:4000$;
- Részletes helyszínrajz, $M=1:1000$, $M=1:2000$;
- Részletes hossz-szelvény, $M_h=1:1000$ $M_m=1:100$;
- Mintakeresztmetszelvények, $M=1:50$; Keresztmetszelvények, $M=1:100$;
- Földtömegszámítás és elosztás;
- Részletes műtárgytervek, $M=1:100$ - $M=1:25$.

A kapcsolódó hatósági eljárás

- Építési engedély (és erdőterület igénybevételi engedély) iránti kérelem benyújtása;
- Építési engedély és erdőterület igénybevételi engedély.

Az építési engedély birtokában az építési terv készítése megkezdhető.

Építési terv

Az építési terv tartalmazza az út, híd és egyéb műtárgyak részletes műszaki terveit, mennyiségi adatait, minőségi előírásait és költségvetését, amelyek alapján a kitűzés és az építés lebonyolítható.

Az építési terv kötelező munkarészei:

- Műszaki leírás, szakhatósági hozzájárulások;
- Átnézeti helyszínrajzok:
 - üzemtervi térképen, $M=1:10000$,
 - ingatlan-nyilvántartási térképen, $M=1:4000$;
- Részletes helyszínrajz, $M=1:1000$, $M=1:2000$;
- Részletes hossz-szelvény, $M_h=1:1000$ $M_m=1:100$;
- Mintakeresztmetszelvények, $M=1:50$; Keresztmetszelvények, $M=1:100$;
- Földtömegszámítás és elosztás;
- Részletes műtárgytervek, $M=1:100$ - $M=1:25$;
- Tételes költségvetési kiírás.

Szükség esetén csatolandó munkarészek:

- Kitűzési vázlat, $M=1:500$, $M=1:1000$;
- Kitűzési adatok jegyzéke;
- Talajmechanikai szakvélemény;
- Közúti csatlakozás, vasút, közművezeték keresztezések engedélyezési és kiviteli tervei;
- Úttartozékok tervei;
- Humuszgazdálkodási terv.

Műszaki leírás

A műszaki leírás tartalmazza a beruházó megrendelését, az általa szolgáltatott kiindulási adatokat, a létesítmény általános leírását, főbb jellemzőit, a kialakításra vonatkozó mennyiségi és minőségi előírásokat, valamint azokat a megjegyzéseket, amelyek a tervdokumentáció más munkarészeiből egyértelműen nem vehetők ki, vagy nem szerepelnek.

A tárgyalandó fontosabb pontok:

- út rendeltetése, gazdasági indoklása, a feltárt terület leírása;
- forgalmi adatok, a közlekedő jellemző járművek és munkagépek;
- a jelenlegi állapot és a tervezett útszakasz leírása;
- a vízszintes és magassági vonalvezetés;
- pályaszerkezet leírása és méretezése;
- a műszelvény jellemző adatai;
- közúti csomópontok, útlejárók, útcsatlakozások, pálya- és közműkeresztezők;
- műtárgyak;
- vízelvezetés;
- úttartozékok;
- úttal kapcsolatos egyéb létesítmények;
- rakodók, forgalmi kitérők, pihenő- és parkolóhelyek;
- az úttal érintett meglévő és később építeni tervezett egyéb kapcsolódó létesítmények;
- idegen területek igénybevétele;
- geodéziai alapadatok;
- építés alatti forgalom leírása;
- munkavédelmi előírások;
- területkimutatás az ingatlan nyilvántartási és az üzemtervi adatok tervezett változásáról;
- tervezői nyilatkozat;
- a beruházó (megrendelő) és a tervező megállapodását tartalmazó jegyzőkönyv (mellékletben elhelyezve).

Az építés szempontjaira, az építés megvalósításának módjára (technológiájára) mindenütt részletesen ki kell térni. A tervben nem szereplő, vagy ott nem szabályozott, a kivitelező által megvalósított megoldásokért is a tervező felelős, amit később csak bonyolult jogi eljárás keretében lehet tisztázni.

Az építési terv alapján az erdőgazdaság, mint megrendelő (beruházó) vállalkozásba adja az út építését a kivitelezőnek.

Átnézeti helyszínrajz

Célja a tervezett út tágabb környezetének bemutatása, különös tekintettel a hálózati kapcsolatokra.

Célszerű, ha a szintvonalas térkép $M=1:10.000$, $M=1:25.000$ vagy $M=1:50.000$ méretarányban készül, és tartalmazza az úttal feltárt erdőtestet (gravitációs egységet), annak üzemtervi beosztását, a meglévő utakat, vasutakat, rakodókat, az úttal kapcsolatos létesítményeket (pihenőhelyeket, stb.). Fel kell tüntetni a tervezett út km szelvényeit, a nagyobb műtárgyakat, az anyagszállításra és felvonulásra alkalmas útvonalakat (dűlőutakat, kiszállítóutak stb.) is.

Részletes helyszínrajz

Célja az út vonalvezetésének bemutatása és az úthoz csatlakozó létesítmények helyszínrajzi ábrázolása.

Tartalmazza az út tengelyvonalát, a szelvényezést, az ívviszonyokat, a műtárgyak helyét, patakszabályozásokat, vasúti és egyéb pályák valamint vezetékek keresztezési helyét és jellemző

méreteit, csomópontokat, kitérőket, leálló- és rakodóhelyeket, pihenőhelyeket, gépkocsifordulókat, lejárókat, jelzőtáblák helyét. Fel kell tüntetni a vízvezetés megoldását a befogadóig.

A csomópontokról, rakodókról, parkolóhelyekről, pihenőhelyekről és gépkocsifordulókról $M=1:500$ – $M=1:250$ méretarányú részletterv készítendő.

Részletes hossz-szelvény

Az út magassági vonalvezetésének és a hosszirányú vízvezetés tervezésére szolgáló munkarész.

A részletes hossz-szelvény hosszléptéke $M=1:1000$, magassági léptéke $M=1:100$.

Tartalmazza a szelvényezést, az út tengelyére vonatkoztatott terep- és pályaszintmagasságokat, a töltés és bevágás mérőjegyeit, a lejtési és kanyarulati viszonyokat ívdiagram formájában, a helyszínrajzon is feltüntetett létesítmények helyét, a műtárgyak nyílását és magassági elrendezését, a burkolatszélek hossz-szelvényét az oldalesés átmeneteknél, útárkok, csatornák hossz-szelvényét, a mértékadó árvíz és talajvízszintet, talajjavító rétegek és útkorlátok helyét. (Erdészeti utaknál az oldalesés átmenetek kialakítását a műszaki leírásban is megadhatjuk.)

Mintakereszt-szelvények

A mintakereszt-szelvényen ábrázoljuk és adjuk meg azokat az adatokat, amelyek minden kereszt-szelvényben azonosak.

A mintakereszt-szelvények $M=1:50$ méretarányban készülnek az út jellegzetes szakaszairól. Az azonos kiépítési színvonalon készülő utakon is legalább két mintakereszt-szelvény készüljön, az egyik az egyenes, a másik az íves szakaszok kialakítását mutassa be.

Fel kell tüntetni a pályaszerkezet részleteit, a földmű és a kész műszelvény méreteit, a vízvezetés módját, a korona és a rézsűk kiképzését.

Kereszt-szelvények

A kereszt-szelvények munkarészből származtatjuk az útpászta szélességét, adunk alapadatokat a földtömegszámítás részére és tervezzük meg a keresztirányú vízvezetést.

Méretaránya $M=1:100$.

Tartalmazza az út és közvetlen környezetének pályatengelyre merőleges metszetét. Fel kell tüntetni a meglévő létesítményeket, a terepvonalat, a humusz vastagságát, a földmű határvonalát, pályaszintre történő tervezésnél a pályaszerkezet metszetét és a földmű vonalát, a terepszint, a pályaszint vagy földműszint magasságát, a töltés és bevágás mérőjegyét, a töltés és bevágás keresztmetszetének területét (a humuszréteg módosító hatását figyelembe véve), a töltésalapozás határvonalát, a műtárgyakat és azok fő méreteit. Íves szakaszoknál meg kell adni az ív irányát, sugarát, a túlemelés és szélesítés értékét. Be kell tervezni a kitérőket, rakodókat és egyéb létesítményeket. Amennyiben valamilyen indok miatt (pl.: ferdén elhelyezett csőáteresztő elhelyezését kell ábrázolni) ferde kereszt-szelvényt is készíteni kell, megadva az eltérés hajlásszögét. (A földtömegszámítás miatt merőleges kereszt-szelvényt ekkor is készíteni kell.)

A kereszt-szelvényeket olyan szélességben kell készíteni, hogy az úthoz közvetlenül csatlakozó terep, anyagárok, övások stb. kialakítását is tartalmazzák.

Földtömegszámítás és elosztás

Tartalmazza a töltési és bevágási területek felhasználásával kiszámított töltési és bevágási földtömegeket, a töltés építéséhez szükséges föld biztosítását, a felesleges föld elhelyezését, a szállítási távolságokat, a javasolt munkagép és a fejtési osztály megnevezésével együtt.

Részletes műtárgytervek

Ebben a munkarészben szerepelnek az úthoz tartozó műtárgyak tervei, típusonként csoportosítva:

- a 3,00 m-nél kisebb nyílású előregyártott elemekből készülő csőáteresztőről adaptált szabványtervet kell mellékelni;
- a 3,00 m-nél nagyobb nyílású áteresztőkről és hidakról, részletes építési tervet kell készíteni. Munkarészei:
 - Műszaki leírás,
 - Hidraulikai és statikai számítás,
 - Általános és részlettervek,
 - Méret- és mennyiségi kimutatás,
 - Költségvetés,
 - Talajmechanikai szakvélemény;
- a támasztófalakról erőtanai számítást, valamint a szerkezeti kialakítást és méreteket tartalmazó rajzokat kell mellékelni;
- fenéklépcsőkről vagy árokburkolásokról csak metszet- és nézetrajzokat kell készíteni;
- szivárgók kialakítása;
- egyedi kialakítású úttartozékok tervei.

Tételes költségvetési kiírás

A létesítmény kivitelezési összegének meghatározására szolgál, amelynek részei:

- a költségvetési főösszesítő;
- a tételes költségvetési kiírás;
- a méretjegyzék.

A tételes költségvetési kiírás az építési munkák tételes kiírását tartalmazza, azok mennyiségének megadásával együtt. Ennek mellékletét képezi a méretjegyzék, amely a mennyiségi adatok helyességének bizonyítását és az ellenőrzés lehetőségének biztosítását szolgálja.

Talajmechanikai szakvélemény

A talajmechanikai szakvélemény ismerteti a talajvizsgálat eredményeit, a teherbírasi számításokat, a javasolt szerkezeti megoldásokat, és javaslatokat tesz az építési technológiára. Az erdészeti utak esetében fontos megvizsgálni, hogy a helyi talajok felhasználhatók-e a pályaszerkezet építéséhez. Tartalmazza a talajvíz helyzetét és várható ingadozását.

A szöveges leírás melléklete a fúrásszelvény és a rétegszelvény.

Szükség esetén csatolandó munkarészek

További csatolandó munkarészek:

- az út mentén elhelyezett háromszögelési, sokszögelési, GPS és magassági alappontokról, valamint a részletpontokról készített jegyzék, amely tartalmazza a pont koordinátáit országos (esetleg helyi) rendszerben. Ezek számítógépes listák formájában jelennek meg;
- terület igénybevételi tervet, az előzetes erdőterület igénybevételi és művelési ágváltozás iránti engedélykérelemhez kell mellékelni, amely üzemi térképből, grafikus pontosságú nyilvántartási térképből és terület kimutatásból áll. Az építés befejezése után végleges kisajátítási tervet kell készíteni;
- humuszgazdálkodási terv, amely a műszelvény területéről lefejtett humusz tárolásáról és elhelyezéséről rendelkezik.

Az út forgalomba helyezése és a megvalósulási terv

Az út építése közben a megrendelő műszaki ellenőre az építés folyamatát ellenőrzi és az építési napló alapján minősíti az építés folyamatát és minőségét. A munka készre jelentése után megkezdődik az átadás - átvételi eljárás, amelyen a beruházó, a tervező és a hatóságok képviselői nyilatkoznak az elkészült útról. Az út állapotát és rendeltetészerű használatát elfogadó nyilatkozatok után az út forgalomba helyezhető. A forgalomba helyezés után kell a megvalósulási térképet elkészíteni, amely alapján az erdészeti adattár, az erdészeti üzemi térképek, a földügyi nyilvántartásokban az adatok helyesbítése megtörténhet.

A terv munkarészeit és részletességet, a mindenkori földmérési szabályzatok foglalják össze.

ERDÉSZETI UTAK NYOMOZÁSÁNAK SZEMPONTJAI

Az erdészeti utak nyomvonalának kijelölésekor több szempontot kell figyelembe venni.

A nyomvonal helyzetét elsősorban az erdőfeltárási terv jelöli ki, amelynek készítésekor már a nyomozás szempontjait is figyelembe kell venni. Az erdőfeltárási terv készítése óta eltelt időszakban bekövetkező változások miatt ettől el lehet térni, de ekkor célszerű az erdőfeltárási tervet is módosítani, amire a dinamikus hálózatfejlesztési tervezési módszer lehetőséget teremt.

Az erdészeti utak nyomozásánál a következő szempontokat kell figyelembe venni:

- gazdasági és forgalmi igények;
- a terepadottságok és a geológiai viszonyok;
- az altalaj minősége és a helyi építőanyagok lelőhelyei;
- hidrológiai, víztelenítési és meteorológiai adottságok;
- műszaki, vonalvezetési irányelvek és a gépjárművek igényei;
- esztétikai, környezetvédelmi és turisztikai igények;
- állami, önkormányzati, egyéni és közösségi érdekek, tulajdonosi jogok és igények hatása a vonalvezetésre;
- ökológiai érdekek.

A felsorolt szempontok alapján olyan tereppontokat határozhatunk meg, amelyeken az út nyomvonalát át kell vezetni, vagy amelyeket azzal el kell kerülni. Ezeket a pontokat pozitív, illetve negatív vezérpontoknak (kardinális pontoknak) nevezzük.

Gazdasági és forgalmi igények

A tervezendő út az erdészeti úthálózat részét képezi, amelynek erdőgazdálkodási szerepét, valamint a hozzávetőleges vonalvezetését a feltárási tervek tartalmazzák. Ezekben a tervekben megtaláljuk az út által közvetlenül és közvetve érintett (feltárt) erdőrészteket, azok főbb jellemzőit, a feltárási koncepciót (a faanyagmozgatás tervezett rendszerét), a rakodók és felkészítőhelyek elhelyezését, az úton leszállítandó fatérfogat és a várható egyéb forgalom nagyságát és igényeit, a javasolt útosztályt.

A forgalom nagysága által meghatározott útosztály és az akadályoztatás alapján a gazdaságosnak ítélt tervezési sebességet v_t (km/h) az EUTI alapján kell kiválasztani. Az erdészeti útépítésben hangoztatott „technikai minimum” elvét ezáltal a tervezési sebesség meghatározásával rögzítjük, mert minden más tervezési értéket ennek kell alávetni a tervezés és építés folyamán.

Terepadottságok és a geológiai viszonyok

A terepalakulat egyértelműen megszabja az erdészeti út vonalvezetésének lehetőségét. A síkságon a terepfelület formája kevés akadályt gördít a tervező elé. Itt a magas talajvíz, a belvizes, a vizenyős és a mocsaras területek jelentenek komoly problémát. Az ilyen területeken átkelni csak jelentős többletköltséget okozó műszaki megoldásokkal lehet. Mivel ezek a területek gyakran ökológiai szempontból is értékesek, elkerülésük kívánatos.

A belvizes területeken az út építésekor a térség vízelvezetésének lehetőségét messzemenően figyelembe kell venni, és hozzájárulni annak megoldásához.

Dombvidék kedvező a lendületes, hajlékony vonalvezetés tervezésére. A csúszásra hajlamos, suvadásos területeket a vonallal el kell kerülni.

Hegyvidéken a szélesebb völgyek kedvező vonalvezetési lehetőséget kínálnak, de el kell kerülni a vízfolyás közelében lévő, sík és rendszerint vizenyős részeket. Az ilyen területek az út állékonysága szempontjából (kapilláris vízemelés, télvégi burkolatkárok stb.) kedvezőtlenek. Ezek a területek általában az árvízszint alatt vannak, elöntéskor az út erősen károsodhat, ezért az árvízveszély csökkentése érdekében a nyomvonalat az árvízszint fölé (legalább 2 m-rel) fel kell vinni a hegyoldalba.

Az állékonyabb kőzetből kialakult, déli kitétségű oldalakat - ha van választási lehetőség - ajánlatos előtérbe helyezni.

A mellékvölgyeket jól fel lehet használni vonalfejlesztésre.

Altalaj minősége és a helyi építőanyagok lelőhelyei

A nyomvonal felkeresése közben, gyors talajmechanikai vizsgálatokkal meg kell állapítani a talajok fő jellemzőit. A talajfizikai jellemzők ismeretében az alábbi fő szempontokat vegyük figyelembe:

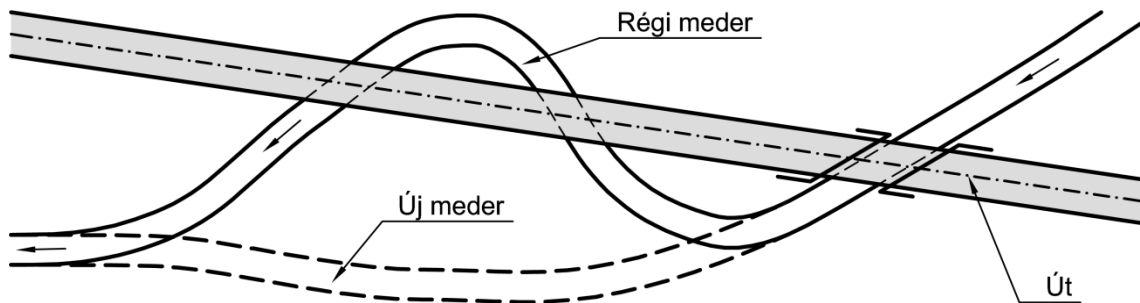
- lehetőleg kerüljük a vizenyős, mocsaras, tőzeges, és mélyfekvésű területeket a várható magas építési költségnövekedés miatt;
- a magas talajvízállású agyagtalajokon az úttestet az állékonyság biztosítására töltésben kell vezetni, ami magasabb építési költséget jelent;
- a csúszós suvadásos területeket el kell kerülni, mert a szivárgórendszer létesítése nagy költségtöbbletet eredményez és hosszú távon bizonytalan megoldást jelent;
- a helyi építőanyagok (homok, kavics, terméskő stb.) felhasználása lényegesen csökkenti az építési költségeket, ezért az ilyen területeket a vonalvezetésnél helyezük előtérbe.

Hidrológiai, víztelenítési és meteorológiai adottságok

A hidrológiai adottságok is befolyásolják a vonalvezetést. A megfigyelésekkel nyert, valamint a vízügyi szakmai szervezetektől beszerzett adatokra támaszkodva meg lehet állapítani az árvízszint magasságát, a vízfolyáson a legkedvezőbb átkelési helyet, a műtárgyak szükséges nyílásának méreteit, a patakszabályozás szükségességét és helyét.

Síkvidéken víztelenítési okokból az útestet a terepből 0,70-1,00 m magasságra kiemeljük, töltésben vezetve.

Völgyekben, ahol az alépitmény vízvédelme, vagy a műtárgyak számának csökkentése indokolja, illetve a vízfolyás folytonos, törésmentes vezetése megkívánja, patakmeder áthelyezést tervezhetünk. Vigyázzunk azonban arra, hogy a meder megrövidülésével az esést, ezáltal a víz erodáló hatását olyan szinten tartsuk, amely kimosódást nem eredményez. A meder megvédésére – szükség szerint – burkolást, vagy lépcsőzést alkalmazhatunk. Amennyiben az építési költségek kisebb növekedésével a patakmeder szabályozás elkerülhető, a beavatkozást kerüljük el, mert ezzel ökológiai szempontból értékes területeket óvhatunk meg, ami az engedélyezési eljárásban a természetvédelmi szakhatóság hozzájárását elősegítheti.

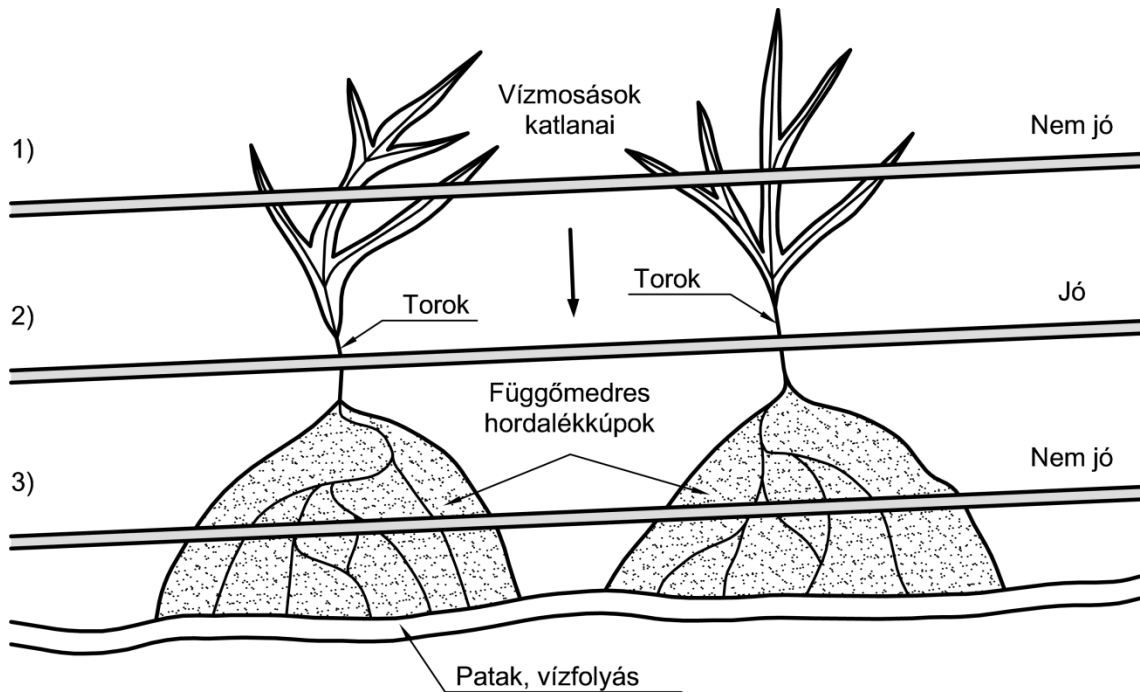


Patakszabályozás a műtárgyak számának csökkentésére

Fokozott gondossággal kell az úttengely helyét kiválasztani a vízmosásokkal szabdaltnak területeken.

A vízmosások felső, állandóan mélyülő katlan szakaszán átvezetett út igen kedvezőtlen, mert aránylag sok és eléggé költséges műtárgyat (áteresztőt vagy hidat) kell építeni. Az út elhelyezésére a torokszakasz a legalkalmasabb, mert itt a vízmosás medre állandósult, és az áthidalást rendszerint egy műtárggyal meg lehet oldani. A vízmosás alsó része, a hordalékkúp is hátrányos az út elhelyezésére. A több ágra bomló vízfolyás nagyszámú műtárgyat kíván, a gyenge talajviszonyok miatt az utat töltésben kell vezetni és az állandó hordaléklerakódás miatt az áteresztők, valamint az útárkok feliszapolódnak, ami fokozott fenntartást igényel.

A meteorológiai elemek hófúvásokon, fagy- és olvadási károkon keresztül gyakorolnak kedvezőtlen hatást.



Az út kedvező elhelyezkedése a vízmosásos hegyoldalban

Műszaki, vonalvezetési irányelvek és a gazdaságosság hatása

A tervezési elemeket megszabó tervezési sebességet a forgalomnagyság és a terepadottságok alapján vesszük fel. A tervezési sebesség által meghatározott adatok közül a nyomozásnál a megengedett emelkedő nagyságát és a legkisebb, vízszintes valamint a lekerekítő sugar értékeit kell elsősorban szem előtt tartani.

A nyomozáskor arra kell törekedni, hogy a megengedett szélső értékeknél jóval kedvezőbb műszaki jellemzőket válasszunk tömegesen.

Törekedjünk az útvonal egyenletes kiépítésére.

A nyomozásnál gondoljunk arra, hogy kis forgalomnál a kissé hosszabb, de alacsonyabb emelkedővel bíró utak bizonyulnak gazdaságosabbnak. Nagy forgalmú utak rövidebb vonallal és nagyobb emelkedővel eredményeznek kedvezőbb gazdasági hatékonyságot.

Esztétikai, környezetvédelmi és turisztikai igények

A környezet természetes rendjét és tényezőinek összhangját legkevésbé a keskeny, a terephez jól simuló utak zavarják meg, amelyeknél a víz szennyezését okozó hordalékképződést, hatásos védelmi megoldások és rendszabályok gátolják.

A műtárgyak kialakításánál kerüljük a merev vonalakat és az építéshez alkalmazzunk helyi anyagokat.

Nagyon fontos cél, hogy a létesítmények ne tűnjenek durva beavatkozásnak a természetbe. A biotechnikai eljárások alkalmazása, a természetes anyagok beépítése nagyban elősegíti a létesítmény környezetbe illesztését.

A vonalvezetés kialakításánál gondosan kerüljük el az értékes természeti elemeket, mert azok megsemmisülése után pótlásuk igen hosszú időt vesz igénybe (források, öreg fák, facsoportok, érdekes alakú sziklák, védelemre szoruló növények csoportja, állatok és madarak kedvenc tartózkodási helyei stb.).

Az erdőben pihenést kereső ember számára az erdő szolgáltatásait a megfelelően kiépített úthálózat teszi lehetővé. Az úthálózat a kirándulókat irányítja, és észrevétlenül betölti az idegenvezető szerepét. Ez az irányítás fontos szerepet játszik mind üdülési, mind környezetvédelmi szempontból. A vonalvezetés jó megválasztásával a táj szépségeire lehet a figyelmet felhívni, azok bemutatathatók a kirándulóknak. A célszerű vonalvezetés mintegy megszabja, hogy a turista hol léphet be a területre, milyen járművel meddig hatolhat be, és a közjóléti célból is megnyitott üdülőterületen hogyan kell viselkednie. Ezzel az útvonal bizonyos rendészeti szerepet is betölt. Elősegíti a rendészeti felügyeletet ellátó szervek ellenőrzési feladatának végzését, amin keresztül a természeti javak megóvása, rendeltetésszerű használata is biztosítható.

Állami, önkormányzati, egyéni és közösségi érdekek hatása

A terepen megjelenő út elhelyezkedésére, a vonalvezetésre különböző érdekek igen változatos formában gyakorolnak hatást.

Zárt erdőterületeken és egyéb összefüggő állami tulajdonban lévő területeken kevesebb gondal szembesülünk.

Sok problémát okoznak azok a vonalas létesítmények (gázvezeték, olajvezeték, elektromos és távközlési kábelek, vasutak, vízfolyások, utak stb.), amelyeket a tervezett út keresztez, vagy megközelít. Az áthaladás, illetve ezek keresztezésének engedélyeztetése és az engedély megadása ismételt és időigényes egyeztetést igényel.

A közúti csatlakozásra kiválasztott helyet az illetékes közúti hatósággal már a nyomozás kezdetén egyeztetni kell és kérni a kialakításra vonatkozó kikötéseket is.

A magántulajdont érintő területek igénybevételekor a tulajdonosokat a jogszabályok szerint, békés megegyezésre törekedve kell kártalanítani.

Egyre gyakrabban előforduló probléma az, hogy az erdőterület és a közút között több idegen tulajdonban lévő mezőgazdasági területet találunk. A közutat csak ezeken a területeken át lehet megközelíteni. Ilyenkor figyelembe kell venni a meglévő rendezési terveket, a meglévő mezőgazdasági úthálózat fejlesztési terveket. Ekkor is megállapodásra kell jutni a kártalanítás, valamint az építési és útfenntartási költségek megosztásában.

Az előzőeknél még nagyobb problémát jelent az, amikor az erdészeti útnak lakott területen lévő önkormányzati útba kellene becsatlakozni. A megjelenő erdészeti nehéz gépjárműforgalmat nem minden lakó fogja elviselni, ugyanis a gyengén alapozott épületében károk keletkezhetnek.

Ökológiai érdekek

Megismerve és elemezve az előbb felsorolt szempontokat, megállapíthatjuk, hogy az út vonalvezetésének műszaki szempontjai megegyeznek az ökológiai szempontokkal, de azokkal ellentétes hatásúak. Általában ahol az út nyomvonala műszaki szempontból előnyösen kijelölhető, az egyben ökológiai szempontból értéktelen terület; de fordítva is igaz, az ökológiai szempontból értékes területeken (pl.: vizes élőhely) nem célszerű utat építeni.

Nagyon fontos felderíteni a területen található veszélyeztetett fajok által elfoglalt területeket és ezeket, mint negatív vezérpontokat kezelni. Az élőhelyfelosztást (habitat fragmentációt) el kell kerülni.

SEMLEGES VONAL ALKALMAZÁSA AZ ÚTTERVEZÉSBEN

Semleges vonal és alkalmazási lehetőségei

Domb- és hegyvidéken a magassági vonalvezetést korlátozza a legnagyobb megengedett emelkedő-lejtő nagysága. Ezeken a területeken a nyomvonal kialakítását a semleges vonal megtervezésével kell megkezdeni.

A semleges vonal egy meghatározott emelkedővel vagy eséssel rendelkező olyan vonal, amely a terep szintjében halad, vagyis minden pontja a terepen van. A terep alakulása megszabja irányát és alakját.

Domb- és hegyvidéki erdészeti utak tervezésénél nagyon előnyösen lehet felhasználni a semleges vonalat. Mind szintvonalas térképen a vonalbefektetésnél, mind pedig a terepen a nyomvonal felkeresésénél a semleges vonal rendkívül előnyös szolgálatot tesz, mert segítségével a nyomvonal emelkedési viszonyai jól befolyásolhatók, illetve ezzel egyben előkészítjük és megalapozzuk a kismértékű és kedvező elosztású földmunka lehetőségét.

Amennyiben az úttengely minden pontja a semleges vonalra kerülne, nem lenne a tengelyben sem töltés, sem bevágás, a földmű keresztaszálítással megépíthető lenne.

Az úttengely megtervezésekor a semleges vonalat egyenesekkel, átmeneti ívekkel és körívvel helyettesítjük. A semleges vonalhoz képest merev tervezési elemek alkalmazása azt jelenti, hogy az úttengely a semleges vonaltól hol felfelé, hol lefelé eltér és ennek következtében kisebb-nagyobb bevágások és töltések keletkeznek a tengelyben. Az eltérés nagysága és a terep keresztdőlése alapján a várható bevágás, illetve töltés mértéke már a tervezés idején meghatározható és szükség esetén módosítható. Az eltérés annál nagyobb, minél magasabb az út kiépítésének műszaki színvonala, azaz a tervezési sebesség (v_t). Az eltérésből adódó földmunkatöbblet nagyságát úgy tudjuk takarékos szinten tartani, ha az eltérés nagyságát a semleges vonaltól a lehető legkisebbre csökkentjük, az egyéb szempontok kielégítő érvényesítése mellett.

Az út földművének kialakításakor óhatatlanul „sebet ütünk” a természetes környezetbe. Az úttervező mérnök feladata az, hogy a természetes környezet megváltoztatását a lehető legkisebbre csökkentse és természetű megoldásokkal gondoskodjon a seb azon részének begyógyításáról, ahol az lehetséges. Ennek alapfeltétele az állékony földműnek és részüinek kialakítása már a tervezéskor.

A semleges vonal alkalmazása tehát hatásosan elősegíti törekvésünket a jó vízszintes és magassági vonalvezetés kialakítására, a legkisebb földmunkával megvalósítható építésre.

A semleges vonal ezért, a domb- és hegyvidéki erdészeti utak tervezésének alapja és nélkülözhetetlen kelléke.

A semleges vonalat először szintvonalas térképen, majd ennek alapján a terepen keressük fel. Nem szükséges, hogy a semleges vonal teljes hosszában azonos emelkedőjű (ill. esésű) legyen, hanem az a hosszabb- rövidebb szakaszon a kívánalmak szerint változhat. Az emelkedő (ill. esés) 1%-nál nagyobb megváltoztatása azonban mindig fokozatosan, átmenet beiktatásával történjen.

A semleges vonalat szintvonalas térképen már a feltáráshálózat tervezésénél is használjuk, sőt azt a terepen is felkeressük azért, hogy már ebben a korai szakaszban meggyőződjünk a vonalak megvalósíthatóságáról.

Semleges vonal felkeresése szintvonalas térképen

Domb- és hegyvidéki utak tervezése előtt mindig célszerű a semleges vonalat szintvonalas térképen felkeresni. Ezzel sok és fáradságos terepi munkát tudunk megtakarítani.

A semleges vonal felkeresésére $M=1: 10\ 000$, $M=1: 25\ 000$, $M=1:50\ 000$ méretarányú térképet használunk, amelyre előzetesen bejelöljük a vezérpontokat. Ezek segítségével meghatározzuk az út várható vonalvezetését, amit a térképre fektetett pauszpapíron ceruzával megrajzolunk. A térképről kiszámítjuk a kezdő és végpont közötti magasságkülönbséget (ΔM), lemérjük az út várható hosszát (L), amiből megállapítjuk az emelkedő vagy lejtő közelítő nagyságát ($e\%$):

$$e\% = \frac{\Delta M}{L} \cdot 100$$

Az osztóköz a két szomszédos szintvonal között lévő, $e\%$ -kal emelkedő semleges vonal vízszintes vetületi hossza. A hasonló háromszögek alapján felírható:

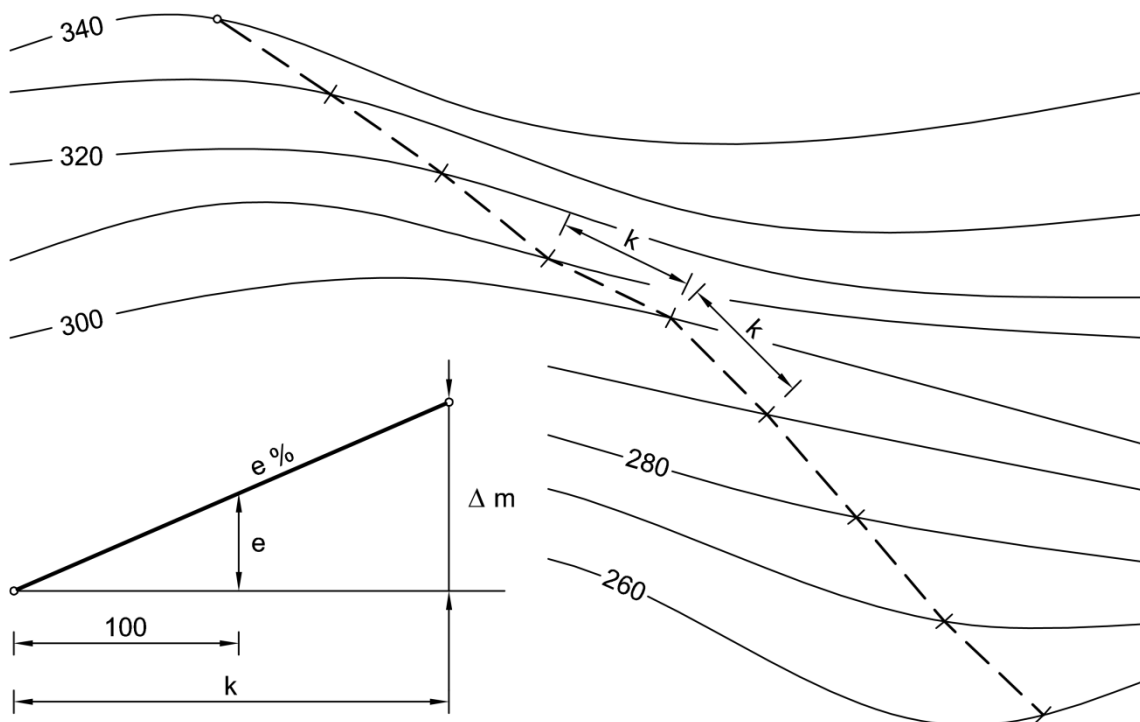
$$\frac{k}{100} = \frac{\Delta m}{e\%}$$

amelyből az osztóköz számítható:

$$k = 100 \cdot \frac{\Delta m}{e\%}$$

ahol:

- k = osztóköz (m),
- Δm = két szintvonal közötti magasságkülönbség (szintvonalköz) (m),
- $e\%$ = semleges vonal emelkedője.



Semleges vonal felkeresése és az osztóköz

A vonalfejlesztés szükséges hossza

Amikor két pont közötti magasságkülönbség legyőzéséhez szükséges $e\%$ nagyobb, mint az $e_m\%$ megengedett emelkedő értéke, akkor a vonalat meg kell hosszabbítani, un. vonalfejlesztést kell végrehajtani. Az emelkedő értéke a vonalfejlesztés előtt:

$$e\% = 100 \cdot \frac{\Delta M}{L} > e_m\%$$

A vonalfejlesztés szükséges hossza ΔL . A semleges vonalat ezzel a hosszal meghosszabbítva a két pont közötti magasságkülönbség már $e_m\%$ -kal leküzdhető. Így tehát:

$$e_m\% = 100 \cdot \frac{\Delta M}{L + \Delta L}$$

ahonnan:

$$\Delta L = 100 \cdot \frac{\Delta M}{e_m\%} - L$$

A vonal L hossza az előző egyenletből:

$$L = 100 \cdot \frac{\Delta M}{e\%}$$

Ezt behelyettesítve, a vonalfejlesztés mértéke:

$$\Delta L = 100 \cdot \frac{\Delta M}{e_m\%} - 100 \cdot \frac{\Delta M}{e\%}$$

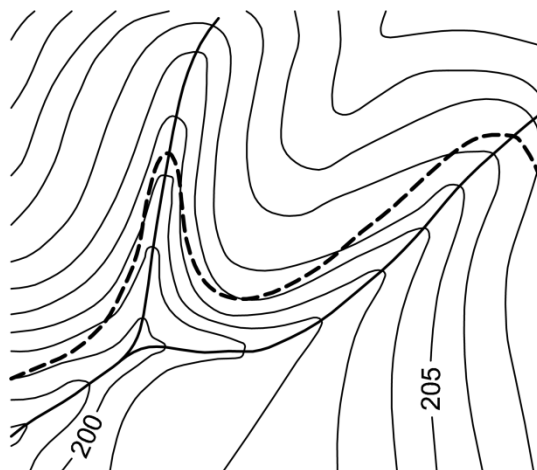
$$\Delta L = 100 \cdot \Delta M \cdot \left(\frac{1}{e_m\%} - \frac{1}{e\%} \right)$$

- ahol: ΔL = vonalfejlesztés hossza (m),
 ΔM = kezdő- és végpont közötti magasságkülönbség (m),
 $e_m\%$ = megengedett legnagyobb emelkedő értéke,
 L = kezdő- és végpont közötti vonal hossza a vonalfejlesztés előtt (m).

A vonalfejlesztés megvalósítása

Betérés a mellékvölgybe

Ha a fővölgyben vezetett vonallal betérünk a mellékvölgybe, a vonal meghosszabbodik. Erdőfeltárási szempontból ez előnyös megoldás, mert ezzel a mellékvölgy területét közvetlenül feltárjuk. Ha a mellékvölgyet feljebb keresztezzük, az kisebb nyílású, olcsóbb áthidalást igényel.



Vonalfejlesztés a mellékvölgybe való betéréssel

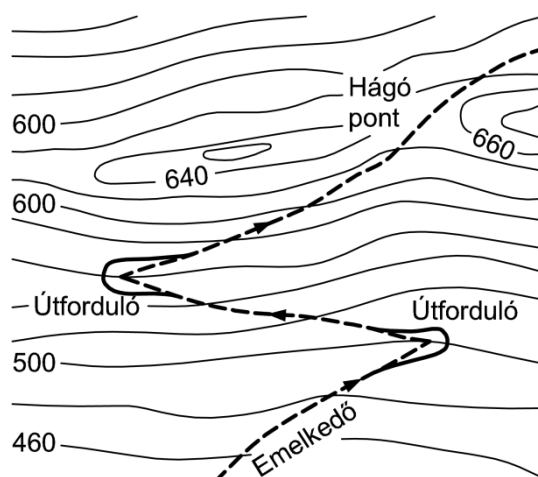
Hegyoldali fordulók, serpentinek beiktatása

A domb- illetve a hegyoldalban átlósan felfelé haladó út vonalát fordulók, un. serpentinek törik meg. A fordulók céljára a hegyoldalak lankás részeit keressük fel, ahol azok nagyobb földmozgatás nélkül kialakíthatók.

A fordulók ne kövessék egymást gyors egymásutánban, mert akkor az átlók közé zárt erdőrészek mikroklimája és vízgazdálkodása kedvezőtlenül alakul és az út feltárási szempontból sincs jól kihasználva. Ez a megoldás tájba illesztés és erdőesztétikai szempontból is kedvezőtlen.

A hegyoldali forduló kialakítása jelentős építési költségtöbbletet okoz. A kis sugarú ív az elérhető átlagsebességet csökkenti és hátrányos forgalombiztonsági szempontból is. Serpentin fordulót ezért csak akkor tervezzünk, amikor a vonalfejlesztésre más lehetőség nincs (pl.: felhasználható mellékvölgy). Ilyen esetekben azt a lankásabb tereprészre helyezzük. A hegyoldali forduló előtt és után a semleges vonal emelkedőjét csökkentjük, mert a kis sugárral kialakított fordulóban jelentősen megnő a kanyarulati ellenállás, illetve a túlemelésből származó eredő emelkedő.

A hegyoldali fordulók tervezése a hazai domb- és hegyvidéken általában elkerülhető és nem indokolt.

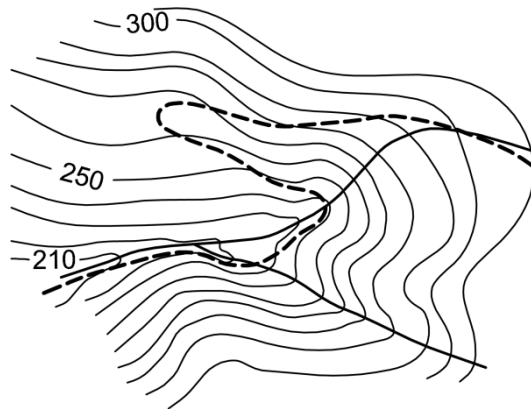


Hegyoldali forduló (serpentin)

Völgyforduló és hegyoldali forduló együttes alkalmazása

Mellékvölgy hiányában a fővölgyben megfordulunk és átlósan felkapaszkodunk a hegyoldali forduló kialakítására alkalmas helyig. Itt szerpentin beiktatásával visszafordulunk, és így egy hosszú vonal keletkezik az oldalban.

A terepi adottságok esetenként lehetnek olyanok, amikor a semleges vonal térképi felkeresése közben olyan éles fordulók sorozatát is kénytelenek vagyunk beiktatni, ahol az emelkedőt a kis sugarú ívek miatt erősen kell majd csökkenteni. Ilyen esetben az osztóközt ezen a rövid szakaszon előnyös megnövelni, különösen akkor, ha a semleges vonaltól eltérő vonalhosszabbítás (pl. ívkitolás) nem látszik kívánatosnak.

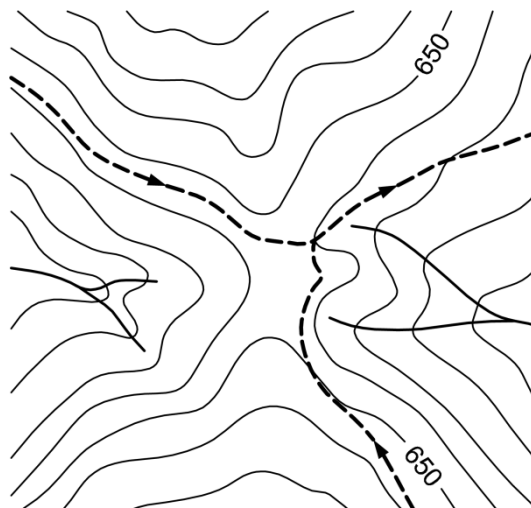


Völgyforduló és hegyoldali forduló együttes alkalmazása

Áthaladás vízválasztón a nyeregponton

Amikor a vonallal vízválasztón kell áthaladni, első feladatunk az átkelési pont kiválasztása. Erre a célra legalkalmasabbak a nyergek.

A vonalat célszerű az általában laza talajú nyeregpontról egy kicsit az oldal felé eltolni, a földmű állékonyságának fokozása érdekében.



Áthaladás nyeregponton

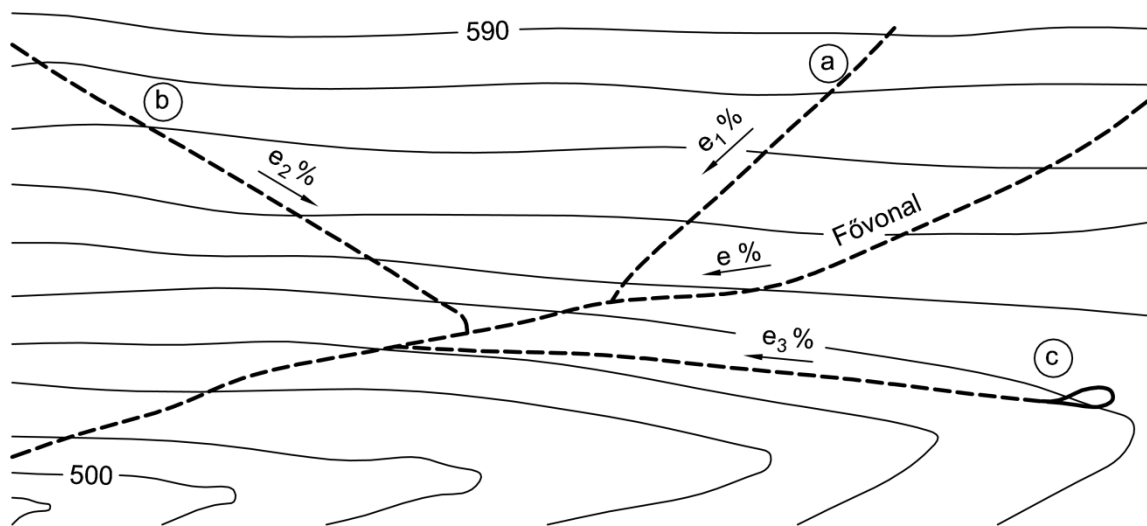
Vonalvezetés hálózati szempontjai

Már a feltáráshálózatok térképi tervezésekor figyelembe kell venni az utak csatlakozási lehetőségét, amit a hegyoldalban elfoglalt helyük is meghatároz. A hálózat előrelátó tervezésekor ezek helyes kialakítását a feltárási terv már rögzíti.

A fővonalak tervezésével egy időben célszerű a szükséges leágazások részletes terveit is elkészíteni.

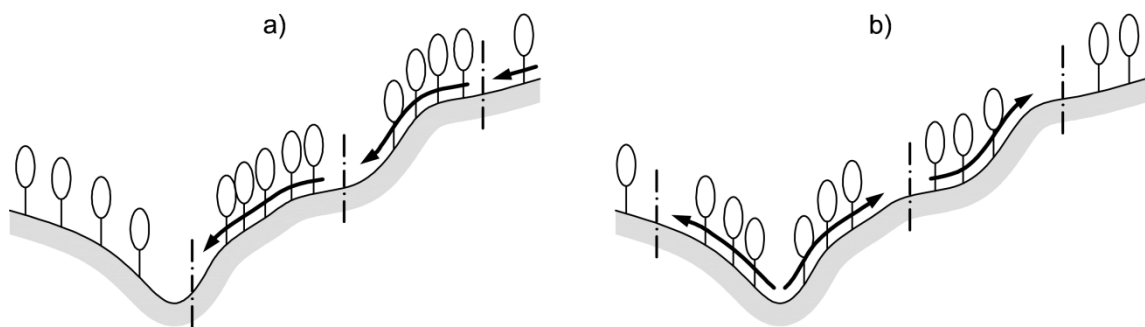
A völgyre hajló hegyoldalak feltárására tervezett elágazó utakat a főúttal azonos, vagy azzal ellentétes irányban vezethetjük:

- ha a főút feletti terület azonos irányban vezetett útjainak szállítási iránya megegyezik a fővonal szállítási irányával, akkor annak emelkedőjénél nagyobb tudunk csatlakozni;
- ha a főút feletti területen ellentétes irányba vezetnek az utak, azok emelkedő viszonyai kedvezően alakíthatók, csupán a csatlakozásoknál adódhatnak nehézségek;
- ha a főút alatti területek feltárását szolgáló utak szállítási iránya megegyezik a fővonal szállítási irányával, akkor az emelkedő viszonylag tág határok között változtatható. A csatlakozás kialakítása nem okoz nehézséget;
- ha a főút alatti terület feltárását szolgáló utak szállítási iránya nem egyezik meg a fővonal szállítási irányával, akkor a fővonal emelkedőjénél nagyobb emelkedővel érjük el azt, a csatlakozás pedig csak nehezen alakítható ki.



Leágazó utak a hegyoldal feltárására

Nem túl meredek hegyoldalokban, ha a faanyag közelítése lefelé történik, az állományokat az úttal alá fogjuk. Meredek hegyoldalokban, amikor csörlővel vagy kötélpályával felfelé mozgatójuk az anyagot, az utat a feltárandó állományrész felett vezetjük.



Út elhelyezése a közelítés irányától függően

Semleges vonal kitűzése a terepen

A térképeken felkeresett semleges vonalat a terepen is fel kell keresni és ki kell tűzni. A kitűzéshez szükséges a vezérpontok magasságának ismerete. Ezt szintvonalas térképről, digitális térképről vehetjük le, vagy GPS-el határozhatjuk meg.

Amikor semmiféle kiindulási adattal nem rendelkezünk, akkor egy feltételezett emelkedővel tűzzük ki a semleges vonalat, az emelkedőt biztonsággal kisebbre választva. Ekkor általában a vezérpont alá vagy fölé érünk ki. Az eltérés alapján az emelkedő értékét megváltoztatjuk vagy vonalfejesztéssel új vonalat tűzünk ki. Túl hosszú vonal esetében két oldalról kiindulva a középtájon jelentkező záróhiba szerint korrigáljuk a vonalat.

A semleges vonal felkereséséhez és kitűzéséhez az erdészeti útépítés gyakorlatában elsősorban a Boose-féle lejtűző keretet, illetve a Möller-féle vagy a Meridián zseblejtűzőt használjuk.

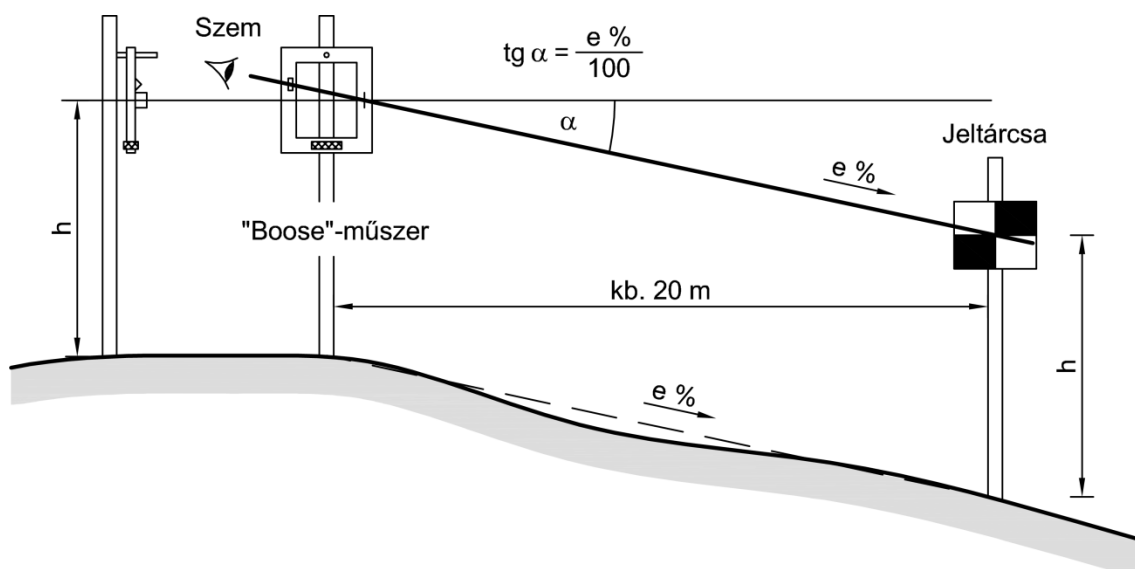
Ekkor is tekintettel kell lenni arra, hogy a tengelyvonal lerövidíti a semleges vonalat, és így a pálya emelkedője 10%-kal (szaggatott terepen 15-20%-kal) megnő. A lejtűző műszeren a pálya tervezett emelkedőjének csak 0,8-0,9-szerese állítható be.

Boose-féle lejtűző keret

A Boose-féle lejtűző keret egy rúdra fémtüskével felfüggesztett derékszögű fém keret, amelynek alsó rövidebb oldalát fém nehezékekkel teszik súlyosabbá. A két függőleges oldal egyikén a lejtő százalékának megfelelően állítható nóniuszos nézőke, a másik oldalon lószőrrel ellátott kihajtható irányzószál van (nézőke + irányzószál = dioptra). A nóniusz 0,1% pontosságú beállítást biztosít. A műszer tartozéka még egy vízszintes és függőleges vonallal négy részre osztott, piros-fehér színű tárcsa, amelynek vízszintes középvonala olyan magasságban van a rúdra rögzítve, mint a másik rúdon lógó fémkeret dioptrájának 0% pontra állított irányzóvonala.

A műszert használat előtt ellenőrizni kell:

- meg kell vizsgálni, hogy az irányzóvonal és a tárcsaközép egyenlő magasságban van-e. A vizsgálat a tárcsa és a műszer egymáshoz mérésével történik;
- megvizsgáljuk, hogy a nóniusz 0-ra állítása után az irányzó tengely vízszintes-e. A vizsgálat céljára kijelölünk két pontot. Ezután az egyik pontban felállunk a műszerrel, a másik pontban pedig a tárcsával, majd irányzás után leolvassuk a lejtés értékét. A műszer és a tárcsa helyet cserél és újra elvégezzük a mérést. A két eredménynek ellentétes előjellel egyezni kell. Ennek hiányában a helyesbítést az irányzószál keretének emelésével vagy süllyesztésével végezhetjük el, amelyre a keretet tartó két csavar szolgál;
- a beosztás pontosságát színtezéssel és hossz-méréssel megállapított lejtések megmérésével ellenőrizzük. Ezt a vizsgálatot csak a műszer első használatba vételekor kell elvégezni.



Boose-féle lejtűző keret

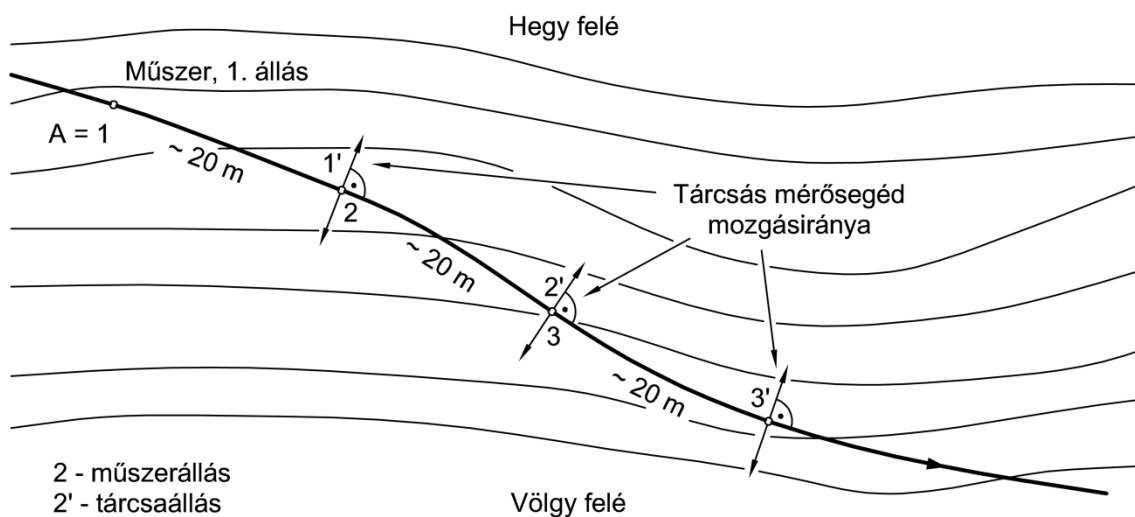
A lejtvonaltól a megadott %-ra beállított műszerrel úgy történik, hogy a 20-30 m távolságban álló, tárcsát tartó figuránst az esésvonalon mozgatva beintjük arra a helyre, ahol a tárcsa vízszintes vonala és a műszer irányzó vonala egybeesik. Ezután a műszerrel átállunk a tárcsa helyébe, a tárcsás figuránst előre megy és a műveletet tovább folytatjuk.

A kitűzött vonalat pontról pontra karókkal jelöljük meg. A vonal későbbi felkereshetőségének elősegítésére legalább 80-100 cm hosszú és 2,5 cm átmérőjű ágfa, vagy más célból készített karókat használunk. A karókról szükség szerint a kérget a felső 10 cm-en lehántjuk, hogy a lágyszárú növényzetből jól kilátszódnak. A lehántott rész egyik felét a felírás részére laposra faragjuk. A sorszámozást a haladás irányában végezzük. A karókon feltüntetjük a következő pont távolságát és az emelkedő-esés értékét. Jó, ha a karókat előre elkészítjük, mert így sok időt takaríthatunk meg. A helyszínen készített karók helyett jól használhatók az előregyártott karók. Ezek jól kiemelkednek a környezetből, ami a későbbi munkáknál előnyös lesz.

A felkeresett pontok átlagos távolsága 20-30 m legyen. A túl rövid irányzás pontatlan. Gyakran előfordul, hogy a túl sűrű fiataloson csak 8-10 m-es (esetleg rövidebb) irányzásokkal lehet áthaladni. Ilyenkor átérve a sűrű szakaszon, ki kell tisztítani egy ösvényt, amelyen a megfelelő pontosság elérése érdekében, a lejtvonaltól újra kitűzzük, most már 20-30 m-es irányzásokkal.

A pontok egymástól való távolságát mérőszalaggal lemérjük és grafikus jegyzőkönyvbe feljegyezzük. A hosszúság mellé írjuk a szakasz lejtését is. Ez azért szükséges, mert amikor a vonallal a kívánt pont alá vagy fölé érünk, a módosítás értékét az adatokból ki tudjuk számítani.

A pontos és jó vonalvezetésű semleges vonal rendszerint csak többszöri próbálkozással és módosítással tűzhető ki.

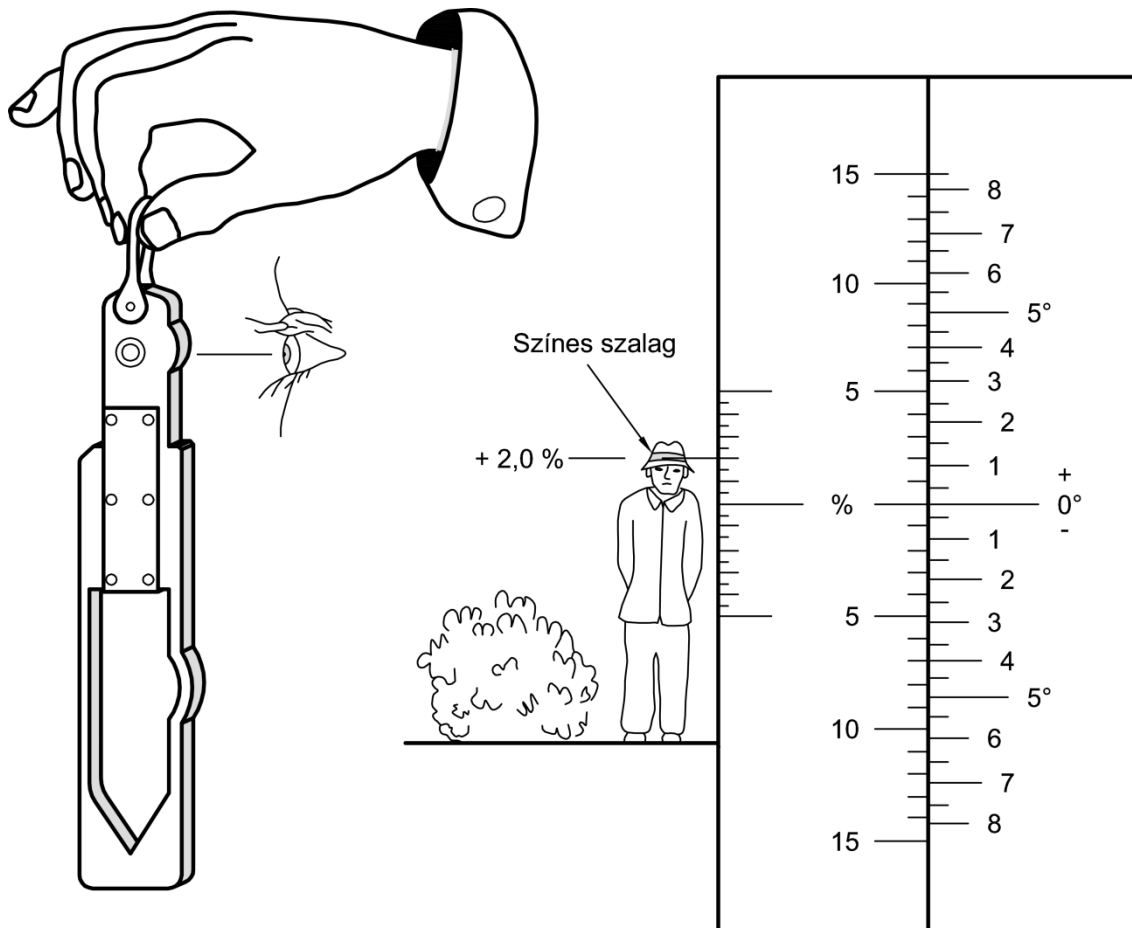


Semleges vonal kitűzése Boose-féle lejtűzővel

Möller féle és a Meridián- féle zseblejtűzők

A zseblejtűzők a Boose-féle lejtűző keret mellett a leginkább használt műszerek. Két ujj közé vagy botra függesztve használható. Saját súlyánál fogva függőlegesre áll be és ekkor a beépített üvegskálán mind a fok, mind a % beosztás leolvasható és megirányozható a tárcsa, vagy a figuráns (pl. kalapján) elhelyezett és előzőleg összemért jel. Az irányzást két szemmel együtt kell végezni. Egyik szemmel a skálát, másik szemmel a jelet nézzük, ami egy képpé áll össze a kolimátor elvnek megfelelően.

A műszer pontossága természetesen kisebb, mint a Boose-é, de hosszabb vonalon a hiba kiegyenlítődik. A műszer nagy előnye, hogy kis helyen elfér, könnyen kezelhető és az erdész számára szükséges egyéb lejtűmérésekre, sőt famagasság mérésre is használható. Gyakorlott kézben pontos munkát lehet vele végezni. A kitűzés menete a Boose-féle műszerrel végzett kitűzéshez hasonló.

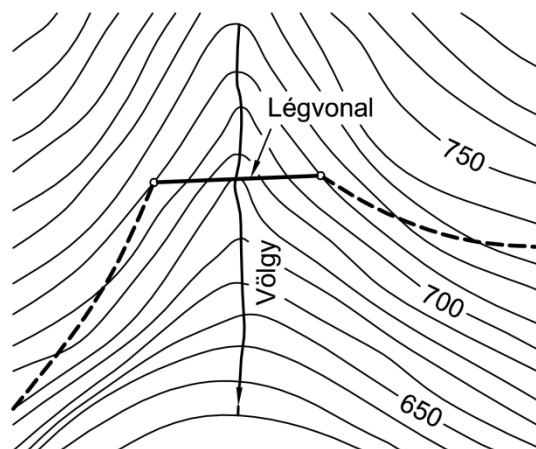


Möller-féle zseblejtűző

Semleges vonal terepi kitűzésének speciális esetei

Akár a térképen, akár a terepen nyomozzuk a semleges vonalat, ügyeljünk arra, hogy munkánk ne legyen mechanikus. Ne csak a szintvonalak vezessék a semleges vonalat és ezzel az úttengelyt, hanem a semleges vonal alakítása az út korábban meghatározott fő irányának megfelelően történjen.

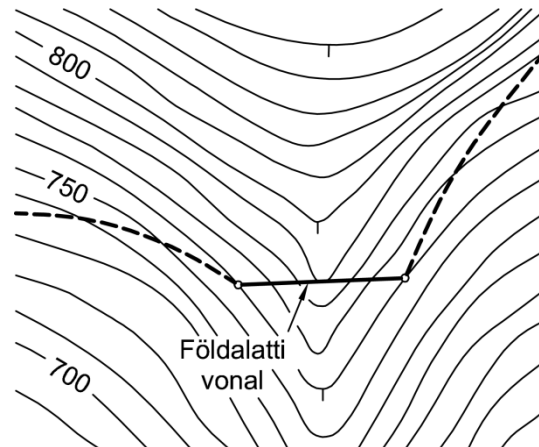
Amikor a völgyön áthidalást tervezünk, vagy a mellékvölgybe nem akarunk betérni, a semleges vonalat 0%-kal „átdobjuk” és légvonalat (töltést) tervezünk.



Semleges vonal légvonallal

Éles orom megkerülése helyett szintén átdobhatjuk 0%-al a lejtvonalat. Ekkor földalatti vonalat (bevágást) kapunk.

Átdobáskor a túloldalon mindig ugyanarról a magasságról indulunk tovább, mint ahonnan a vonalat átdobtuk.



Semleges vonal földalatti vonallal

NYOMJELZÉSI MÓDSZEREK

Az úttervezés nyomjelzési szakaszát az erdészeti úttervezés gyakorlatában az úttengely vízszintes értelmű megtervezésének, kitűzésének és bemérésének is nevezzük. A továbbiakban az erdészeti utak tervezésénél alkalmazott módszereket ismertetjük, amelyek jól használhatók más, kisebb tervezési sebességű utaknál is.

Tervezéssel összefüggő geodéziai mérések

A geodéziai mérések vízszintes és magassági mérések lehetnek, valamint ide soroljuk a pontok állandósításának feladatát is. A mérések közben a megengedett hibahatárokat be kell tartani.

Vízszintes mérések

A kitűzött sokszögvonal bemérése a földmérés szabályai szerint történik.

Az oldalhosszakat mérőállomással mérjük, de megengedett a mérőszalag használata is.

Mérőszalag használatakor 10% lejtésig a mérés a terepre fektetett szalaggal történhet.

A távolságot oda-vissza meg kell mérni. Kiszállítóutaknál a mérést elég csak egyszer elvégezni, és a hosszat a szelvényezésnél ellenőrizni.

A hosszmérés megengedett hibája:

$$\Delta H_m \leq \frac{H}{1000}$$

ahol:

- ΔH_m = megengedett záróhiba (m),
- H = mért oldalhossz (m).

Amikor a tervezést koordinátarendszerben végezzük, a ferde távolságot a magassági szög ismeretében vízszintesre kell redukálni.

A szögmérést legalább 20" mérési határértékű teodolittal (busszola-teodolit, redukáló tachiméter, mérőállomás) kell végezni, rendes és áthajtott távcsővel. Mindig a haladás irányának megfelelő baloldali közbezárt szöget kell mérni.

Ha nem mérőállomást használunk, akkor a mérési eredményeket jegyzőkönyvben kell rögzíteni. Minden esetben célszerű vázrajzot készíteni. Mérőállomás használata közben szöveges megjegyzéseket célszerű rögzíteni.

A sokszögvonala derékszögű összerendezőkkel vagy poláris koordinátákkal fel kell venni az útvonalhoz közel eső létesítményeket (távvezeték oszlopok, határ-oszlopok, épületek, mérési alappontok stb.).

Fokozott gondossággal kell a sokszögvonalat bemérni akkor, amikor az egész úttervezés és kitűzés erre a sokszögvonala támaszkodva, koordinátarendszerben történik.

Magassági mérések

Amikor a szintezési alappont az úttól olyan távol van, hogy bekapcsolása az egy mérnöknapot nem haladja meg, akkor a mérést be kell kötni az országos szintezési hálózatba. Az egy mérnöknapot meghaladó távolság (5 km) esetén ettől eltekinthetünk. Ilyen esetben a szintezés kiinduló magassági értékét GPS méréssel határozzuk meg, vagy helyi rendszert használunk és szintvonalas térképről határozzuk meg, esetleg tetszőlegesen vesszük fel. A helyi rendszerben a kezdő magasságot úgy célszerű meghatározni, hogy az a területre jellemző magassági értéktől jelentősen eltérjen.

A szintezés megkezdése előtt megfelelő számú szintezési alappontot kell elhelyezni olyan helyeken, ahol azokat a földmunka nem fogja megsemmisíteni. Alappontnak a magasságát nem változtató, szilárdan helyén maradó tárgy kiálló részét jelölhetjük ki (sziklatömb teteje, határkő teteje stb.) A szintezési alappontokat MP-vel jelöljük és sorszámmal látjuk el (pl.: MP 3.).

Szintezési alappontot kell elhelyezni:

- az 1,00 m nyílásnál nagyobb vízátvezető műtárgyaknál;
- a támfalak és bélésfalak tövében;
- az 5 m-nél nagyobb mérőjegű földmű közelében;
- minden esetben kilométerenként 2 db-ot.

Ahol a sokszögpont alkalmas helyen van, ott az szintezési alappontként is felhasználható.

A szintezési alappontokat a sokszögvonala támaszkodva fel kell mérni, a helyszínrajzon fel kell tüntetni és a műszaki leírásban fel kell sorolni, megadva a pontok leírásait és magasságait.

A szintezést a geodézia szabályai szerint kell elvégezni. A vonalat oda-vissza kell szintezni. Ettől csak akkor lehet eltekinteni, ha a szintezés országos magassági alapontról indul és egy másik ilyen pontba érkezik. Visszaszintezésnél elegendő csak a kötő- (ugró-) pontokat beszintezni.

Egy nap lehetőleg olyan távolságot vegyünk munkába, aminek még aznap a visszaszintezését is el tudjuk végezni, így az esetleges hibák másnap kijavíthatók.

A mérési adatokat szintezési jegyzőkönyvbe jegyezzük be.

A megengedett záróhiba:

$$\Delta M_m = 20 \cdot \sqrt{L}$$

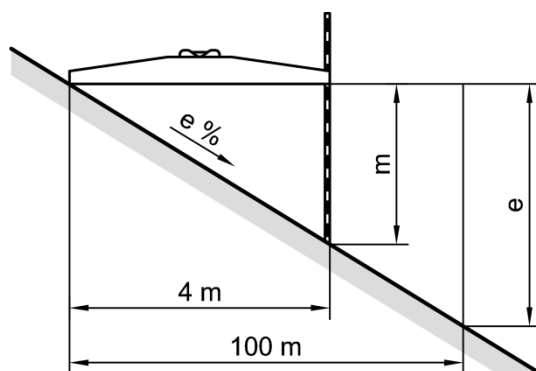
ahol:

- ΔM_m = megengedett záróhiba (mm),
- L = mért vízszintes hossz (km).

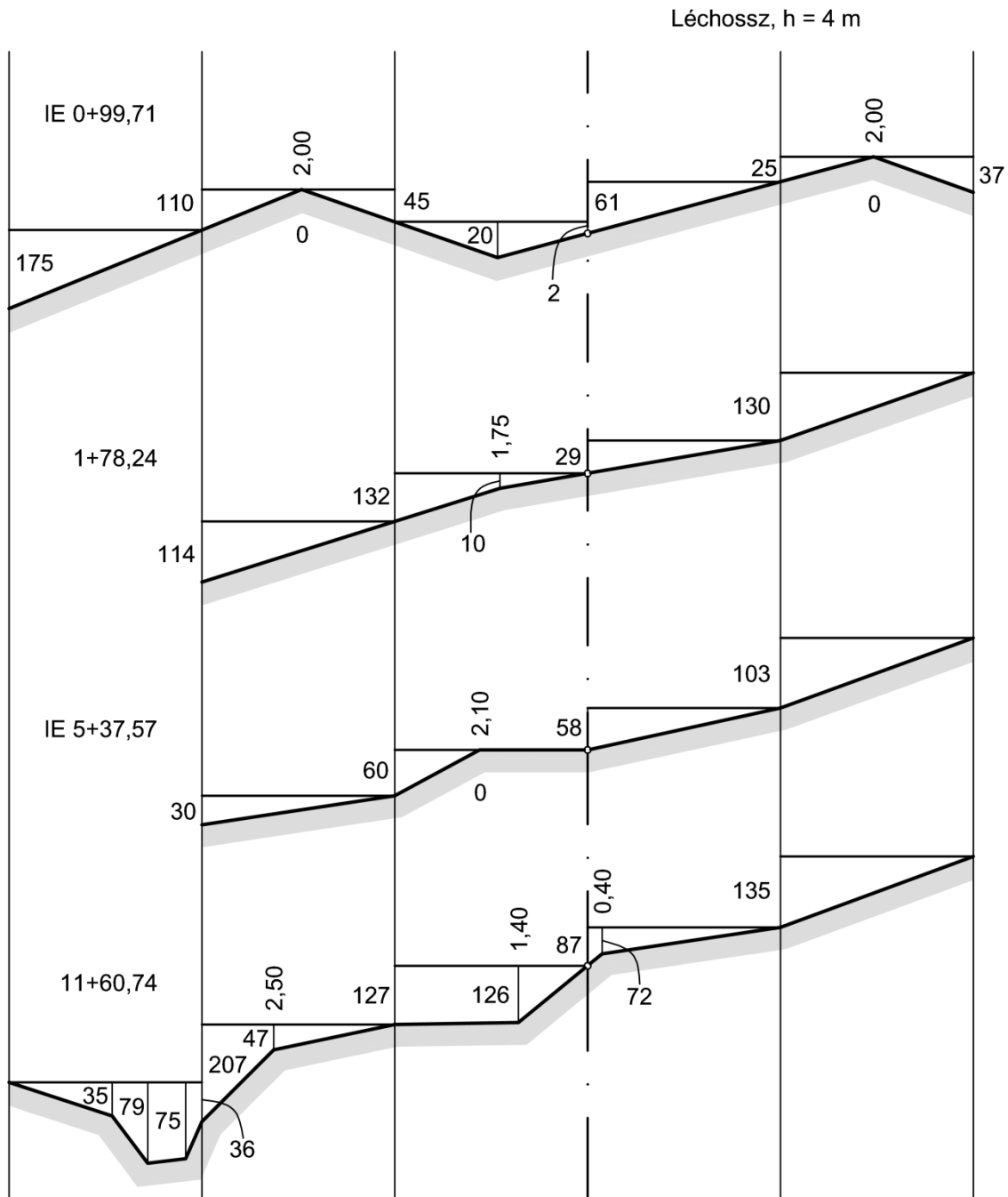
Keresztszelvények terepvonalának felvétele

Minden beszelvényezett tengelypontban a terepről keresztmetszvényeket kell felvenni a tengelyre merőleges irányban. Jól átlátható állomány- és terepviszonyok között a semleges vonal és a tereppontok bemérését mérőállomással végezhetjük. A geodéziai számítások elvégzése után kapott három koordinátás pontokból egy megfelelő úttervező szoftver segítségével digitális domborzatmodell generálható. Ennek felhasználásával a számítógépes program a megtervezett helyszínrajzi tengely fő- és részletpontjaiban előállítja keresztmetszvények terepvonalát.

Hagyományos tervezésnél, de sűrű cserjeszinttel rendelkező állományban számítógépes tervezés esetén is, a keresztmetszvényeket libellás léccel célszerű felmérni. A libellás léccel lépcsős mérést végzünk és grafikus jegyzőkönyvet készítünk.



Libellás léccel



Keresztszelvény-felvételi jegyzőkönyv

A keresztmetszvények bemért hossza olyan legyen, hogy rajta a földmű elérjen és biztosítson lehetőséget az úttal kapcsolatos egyéb létesítmények megtervezésére is. (Pl.: szivárgó rendszer, anyagárok, övárók stb.)

A keresztmetszvények terepvonalát a földmű és műtárgyak megtervezéséhez, az útpászta szélességének meghatározásához valamint a földtömeg kiszámításához fogjuk felhasználni.

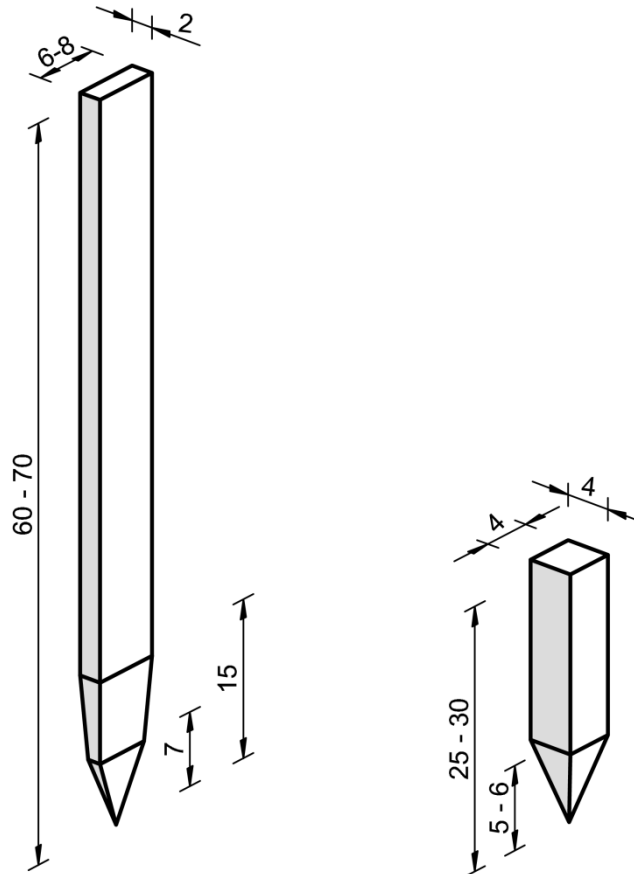
Mérési pontok állandósítása

A kitűzött pontokat a célnak megfelelően kialakított cövekekkel állandósítani kell. Ezt a munkát a mérés előtt (pl.: sokszögpontok), vagy közben (pl.: szelvénypontok kitűzése) kell elvégezni. A pont helyét a cövek jelöli, a pont felkereshetőségét és azonosítását az íráskaró biztosítja.

Az állandósításhoz használt cövek és karók mérete:

- sokszögpont cövek: 40 cm hosszú, 5x5 cm négyzet szelvényű;
- szelvénypont cövek: 25-30 cm hosszú, 4x4 cm négyzet szelvényű;
- íráskaró: 60-70 cm hosszú 2x6-8 cm téglalap szelvényű.

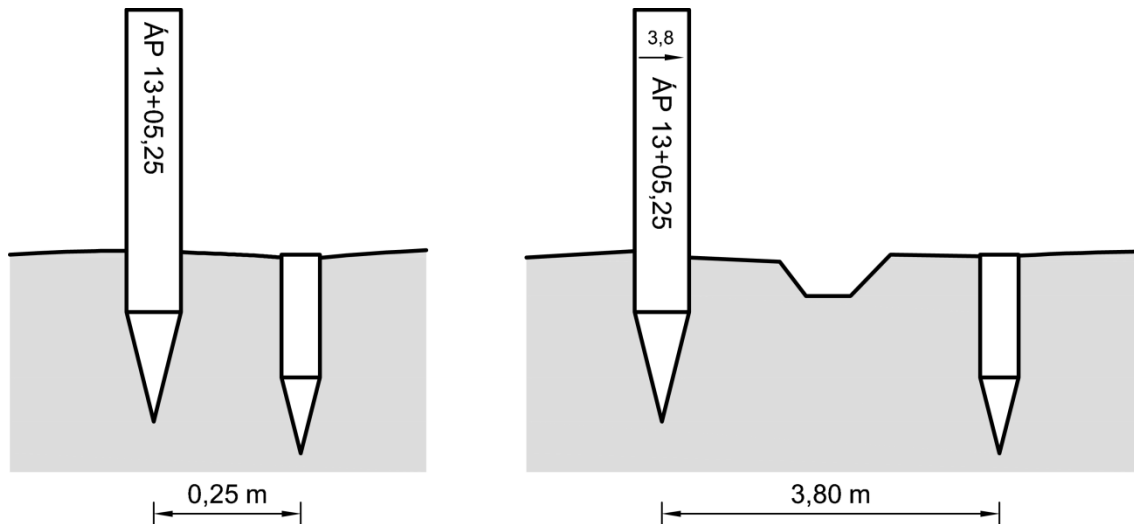
A karókat egyik végükön ki kell hegyezni, másik végükön merőlegesen le kell fűrészelni. Anyaga keményfa legyen. Az íráskaró egyik oldalát célszerű meggyalulni.



Kitűzéshez használt cövek és karó

Állandósítások elhelyezése:

- sokszögpont cöveket a sokszögvonal bemérése előtt kell elhelyezni. A központosítás érdekében a cövek felső lapjának középpontját célszerű rögzíteni (pl.: apró szeg beverésével). A megírt íráskarót a szögfelező irányába a haladási irány szerinti bal oldalon 25 cm távolságra helyezzük el;
- a szelvénypontok állandósítását kitűzés közben végezzük. A szelvénycöveket mindig talajszintig kell leütni, mert ez jelenti később a terepszint magasságát (szintezéskor erre kell a szintezőléccel felállni). Az íráskarót az előbbieknél megfelelően kell elhelyezni;
- amennyiben az íráskarót nem tudjuk szabályosan elhelyezni, akkor azon a cövek irányát és távolságát jelezni kell.



Íraskaró elhelyezése

Tervezéssel összefüggő vizsgálatok és adatok

Talajmechanikai vizsgálatok és a helyi építési anyagok minősítése, szakvélemények

A talajmechanikai vizsgálat mértékét úgy kell meghatározni, hogy a földmű, a műtárgyak és a pályaszerkezet gazdaságos megtervezéséhez szükséges talajfizikai jellemzőket kellő részletességgel tárgyalja. A vizsgálatokat ki kell terjeszteni a fellelhető helyi építési anyagokra, és azok minősítését el kell végezni. Felhasználásuk az építési költségek jelentős csökkentését eredményezheti.

Beépítési és tulajdoni viszonyok

A tervezett út nyomvonalába eső ingatlanok tulajdonviszonyairól előzetesen tájékozódni kell. Szükség esetén, igénybevételek előtt egyszerűsített, majd az építés befejezése után végleges kisajátítási terv szükséges.

Az útépítéssel érintett területekről az igénybevételt megelőzően terület igénybevétele (terület kimutatási) tervet kell készíteni. Az építető az építést csak akkor kezdheti meg, ha a terület feletti rendelkezési jogot megszerezte.

Az ingatlan nyilvántartási bejegyzést az építés befejezését követően, a megvalósult állapotnak megfelelő megvalósulási terv alapján kell véglegesíteni.

Közmű adatok

A tervezési területet érintő közművek helyzetéről, keresztezésük, esetleges csatlakoztatásuk lehetőségeiről az illetékes üzemeltetőknél és önkormányzatoknál, valamint a különböző rendezési tervekben kell tájékozódni. Az építési engedélyhez a szakhatóságok írásbeli engedélyének beszerzése szükséges, amelyek egyben tartalmazzák a keresztezés és megközelítés műszaki feltételeit is. A közműadatok pontos és teljes körű beszerzése, az egyeztetések lefolytatása az építés közben adódó kellemetlen esetek (pl.: kábel átvágása, víz nyomóvezeték szétvágása stb.) kerülhetők el, amelyeknek büntetőjogi és kártérítési következményei is lehetnek.

Út és vasúti keresztezések adatai

Az érintett közutak és vasutak keresztezésének kialakítására, forgalmára vonatkozó adatokat az illetékes üzemeltetőtől szükséges beszerezni.

Alaptérképek

A tervezéshez felhasználhatók 1:10.000 méretarányú térképek, (1:2.880, 1:4000 kataszteri helyszínrajzok), a rendelkezésre álló, vagy a tervezés közben felmért, 1:4000 és 1:1000, 1:500 méretarányú, nyomtatott, vagy digitális alaptérképek, amelyek beszerzéséről a tervezés megkezdése előtt már gondoskodni kell.

Természetvédelmi előírások és korlátok felderítése

A természetvédelem és környezetvédelem szempontjából értékes és fontos területekről, élőhelyekről, fajokról akkor is össze kell gyűjteni az ismereteket, ha környezeti hatástanulmány készítésére nincs szükség. A műszaki tervezés megkezdése előtt tájékozódni kell a környezeti hatástanulmány készítésének kötelezettségéről.

Sík vidéki útvonal nyomjelzési terepmunkái és mérései

A sík vidéken végzett úttervezés sajátossága, hogy alig fordulnak elő terepnehézségek és ezért az emelkedőviszonyok betartása nem okoz gondot. Semleges vonalra nincs szükség. Az erdőfeltárási alaptervben, vagy egy előzetes műszaki tanulmányban kidolgozott és elfogadott vonalvezetést a térképen meglévő és a terepen fellelhető létesítményektől, határjelektől és vonalaktól felmért távolságok segítségével átvisszük a terepre. Az átvitt pontok segítségével kitűzzük a sokszögvonalat, majd elvégezzük a tengelyvonal megtervezését és bemérését. A munka történhet egy ütemben vagy két ütemben.

Együtemű tengelytervezés és kitűzés

Sík vidéken, egyszerűen belátható terepen, ahol a tengelyvonal futása már a terepi felvételkor eldönthető (pl.: nyíladék közepére tervezett tengely) a tengely tervezését és kitűzését egy ütemben is elvégezhetjük.

A tervezést a munkák következő sorrendjében végezzük:

- tengelykitűzés,
- szelvényezés (stacionálás),
- hossz-szelvény szintezés,
- kereszt-szelvények felvétele,
- műtárgyak, csomópontok és egyéb létesítmények bemérése,
- talajmechanikai vonalas feltárások elvégzése,
- egyéb terepi munkák.

Tengelykitűzés

A tengelyvonal kitűzése ebben az esetben a sokszögvonala elhelyezésével kezdődik. Az egyéb szempontok figyelembevételével mellett arra kell törekedni, hogy a sokszögvonala egyes szakaszai egyben az út egyenes szakaszai is legyenek. Az ilyen sokszögmenetet tengely-sokszögmenetnek nevezzük. A tengely-sokszögmenet sokszögoldalai egyben az ívek főérintői is, ami az ívkitűzés szempontjából előnyös, mert a kitűzési adatokat közvetlenül akár a terepen is számítani lehet.

A sokszögvonala tervezésekor a korábban említett tervek mellékletét képező térképről levett adatok alapján a sokszögoldal közelítőleg kitűzzük, majd a terepen szükség szerint pontosítjuk. Térkép hiányában a terület alapos bejárása közben tűzzük ki a sokszögoldal közbenső pontjait, amelyeket a körülmények figyelembevételével egy egyenesbe rendezünk. Az egymást követő egyeneseket

metszésbe hozva kapjuk a sokszögpontokat. Ezt a munkát rövid sokszögoldalok mellett szabad szemmel elvégezhetjük, hosszabb oldalak kitűzéséhez azonban célszerű távcsövet, teodolitot, vagy mérőállomást használni. A sokszögpontokat állandósítjuk, majd S jellel és sorszámmal látjuk el.

A sokszögvonalat bemérjük (baloldali közbezárt szög, oldalhossz).

A tengelyvonalon először az ív főpontokat, majd az ív részletpontokat tűzzük ki. A kitűzési adatokat a helyszínen is kiszámíthatjuk, ha ismerjük az ív középponti szögét, az ívsugár nagyságát és az átmeneti ív szükséges hosszát.

Az α középponti szög a bal oldali ω közbezárt szögből számítható:

$$\alpha = \omega - 180^\circ, \quad \text{illetve} \quad \alpha = 180^\circ - \omega$$

A sokszögponthoz kerülő ívközép célszerű helyét a terepen hozzávetőlegesen felvesszük és megmérjük a szögfelező irányában a t tetőponti távolságot. A körív R sugara az ismert összefüggéssel számítható. Körívnél:

$$R = \frac{t}{\sec \frac{\alpha}{2} - 1}$$

Átmeneti íves körívnél:

$$R = \frac{t - \Delta R}{\sec \frac{\alpha}{2} - 1} - \Delta R$$

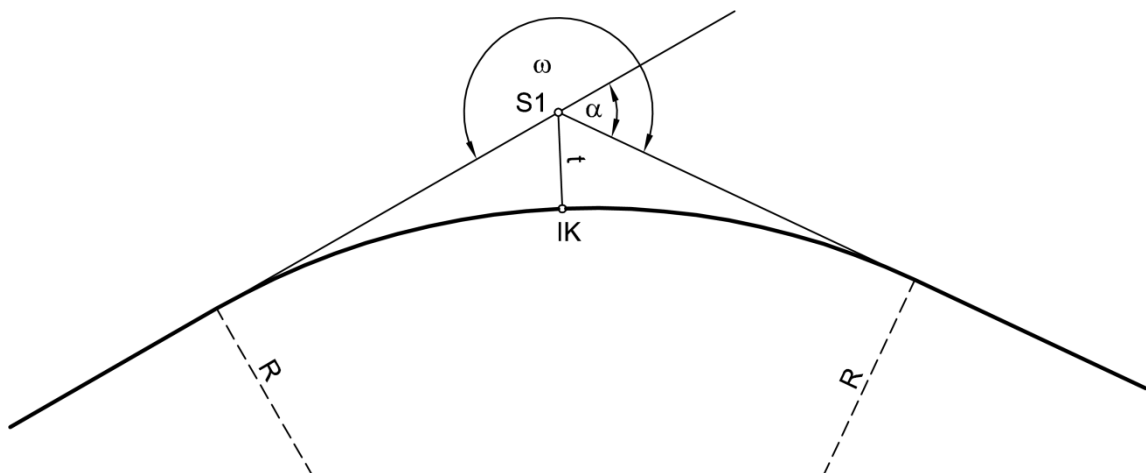
A számításban $\Delta R = 1,50$ m értékkel számolhatunk.

A kapott értéket kerekítjük és megvizsgáljuk, hogy a tervezési előírások követelményeinek megfelelő-e. Nagyon fontos, hogy $R \geq R_{min}$ legyen.

Az átmeneti ív hosszát az előzőekben ismertetett szempontok szerint vesszük fel. Követelmény, hogy a választott paraméterű átmeneti ív hossza a minimális átmeneti ívhossznál kisebb ne legyen.

A meghatározott adatok alapján az ív főpontok és ív részletpontok kitűzési adatai már számíthatók és a kitűzés elvégezhető. A pontokat állandósítjuk.

Az ív főpontok kitűzése után szemrevételezéssel felülvizsgáljuk a vonalvezetést és ha szükséges – akár a sokszögoldal áthelyezésével is – módosítjuk.



Középponti szög és ívsugár számítása

Szelvényezés (stacionálás)

A szelvényezés folyamán kijelöljük, kitűzzük, állandósítjuk és vízszintes értelemben bemérjük azokat a jellemző tengelyvonal pontokat, amelyek a vízszintes vonalvezetés rögzítéséhez, valamint az építési terv elkészítéséhez szükségesek és meghatározzuk, hogy ezek a tengelyvonal pontok az út kezdőpontjától milyen távolságra vannak. A kezdőponttól mért tengelyvonal hossz a szelvényezési érték, az un. szelvényszám.

Hossz-szelvény szintezése

A szintezés megkezdése előtt elhelyezzük a magassági alappontokat. A kezdő magassági alappontból kiindulva minden tengelyvonal pontot jelölő cöveket be kell szintezni. A mérést a korábban leírt szabályok szerint kell elvégezni. A szintezéssel nyert terepmagasságokból lehet a hossz-szelvény terepvonalát megszerkeszteni.

Keresztszelvények felvétele

Minden beszelvevényezett tengelypontban a tengelyvonalra merőlegesen az előző fejezetben leírtak szerint, keresztszelvény felvételt kell készíteni.

Műtárgyak helyének bemérése

A 0,60 m és ennél kisebb nyílású áteresztők helyén, a már beszelvevényezett pontban hosszabb keresztszelvény terepvonalat kell felvenni. Ha az áteresztő tengelye nem merőleges az úttengelyre, akkor a törésszöget meg kell mérni és a csőáteresztő irányában is a terepvonalat fel kell mérni. A 0,61 - 3,00 m nyílású áteresztőknél az előbb említettekén kívül fel kell venni a csatlakozó medret, vízszintes és magassági értelemben is.

A 3,00 m-t meghaladó műtárgyak helyét és környékét olyan részletességgel mérjük fel, hogy az adatokból részletes szintvonalas térképet lehessen szerkeszteni, vagy digitális terepmodellt generálni a műtárgy elhelyezéséhez.

A rakodók és egyéb létesítmények helyét szintvonalas helyszínrajz vagy digitális terepmodell készítésének megfelelő részletességgel mérjük fel.

A közúti csomópontoknál a közutat a csatlakozás előtt és után mintegy 30-50 m, összesen tehát 60-100 m hosszon vízszintes és magassági értelemben a közút szelvevényezésének megfelelő irányban (pl.: jobb és bal oldal értelmezése) fel kell mérni. Fontos, hogy a közút vízvezetésének megoldása egyértelmű legyen.

Be kell mérni az egyéb keresztezéseket is a keresztezési szög nagyságával együtt (elektromos távvezeték, vasút, gázvezeték, hírközlési kábelek stb.). Ezek helyének és helyzetének pontos felmérése a későbbi komoly vitáktól mentesíti a tervezőt.

Talajmechanikai vonalas feltárás

A talajfeltárást a talajmechanikai, talajtani ismeretek szerint kell elvégezni. Általában a tengelyvonalon 200-250 m távolságban kell talajfeltárást végezni fúrással, vagy kutatógödrök ásásával. Ha a talajrétegezethez erősen változik, a távolságot 50-100 m-re kell csökkenteni. A

vízmozgás és a talajrétegek megállapítására – szükség esetén – az úttengelyre merőlegesen is kell fúrásokat végezni.

Egyéb terepi munkák

Az általános geológiai vizsgálatoknak ki kell térni az építési terület kőzettani áttekintésére, az anyakőzet megállapítására és a rétegek elhelyezkedésére oly mértékig, ameddig ezek a vonalvezetésre és az út állékonyságára hatással vannak.

Amennyiben a beépítésre szánt helyi anyag minőségével, állékonyságával kapcsolatban kétségeink merülnek fel, szükséges az anyagokból mintát venni és megvizsgáltatni.

A hidrológiai vizsgálatoknak ki kell terjedni a mértékadó csapadék és a lefolyási viszonyok megállapítására, valamint a vízgyűjtő jellemzőinek megismerésére. Ezekre az adatokra a 0,60 m-nél nagyobb nyílású áteresztők és hidak átfolyási nyílásának hidraulikai méretezésénél lesz szükség.

A talajok fejtési osztályát a talajmechanikai szakvélemény tartalmazza. Ennek hiányában próbafejtéseket kell végezni és a talajokat fejtési osztályba kell sorolni a várható bevágások mélységéig.

Részletes kétütemű tervezés és kitűzés

A digitális geodéziai műszerek megjelenése és az úttervező programok elterjedése miatt a koordinátarendszerben történő tervezés vált általánossá. A mérőállomások elterjedésével a terepi adatfelvétel gyorsabbá és egyszerűbbé vált, ezért az út környezetében sokkal több pont bemérésére és a mérési adatok feldolgozására van lehetőségünk, mint korábban volt. A digitális terepmodellen és térképen egy úttervező programmal a tervezést gyorsan és látványosan lehet elvégezni.

Sokszögvonala kitűzése és bemérése (első ütem)

A sokszög vonala ebben az esetben egy általános sokszögvonala, amely az út tengelyvonalának közvetlen közelében fut, olyan távolságra, hogy a tengely kitűzése erről egyszerűen megoldható legyen. A sokszögvonala bemérésével együtt felvesszük az összes olyan pontot, amely a tengelyvonal futását befolyásolja (pl.: nyíladék széle), illetve amelyek a digitális terepmodell generálásához szükségesek.

Tengelyvonal tervezése

A terepi felmérés adataira támaszkodva hagyományos, vagy digitális térképet készítünk, majd erre támaszkodva folytatjuk a tervezést:

- kijelöljük a tengelyvonal egyenes szakaszait, amelyek meghosszabbításával létrehozzuk a tengely-sokszögvonala (hagyományos térképen grafikusán, digitális térképen a program segítségével);
- beillesztjük az íveket (hagyományos térképen grafikusán, digitális térképen a program segítségével);
- kiszámítjuk a kitűzési adatokat, amelyek vonatkozhatnak a tengely-sokszögvonala, vagy az általános helyzetű kísérő sokszögvonala;
- meghatározzuk a kitűzendő pontok szelvényezési értékeit.

Tengelyvonal kitűzése (második ütem)

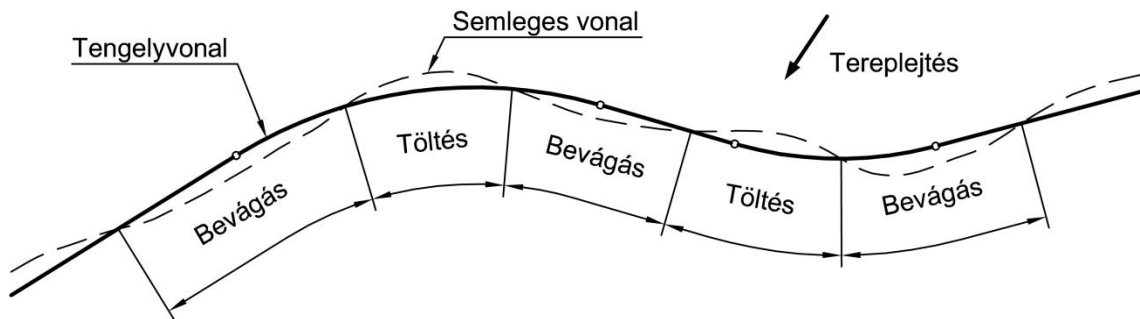
A tengelyvonal kitűzésére két lehetőségünk van:

- az általános tengelyvonalról derékszögű összrendezővel, vagy poláris koordinátákkal;
- kitűzhetők a pontok a tengelyvonal-sokszögmenetről is, de ekkor először ennek sarokpontjait kell kitűzni az általános sokszögmenetről. Az így rögzített tengely-sokszögvonallról már az előzőkhöz hasonlóan elvégezhető a kitűzés.

Domb- és hegyvidéki útvonal nyomjelzési terepmunkái és mérései

A domb- és hegyvidéki erdészeti utak tervezését a semleges vonalra támaszkodva végezzük. A tengely tervezéskor a semleges vonalat hozzá simuló egyenesekkel, körívvel és átmeneti ívekkel közelítjük, helyettesítjük. Így alakul ki a tengelyvonal. A tengelyvonalnak annál jobban kell a semleges vonalhoz simulni, minél alacsonyabb a kiépítés színvonala, illetve minél magasabb akadályoztatási fokú útról van szó.

A tengelyvonal eltérése a semleges vonaltól töltést, illetve bevágást eredményez. Amikor a tengelyvonal a hegy irányába tér el, akkor bevágás, ha a völgy felé, akkor töltés alakul ki majd a pályatengelyben.

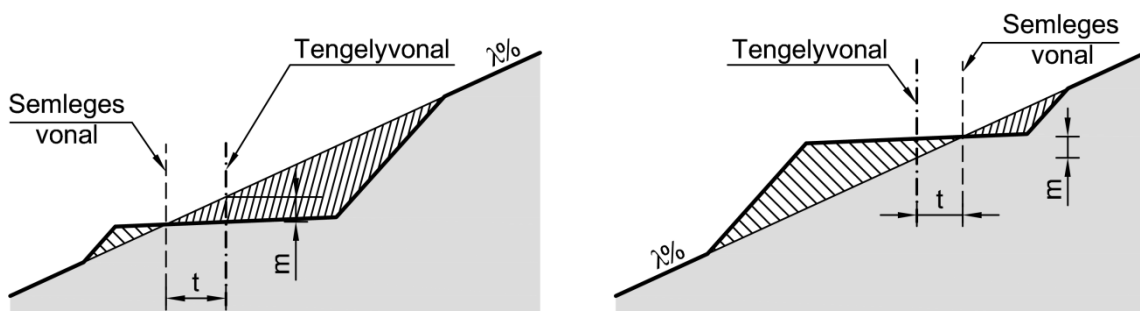


Tengelyvonal eltérése a semleges vonaltól

A semleges vonal és a tengelyvonal egymástól való t távolságában a $\lambda\%$ terephajlás ismeretében a töltés, illetve a bevágás nagysága m számítható:

$$m = t \cdot \frac{\lambda\%}{100}$$

A bevágások és töltések ismeretében megítélhetjük a földmozgatás mértékét, illetve a pályatengely befektetésének helyességét. Az azonos időben dolgozó interaktív programok a tervezésnek már ebben a korai szakaszában elemzésekre adnak lehetőséget.



Töltés, illetve bevágás várható nagysága

Együtemű, közvetlen tengelykitűzéssel dolgozó nyomjelzési módszer

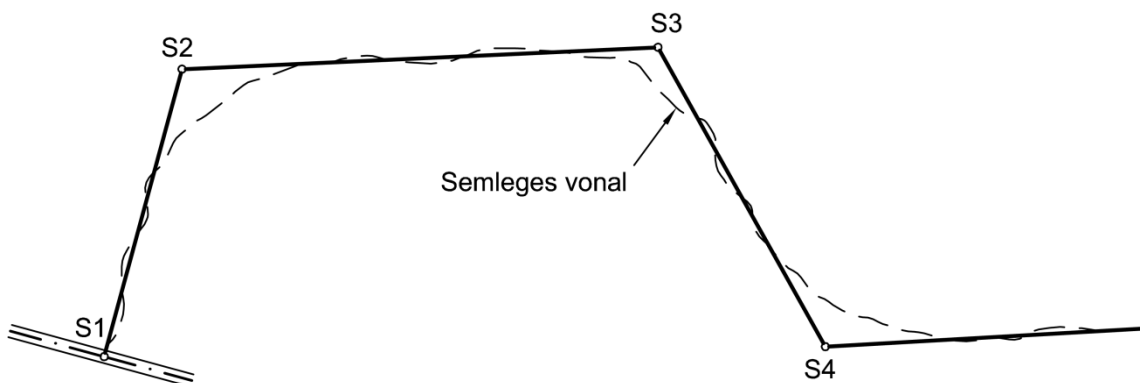
Viszonylag könnyű, áttekinthető, nyugodt terepen alkalmazható. Minden jellemző megválasztását és a kitűzési adatok kiszámítását a terepen végezzük. Ezt követően kitűzzük az úttengelyt és elvégezzük

a méréseket, valamint vizsgálatokat. Annak ellenére, hogy a tervező a terepet ennél a módszernél ismeri meg legjobban, ma már általában nem használják.

A tervezés lépései:

- tengelykitűzés
 - semleges vonal kitűzése a terepen,
 - sokszögvonala kitűzése és bemérése a terepen,
 - ívsugarak, átmeneti ívek meghatározása, kitűzési adatok számítása a terepen, szelvényezés,
 - úttengely kitűzése;
- szelvényezés;
- hossz-szelvény szintezés;
- kereszt-szelvények felvétele;
- műtárgyak helyének, csomópontok és egyéb létesítmények felmérése;
- talajmechanikai vonalas talajfeltárás elvégzése;
- egyéb terepi munkák.

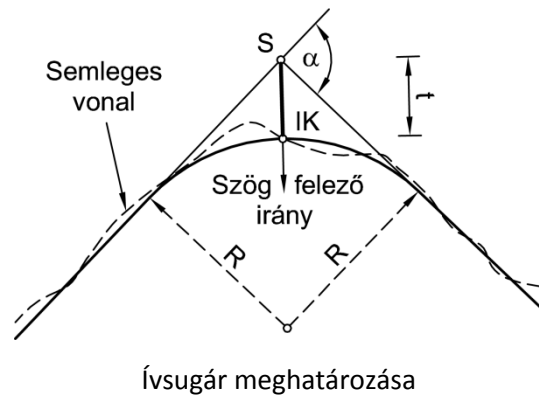
A semleges vonal kitűzése után az ehhez jól simuló sokszögvonalt úgy kell kitűzni, hogy az egyben a tengelyvonala-sokszögmenete is legyen. Ezt a munkát nagy gondossággal kell a terepen végezni, mert később nincs lehetőség arra, hogy kitűzés előtt, vagy közben a sokszögvonala helyzetét felülvizsgáljuk és javítsuk.



Simuló sokszögvonala befektetésének elve

Ívsugarak, átmeneti ívek meghatározása, kitűzési adatok számítása a terepen, szelvényezés

Az ívsugár megállapításához a terepen megmérjük az ívközéphez tartozó tetőponti távolságot. Az *IK* helyét úgy választjuk ki, hogy az ív jól simuljon a semleges vonalhoz. A sugár nagysága a tetőponti távolság képletéből számolható. A kitűzési adatokat a főérintőre (tengely-sokszögvonala) vonatkoztatva számítjuk.



Úttengely kitűzése

Az úttengely kitűzését a főpontok kitűzésével kezdjük és minden esetben gondos hosszméréssel ellenőrizzük az ívek közötti egyenesek hosszát. Amennyiben ez a váz nem hordoz hibát, akkor célszerű a részletpontok kitűzését folytatni.

Semleges vonal térképészeti készítésén alapuló nyomjelzési módszer

Olyan terepen alkalmazzuk, ahol nehéz a semleges vonal alakulását követni és emiatt a tengelyvonalat megtervezni. Nagyon előnyös módszer akkor is, amikor úttervező programmal végezhetjük a tervezést.

A terepen kitűzzük a semleges vonalat, majd a semleges vonalhoz jól simuló sokszögvonalat. A kitűzés után a sokszögvonalat bemérjük, majd a semleges vonal pontjait derékszögű összrendezővel, vagy poláris koordinátákkal a sokszögvonatra támaszkodva bemérjük. Az így bemért sokszögvonalat a semleges vonallal együtt irodában hagyományos módon felhordjuk. Ez lesz a semleges vonal térképészeti vázlat. A semleges vonal térképészeti vázlat segítségével megtervezük a tengelyvonalat és kiszámítjuk a kitűzési adatokat.

Amennyiben úttervező programmal rendelkezünk, akkor nincs szükség a simuló sokszögvonala kitűzésére, csak azt kell biztosítani, hogy a sokszögpontokból a semleges vonal pontjai láthatók és irányozhatók legyenek. Az így kapott kísérő sokszögvonala pontjaiból, a számítógépes program által kiszámított koordináták felhasználásával, mérőállomást használva a helyszínrajzi fő- és részletpontok kitűzhetők.

Nehezen átlátható állomány- és terepviszonyok között általános sokszögvonala alkalmazva, hagyományos tervezés esetén először a tengelyvonal sokszög sarokpontjainak kitűzési koordinátáit kell meghatározni az általános sokszögvonala. Ezt kitűzve létrejön a tengely-sokszög, amiről a kitűzés elvégezhető.

A munka menete:

- tengelykitűzés, első ütem:
 - semleges vonal kitűzése a terepen,
 - sokszögvonala kitűzése és bemérése,
 - semleges vonal pontok bemérése a sokszögvonala, derékszögű összrendezővel, vagy poláris koordinátákkal;
- belső feldolgozás:

- sokszögvonala és semleges vonal felhordása, térképvázlat készítése,
- kitézési sokszögvonala választása (általános sokszögvonala vagy tengely-sokszögvonala),
- tengelyvonala tervezése: ívsugarak, átmeneti ívek megválasztása,
- kitézési adatok és szelvényezés számítása;
- tengelykitézés, második ütem:
 - (tengely-sokszögmenet sarokpontjainak kitézése az alap sokszögmenetről),
 - tengelyvonala kitézése;
- szelvényezés,
- hossz-szelvény szintezés,
- kereszt-szelvények felvétele,
- műtárgyhelyek, csomópontok és egyéb létesítmények bemérése,
- talajmechanikai vonalas talajfeltárás elvégzése,
- egyéb terepi munkák.

Tengelyvonala tervezése (ívsugarak, átmeneti ívek megválasztása)

Úgy a hagyományos, mint a számítógépes úttervezéskor először a tengelyvonala egyenes szakaszait, majd az ívsugarakat, átmeneti ívek adatait határozzuk meg.

A semleges vonalhoz simuló, rögzített egyenesek alkotják a főérintőket, amelyekhez és a semleges vonalhoz legjobban illeszkedő sugarakat kell meghatározni.

Hagyományos tervezés közben ívonalzó, vagy átlátszó (pausz) papírra rajzolt koncentrikus ívsorozat segítségével gyorsan meghatározható a körív sugara. Ha a semleges vonalon bejelöljük a körívvel helyettesíthető szakaszt, a kívánatos átmeneti ív hosszát a térképvázlatról le lehet mérni. Amikor a körívet átmeneti ívvel kell tervezni, úgy is eljárhatunk, hogy a legjobban illeszkedő R sugárnál megmérjük az ív középpontjának a sokszögoldaltól (érintőtől) való merőleges távolságát. Ebből levonva az R értékét, megkapjuk az átmeneti ív ΔR köríveltolását. Az R és ΔR segítségével már táblázatból meghatározhatjuk az átmeneti ív hosszát és paraméterét.

Számítógépes tervezéskor a használt program adta lehetőség szerint illesztjük a köríveket és az átmeneti íveket az érintőhöz.

Szintvonalas térkép készítésén alapuló nyomjelzési módszer

A digitális geodéziai műszerek és a számítógépes adatfeldolgozás elterjedése a térképészetben, valamint az úttervező programok megjelenése lehetővé tette, hogy az erdészeti utakat saját felmérésén alapuló digitális térképeken tervezzük. Arányaiban elhanyagolható többlet terepi munkával részletes digitális terepmodell és térkép készíthető, amelyen az út terve elkészíthető. Tipikusan a digitális technikára alapozott tervezési módszer, amely a kivitelező számára is értékes adatokat tud átadni. A felmérés és a kitézés országos koordinátákra alapozva történhet, ami lehetővé teszi az építés közben megsemmisült pontok pontos helyreállítását bármilyen sokszögvonallal.

A munka menete:

- tengelykitézés, első ütem
 - semleges vonala kitézése a terepen,

- sokszögvonala kitűzése és bemérése,
- semleges vonal pontok bemérése a sokszögvonala, derékszögű összrendezővel, vagy poláris koordinátákkal,
- digitális terepmodell és térkép készítéséhez szükséges részletes terepfelvétel (tereppontok, tereptörések, létesítmények, kardinális pontok stb.);
- belső feldolgozás
 - digitális terepmodell és térkép készítése, amely tartalmazza a semleges vonalat is,
 - tengelyvonal tervezése: ívsugarak, átmeneti ívek megválasztása,
 - kitűzési adatok számítása,
 - szelvényezés számítása;
- tengelykitűzés, második ütem
 - tengelyvonal kitűzése az alapsokszögről;
- szelvényezés,
- hossz-szelvény szintezés,
- kereszt-szelvények felvétele,
- műtárgyhelyek, csomópontok és egyéb létesítmények bemérése,
- talajmechanikai vonalas talajfeltárás elvégzése,
- egyéb terepi munkák.

Útfordulók, szerpentinek tervezése és nyomjelzése

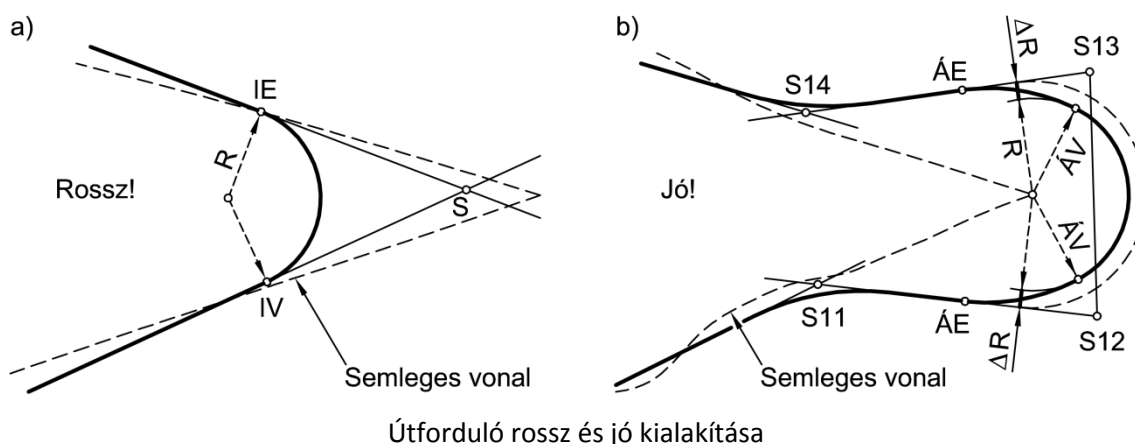
Az útfordulókat (szerpentineket) vonalfejllesztési célból alkalmazzuk. A forduló előtt és után a semleges vonalat kisebb emelkedővel tűzzük ki, és elég éles szögben fordítjuk vissza. A tengelyvonal befektetésénél vigyázni kell arra, hogy erős útrövidülés ne álljon elő. Ilyen esetben éppen a forduló szakasza lenne a legmeredekebb, ami forgalmi szempontból igen kedvezőtlen körülményeket teremtene. Ennek elkerülésére az útforduló helyén jelentős emelkedés csökkenést idézünk elő úgy, hogy a kis sugarú körív középpontját a semleges vonal visszafordulási csúcspontjára, vagy annak közelébe helyezzük, azaz ívkitolást végzünk. A kitolt nagy középponti szögű ív erősen eltér a semleges vonaltól, amelyet két ellenkező irányú ívvel vezetünk vissza a semleges vonalra. Ennek eredményeként az útforduló tengelyhossza jelentősen megnövekedik és az emelkedő nagyon kedvező mértékűre csökken.

A tengelyvonal megtervezését, kitűzését, bemérését az ismert módon végezzük.

Már az útforduló tervezésének időszakában meg kell vizsgálni az útforduló emelkedő viszonyait, a várható földmozgató nagyságát, és azt, hogy az egymás fölött lévő szakaszok kereszt-szelvényei elférnek-e egymás mellett, vagy ha nem, akkor hol kell esetleg támasztófal építését előírni.

Nagy gondot kell fordítani a szélesítés nagyságának és kifuttatásának tervezésére. Nehéz hegyvidéki terepen meg kell vizsgálni, hogy a hátul kinyúló rakomány nem akad-e el az ív külső oldalán lévő meredek bevágási rézsűbe.

Gondos mérlegelést igényel a látótávolságok vizsgálata, annak ellenére, hogy az nem minden esetben biztosítható.



ÉPÍTÉSI TERV KÉSZÍTÉSE

Az építési terv olyan részletességgel készül, hogy annak alapján a részletes árvetés elkészíthető és az út megépíthető.

Az út tengelyvonala egy térbeli vonal, amely különböző jellegű darabokból tevődik össze, így ábrázolásához három vetület szükséges. Gyakorlati szempontból azonban a vetületeket szétválasztjuk.

Az első a vízszintes vetület, az un. helyszínrajz, a második a hossz-szelvény és a harmadik a kereszt-szelvények.

Az úttervezési munka egyes gyakorlati részletét az úttervezési gyakorlatokon lehet megismerni.

Helyszínrajz készítése

A helyszínrajzot fokozatosan a tervezés előrehaladásának ütemében lehet elkészíteni. Az első szakaszban csak a terepi felmérés eredményeit tudjuk ábrázolni, majd ezt követi a tengelyvonal rajzolása. Később ezt kell kiegészíteni a vízelvezetés, műtárgyak, üzemi létesítmények ábrázolásával és a szükséges részletrajzokkal (útcsatlakozás, lejárók, rakodók stb.).

Hossz-szelvény készítése

A hossz-szelvény az úttengely vízszintes vetületén végigvezetett függőleges alkotó által létrehozott felület, síkba fejtve. A hossz-szelvényben ábrázolt olyan létesítményeket, amelyek nem ebben a síkban vannak, azokat is ebbe a függőleges síkba vetítjük be vízszintesen és az úttengelyre merőlegesen.

A hossz-szelvény a pálya magassági értelmű megtervezésére és ábrázolására szolgál. Azért, hogy függőlegesen a különbségek jól érzékelhetőek legyenek, a magassági értékeket $M=1:100$, a hosszértékeket $M=1:1000$ méretarányban, 10-szeres torzításban ábrázoljuk.

A hossz-szelvény elkészítése

Az út tengelyének megfelelő hosszban megrajzoljuk a szelvényezési alapvonalat. Erre felhordjuk a *km*, *hm* és beszelvényezett pontokat és meghúzzuk a függőleges ordinátákat. Az ordinátákon bejelöljük a szelvényezett pontok magassági értékeit (terepszint mérőjegye). A bejelölt tereppontok összekötésével kapjuk a terepvonalat, a terep hosszmetsetét.

A hossz-szelvény alsó részén a szelvényezési alapvonal alatt tüntetjük fel az irányviszonyokat (ívdiagram): egyenes, jobb ív, bal ív. Az ábrázolásnál használt jelkulcs arról nem ad felvilágosítást, hogy mekkora az ív sugara, ezért az ívek fontosabb adatait a diagramra felírjuk.

A megszerkesztett terepvonal alapján történik a pálya magassági vonalvezetésének, a pályaszint vonalának megtervezése. A pálya magassági befektetése grafikusán, a pályaszint mérőjegyeinek meghatározása numerikusan történik.

Az úttervező programok a hossz-szelvény grafikai részének megszerkesztését elvégzik. A hossz-szelvény terepvonal a képernyőn kirajzolódik, ahonnan a tervezés elvi menete megegyezik a hagyományos tervezés lépéseivel.

A pályaszint vonalának megtervezése a semleges vonal alapján történő vízszintes úttengely tervezéséhez hasonlóan történik. Először a hossz-szelvény terepvonalához jól igazodó magassági sokszögvonalat illesztünk, majd a magassági sokszögpontokhoz, a magassági törésekhez lekerekítőívvet tervezünk. Ha a törés kicsi (erdészeti utaknál 1% alatt van), lekerekítőívvet nem szükséges beiktatni.

Ha a pályaszint vonala a terepvonal felett halad töltés (+), ha alatta bevágás (-) keletkezik.

A pályaszint megtervezésénél a nyújtott, hajlékony, határozott vonalvezetés kialakítása, a forgalombiztonsági és esztétikai igények kielégítése, a helyszínrajz és hossz-szelvény összehangolása mellett mindig szem előtt kell tartani a földmű megfelelő állékonyságát és a keletkező földmunka nagyságát.

A földmunka nagyságát a pályaszint vonalának a terepvonalhoz viszonyított helyzete szabja meg. A legkisebb földmunkát eredményező elhelyezés azonban csak akkor jár együtt a földmű megfelelő állékonyságának biztosításával, ha a kivitelező gépesítettsége és rátermettsége igen jó.

A legkisebb földmunkát az a pályaszint-elhelyezés eredményezi, amelynél a bevágásokból kikerülő földmennyiség éppen elegendő a töltések megépítéséhez, azaz a bevágási és a töltési földtömeg megegyezik. Ez az ún. tömegkiegyenlítés elve. Erdészeti utaknál ez az alapelv csak akkor érvényesíthető megnyugtatóan, ha a töltések alapozását és tömörítését a nagy keresztmetszű terepen is jó minőségben el tudják végezni. Ha ez nem történik meg, akkor a földmű állékonyságának fokozására törekszünk úgy, hogy az útkorona nagyobbik hányada termett talajra kerüljön. Ez csak úgy érhető el, ha a bevágás földtömegét a töltés rovására növeljük. Így eleve földfelesleg keletkezik, amit az út völgy felőli oldalán, vagy a kijelölt deponálási területen helyezünk el.

A pályaszerkezet és a földmű állékonysága szempontjából domb- és hegyvidéken megkívánjuk, hogy ha a terep keresztmetsze:

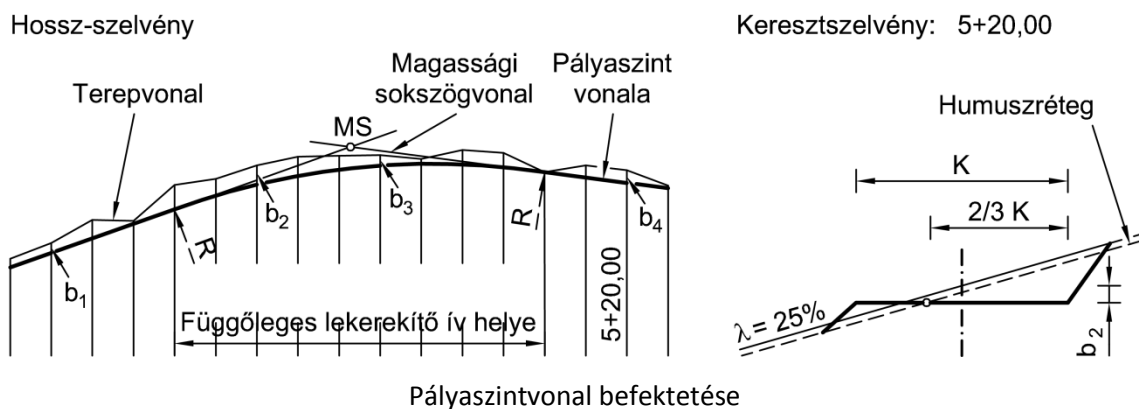
- $\lambda=0-20\%$, akkor a koronaszélesség $1/2$;
- $\lambda=20-40\%$, akkor a koronaszélesség $2/3$;
- $\lambda=40-60\%$, akkor a koronaszélesség $3/4$;
- $\lambda>60\%$, akkor a koronaszélesség $4/4$ része fekszen bevágásba, azaz a termett talajon (nőtt földön).

Közel vízszintes terepen (sík vidéken) viszont a pályát a terepszintből ki kell emelni $0,7-1,0$ m magassáig a jobb víztelenítés és állékonyság érdekében. Ilyen helyeken előnyös a pálya mellett az előírásonál nagyobb árkot tervezni az anyagnyerés és a kapilláris vízemelés hatásának csökkentése érdekében.

Az előbbieken vázolt feltételeket nyilvánvalóan nem lehet minden keresztszelvényben érvényre juttatni, mert akkor a pályaszint és terepszint párhuzamosan futna, de szükséges, hogy a keresztszelvények zömében megvalósítsuk.

A pályaszint és terepszint egymáshoz viszonyított helyzete eredményezi azt, hogy a földmű mennyire lesz állékony, mennyire sikerült a termett talajon fekvés feltételét, vagy a terepből való kiemelés igényét teljesíteni.

A pályaszint kedvező elhelyezését úgy segíthetjük elő, hogy a környezetében átlagos magasságú (sem kiemelkedő, sem mélyedésben lévő) szelvényekben meghatározzuk azt a bevágási értéket, amely a kívánatos termett talajon (nőtt földön) fekvéshez szükséges. Ha ezt az értéket a terepszinttől lemérjük, megkapjuk a pályaszint vonalának egyik vezérpontját. Km-ként általában elég 8-10 vezérpontot szerkeszteni. Amikor a pályaszint vonala ezeken a vezérpontokon halad át (illetve ezeket a pontokat kiegyenlíti), törekvésünk megvalósult.



Pályaszintvonal befektetése

Eljárhatunk úgy is, hogy befektetjük a pályaszint vonalát és ellenőrző keresztaszelvények készítésével megvizsgáljuk, hogy a pálya megfelelő magasságban van-e, illetve azt milyen irányban és mértékben kell módosítani.

Sík vidéken a kívánatos töltés mértékét jelöljük be a hossz-szelvénybe a pályaszint vonalának kedvező elhelyezéséhez.

A magassági sokszögvonala befektetése után meghatározzuk az egyes sokszögoldalok emelkedéseit (eséseit) és hosszait. Az emelkedés (esés) értékét az oldal kezdő- és végpontjának magasságkülönbsége (magassági sokszögpontok, MS), valamint hossza alapján számítjuk. Az oldal kezdő- és végpontjának magasságát a hossz-szelvényről vesszük le. Az emelkedő (esés) értékét általában tized %-ra kerekítve adjuk meg, de hosszú egyenlejtésű szakaszoknál század % pontosságra is szükség lehet.

A szomszédos sokszögoldalok emelkedéséből számítható a magassági törés értéke ($\Delta e\%$).

A pálya nyugodt magassági vezetése megkívánja, hogy az erdészeti utaknál a pályaszinttörések az 1%-ot ne haladják meg.

Bevágásban a domború, töltésben a homorú töréseket kerüljük, mert ezzel a bevágást növelnénk ott, ahol egyébként is bevágás van, illetve a töltést magasítanánk azon a helyen, ahol egyébként is töltés van.

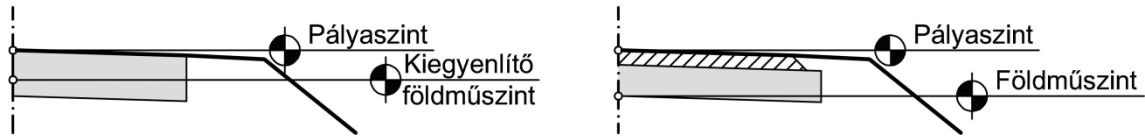
A megtervezett pályavonal (amit összefoglaló néven pályaszintnek nevezünk) jelentheti az út:

- pályaszintjét,

- földműszintjét,
- kiegyenlítő földműszintjét

attól függően, hogy a magassági tervezés melyik szintre történik.

Jelenleg az erdészeti utakat pályaszintre tervezzük, korábban ezeket földmű-, illetve kiegyenlítő földműszintre tervezték.



A pálya magassági vonalai

A pályaszint mérőjegyét számítással határozzuk meg. A pályaszint egy tetszőleges pontjának mérőjegyét megkapjuk, ha az előző pont magasságához előjelhelyesen hozzáadjuk a magasságkülönbséget. A magasságkülönbség a távolság és az emelkedő (vagy esés) %-a alapján számítható. A számításokat két lépésben végezzük el. Először az egyenlejtésű szakaszok (lekerekítőívek egyenlejtésű szakaszai is) elejének és végének magasságait határozzuk meg, majd az összes szelvénypontban számítjuk a pálya magasságát. Ez a számítási módszer a számítások ellenőrzését is lehetővé teszi.

A pályaszint és a terepszint különbsége adja a töltés (+) vagy bevágás (-) mérőjegyét.

Az egyenlejtésű szakaszok elválasztó vonalának fejlécalatti részére felírjuk a pályaszinttörés szelvényezési értékét és annak magassági értékét, a fejlécebe beírjuk az emelkedő (esés) értékét, valamint a szakasz hosszát. Feltüntetjük a töltés, bevágás, terepszint, pályaszint mérőjegyét, a szelvényezési értékeket, az ívek jellemző adatait stb.

Bejelöljük a kitérők és más létesítmények helyét.

Kiválasztjuk a keresztirányú vízvezetésre szolgáló átteresztők, hidak helyét, és azokat a megfelelő jelölés szerint berajzoljuk, majd felírjuk a nyílás értékét és feltüntetjük a szerkezet anyagát. A befolyási és kifolyási szinteket a keresztzelvényben megtervezett adatok alapján később tüntetjük fel.

Irányelv, hogy a hegyoldali árok vizét 200-300 m-ként át kell vezetni a völgy felőli oldalra majd ott a terepen szétosztani. Az átvezetések a legtöbb esetben csőátteresztőkkel oldjuk meg. Erdészeti utaknál általában 0,60 m átmérőjű beton csőátteresztőket használunk. Nagyobb vízhozam átvezetésére hidraulikailag méretezett műtárgy készül.

A keresztzelvények elkészítése után történik az árokfenék berajzolása.

Hagyományos tervezéskor a hossz-szelvényt végleges formában csak a keresztzelvények és a földtömegszámítás befejezése után célszerű elkészíteni. Előfordulhat, hogy a pálya futásán a kedvezőbb földmozgatás miatt vagy más okból módosítani kell.

A jól használható számítógépes programok valós időben követik a hossz-szelvény változásait a keresztzelvényekben és a földtömegszámításban, ami a tervezést rendkívüli módon leegyszerűsíti és felgyorsítja.

Keresztszelvények tervezése

A mintakeresztmetszvények és keresztmetszvények az útpálya keresztmetszeti megtervezésére és ábrázolására szolgálnak.

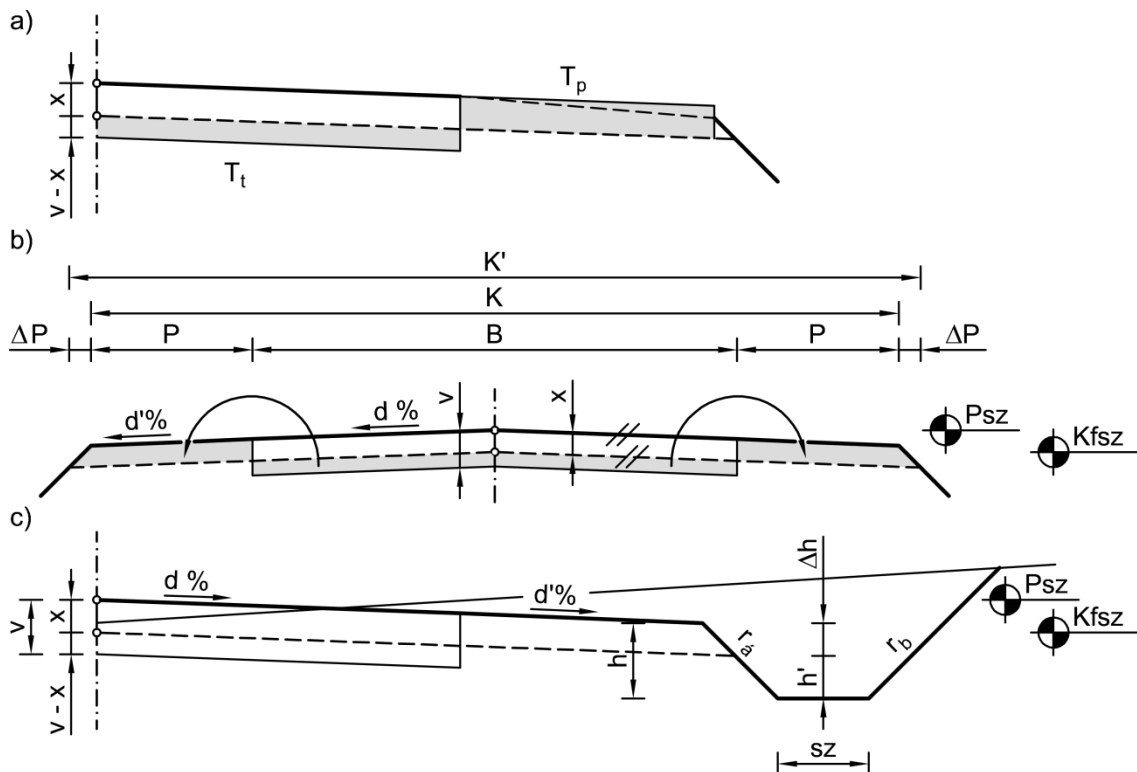
Mintakeresztmetszvények tervezése

A mintakeresztmetszvényekben tüntetjük fel mindazokat a méreteket és egyéb adatokat, amelyek a keresztmetszvényekben ismételtelen előfordulnak. Ezeknek az adatoknak egy része a kész műszelvényre, másik része a megépítendő földműre vonatkozik.

Mivel a földmű kialakítását a pályaszerkezet típusa meghatározza, ezért a földművet is különbözőképpen kell megépíteni, kialakítani. Mintakeresztmetszvényből annyit kell készíteni, amennyit az út eltérő szakaszai megkívánnak. (Általában egyenesben és ívben egyet-egyét.)

Kiegyenlítő földműszint

A kötőanyag nélküli pályaszerkezet (pl.: a zúzottkő pályaszerkezet) építéskor fontos, hogy a réteg tömörítésekor oldalról megtámasztást kapjon. Ezért az ilyen pályaszerkezeteket a tömörített földmű felső részén kialakított útszekrénybe kell helyezni. Az útszekrényből kikerülő földet a padka feltöltésére használjuk fel. A földmű koronájának a szintjét ezért úgy kell meghatározni, hogy az ebből kiemelt talaj térfogata egyenlő legyen a padka kialakításához szükséges talaj térfogatával, egyben az így kialakuló úttükörbe épített, adott vastagságú pályaszerkezet beépítése után a tervezett pályaszintet kapjuk. Az így kialakított földművet kiegyenlítő földműnek, a földmű szintjét kiegyenlítő földműszintnek (Kfsz) nevezzük.



Kiegyenlítő földműszintre tervezett mintakeresztmetszvény

A kiegyenlítő földmű vonala a pályaszintnél x távolsággal mélyebben, a burkolat felületével párhuzamosan helyezkedik el.

A kiegyenlítő földműszint:

$$K_{fsz} = P_{sz} - x$$

ahol:

- K_{fsz} = kiegyenlítő földműszint,
- P_{sz} = pályaszint,
- x = kiegyenlítő vonal távolsága a pályaszinttől (m).

Az x érték egyben a pályaszint és a kiegyenlítő földműszint közötti magasságkülönbség is. A kiegyenlítő vonal távolságát a keresztmetszet méretei alapján számítjuk. A pályaszerkezet helyszínre szállított anyagból épített rétegének vastagságát v -vel jelöljük.

A meghatározásnál két egyszerűsítéssel élünk:

- d' % -ot, d % -al tesszük egyenlővé;
- a padka szélénél lévő kis háromszöget elhanyagoljuk.

A tükör és a padka területe egyenlő, tehát a kiegyenlítő vonal távolsága a pályaszinttől (x):

$$T_t = T_p$$

$$(v - x) \cdot \frac{B}{2} = x \cdot P$$

$$v \cdot B - x \cdot B = 2 \cdot x \cdot P$$

$$v \cdot B = 2 \cdot x \cdot P + x \cdot B = x \cdot (2 \cdot P + B) = x \cdot K$$

$$x = \frac{B \cdot v}{K}$$

ahol:

- v = pályaszerkezet útszekrénybe szállított idegen anyagból épített rétegeinek vastagsága (m),
- B = burkolatszélesség (m),
- K = koronaszélesség (m).

A földmű építéséhez szükséges további méretek:

- az árokfenék mélységének csökkenése:

$$\Delta h = x - P \cdot \frac{d' \% - d \%}{100}$$

- a módosított árokmélység:

$$h' = h - \Delta h$$

- a padkanövekedés mértéke:

$$\Delta P = r_a \cdot \Delta h$$

- a földmű koronaszélessége:

$$K' = K + 2 \cdot \Delta P$$

A pályaszélesítéssel rendelkező, ívben lévő keresztmetszvényekben a burkolatszélesség $B + \Delta B$, tehát a kiegyenlítő vonal távolsága is más lesz, mint egyenesben. A ΔB azonban az ívsugár, középponti szög és a kifuttatás szakaszában a kezdőponttól mért távolság szerint változik. Kivitelezés közben, az

ennek megfelelő kiegyenlítővonal változás nem érvényesíthető. Ezért ívben is az egyenesre vonatkozó x értékkel számolunk. Ennél az értéknel valamivel több földet fogunk a tükörből kiemelni, mint ami a padkához kell. A felesleges föld elhelyezését a Műszaki leírás tervműveletben irányozzuk elő.

A h , h' , ΔP , és K' nagyságát az ív külső és belső oldalára külön-külön kell megadni a padka eltérő dőlése miatt. Az ívben lévő mintakeresztzelvényt ezért teljes bevágásban, mindkét oldalon árokkal kell ábrázolni.

Földműszint

A kötőanyag felhasználásával épített pályaszerkezeteket (pl.: cementes talajstabilizációt, aszfalt réteggel) az építés közbeni tömörítéskor általában nem kell oldalról megtámasztani, ezért ezek építésekor nem kell útszekerényt kialakítani, tükröt vágni. A pályaszerkezetet közvetlenül a földmű felszínére, a földműszintre (tükrörré) építjük meg.

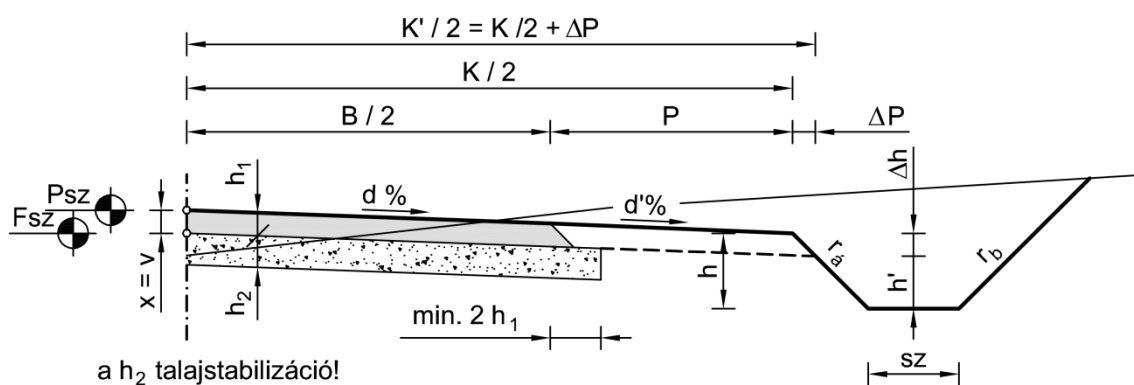
A földműszint távolsága pályaszinttől:

$$F_{sz} = P_{sz} - x$$

ahol:

- $x = v$,
- $v =$ pályaszerkezet idegen anyagból épített rétegeinek vastagsága.

A h , h' , ΔP , és K' a kiegyenlítő földműszintnél alkalmazott képletekkel számítható.



Keresztzelvények elkészítése

Az erdészeti utak tervezésekor 20-30 méterenként ki kell tűzni a tengelypontokat és a tervdokumentáció készítésekor ezekben a keresztzelvényeket meg kell tervezni.

A keresztzelvények célja, hogy további munkarészek elkészítéséhez alapadatokat szolgáltatassanak. Ennek alapján lehet a hosszirányú vízvezetés tervezéséhez szükséges alapadatokat megadni, majd a hossz- és keresztirányú vízvezetés összehangolását elvégezni. Innen szerezhethetjük be a kitermelendő útpálya határvonalának méreteit, a földtömegszámítás és elosztás elkészítéséhez szükséges bevágási és töltési területeket.

A terepi munka idején a beszelvényezett pontokban a keresztzelvények terepvonalát fel kell mérni, vagy később digitális terepmodellről meg kell határozni. A keresztzelvény tervezését ennek a

tereponalnak a megszerkesztésével kezdjük. A tereponalat kiegészítjük a humuszréteg vastagságát jelző vonallal.

A tengelyvonal mellé fel kell írni a terepszint és a pályaszint magasságát, az utóbbit a hossz-szelvényből vehetjük át. Meg kell tervezni az ívekben szükséges túlemeléseket, szélesítéseket és ezek kifuttatását. Az ívben lévő kereszt-szelvényekben az azokra vonatkozó értékeket kell felírni.

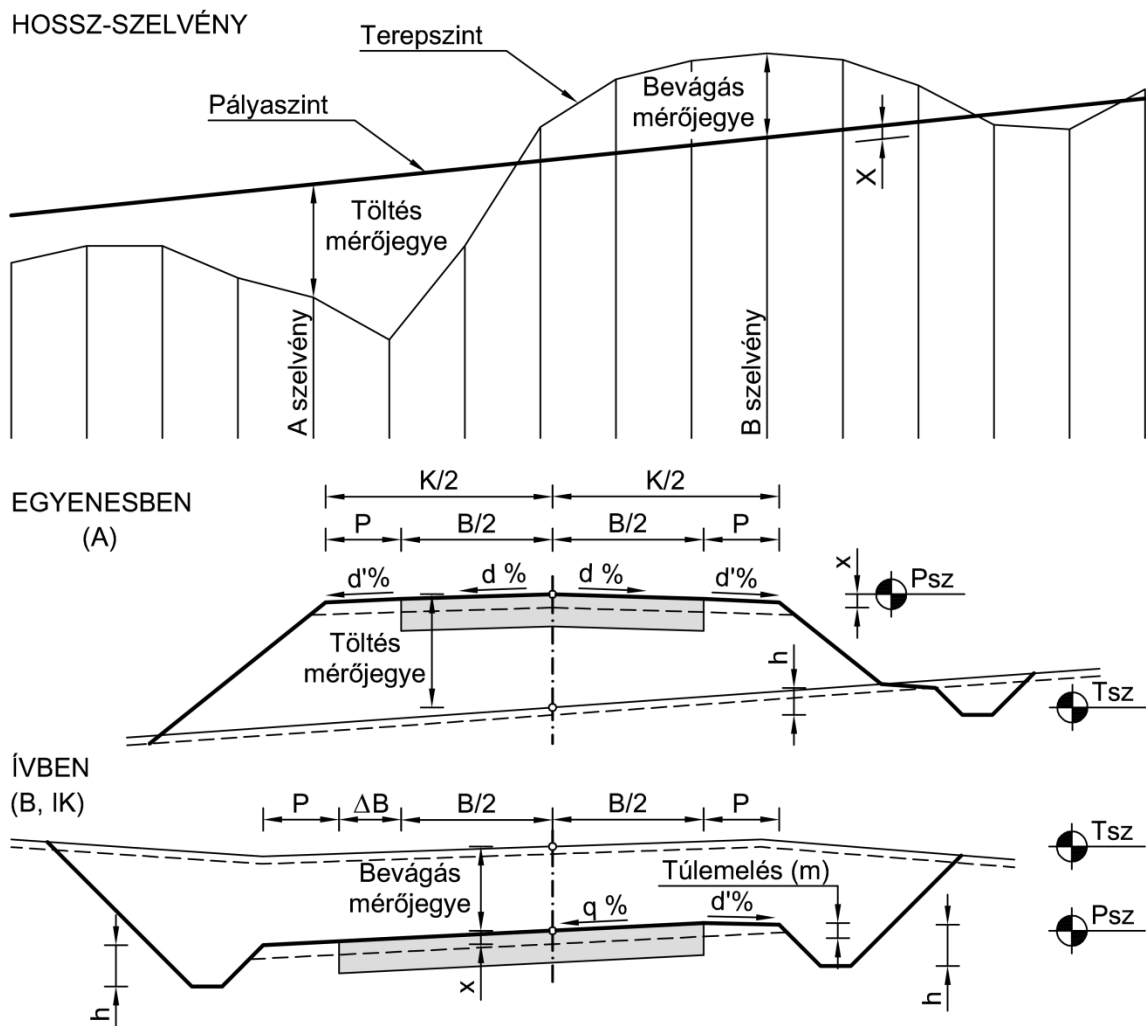
Bejegyezzük a kitérők és leállóhelyek szélesítés értékeit is.

A pályaszint pontjából kiindulva a mintakereszt-szelvény adatait felhasználva egyenként megszerkesztjük az adott pontra érvényes kereszt-szelvényt.

A kereszt-szelvényekbe betervezzük a vízvezetésre szolgáló árkokat, műtárgyakat, az esetleges támfalakat, bélésfalakat, leellenőrizzük a látótávolságokat és gondoskodunk a töltések állékonyaságáról is, a töltések alapozásával.

Utolsó lépésként meghatározzuk a bevágás és töltés területét a földtömegszámítás szabályai szerint.

A számítógépes programok a kereszt-szelvényeket, a hossz-szelvény és a mintakereszt-szelvények alapján megszerkesztik, a szükséges számításokat (kifuttatások, területek stb.) azonnal elvégzik. A további részletek megtervezését és a szükséges ellenőrzések elvégzését a hagyományos tervezésnek megfelelően kell elvégezni, valamilyen grafikus tervező program segítségével.



Kereszt-szelvények tervezése egyenesben és ívben

Útpálya víztelenítésének tervezése

A víz az úttestre fizikai, ritkán kémiai hatást gyakorol, amely ellen védekeznünk kell a pálya vízelvezetésével és az út részeinek állékonyágát biztosító berendezésekkel, eljárásokkal.

A jó víztelenítést az útpálya és az árokrendszer kedvező magassági vonalvezetésével is meg lehet alapozni.

A vízelvezetés tekintetében az erdőgazdálkodás szempontjából az általános útépitési gyakorlattól kissé el kell térni. Az igaz, hogy az erdészeti utat, mint műszaki létesítményt a víz kedvezőtlen hatásától mentesíteni kell, de figyelembe kell venni azt is, hogy az útépités területe erdőterület, így vízháztartásának megzavarását nem lehet megengedni. Az erdészeti utak építésénél akkor járunk el helyesen, ha a pálya állékonyágát veszélyeztető vizet – kis mennyiségekben – a pályától elvezetjük, és ezt követően a terepen szétterítve beszivároztatjuk a talajba.

Az eredményes víz elleni védelem alapja a földmű szaksterű megépítése. Az út felületére jutó csapadékvíz elvezetéséről a kielégítő nagyságú oldalesés gondoskodik. A pályaszerkezet védelme és a biztonságos közlekedés megkívánja, hogy a felületi vízelvezetés gyors és hatékony legyen.

A csomópontok a pályafelület víztelenítésének kényes pontjai, ezért ezek tervezésére nagy gondot kell fordítani. Kétséges esetben úgy győződhetünk meg teljes bizonyossággal a vízelvezetés helyességéről, ha a felületről 2-5 cm magasságokkal szintvonalrajzot készítünk, ami a számítástechnika felhasználásával nem jelent problémát.

A felületről lefolyó vizet az árokrendszer gyűjti össze és vezeti el az áteresztőkhöz és hidakhoz. Az árok esését úgy kell megválasztani, hogy az erózióknak ellenálljon, illetve ha ez nem lehetséges, akkor a meredek szakaszok ellenálló képességét burkolással kell fokozni, vagy esését lépcsőzéssel csökkenteni.

A pályaszerkezet alsó rétegét képező ún. védőréteg (ágyazat) víztelenítésére nagy figyelmet kell fordítani. A padkaszivárgónál hatásosabb és megbízhatóbb az a megoldás, amikor a védőréteget kb. 0,10 m vastagságban a rézsúig paplanszerűen kivezetjük.

Az építési terv készítése közben meg kell tervezni a vízelvezető árokrendszert, a víz pálya alatti átvezetésére szolgáló műtárgyakat, valamint a rézsú és padkavédelmet.

Árokrendszer megtervezése

A pálya és a terep felületéről lefolyó víz összegyűjtéséről és elvezetéséről a pályatengellyel párhuzamos, illetve közel párhuzamos árokrendszer gondoskodik. Az árok legkisebb esése 0,5% (egészen kivételesen 0,2%). Domb- és hegyvidéken ezt a szempontot már a semleges vonal felkeresésénél vegyük figyelembe. Sík vidéken, ahol a hossz-szelvény lejtése a vízszinteshez közelít, ezt a feltételt az árok mélységének növelésével lehetne csak teljesíteni. Ekkor a jó vízáteresztő talajokon szikkasztó árkot kell kialakítani, a kötött talajokon vízgyűjtő medencét kell építeni úgy, hogy azok az erdőgazdálkodást ne akadályozzák, de dagonyaként a vadgazdálkodást, illetve vizes élőhelyként a természetvédelmet szolgálják.

Az árokrendszer tervezésekor a hossz- és keresztirányú vízelvezetést kell összehangolni a kereszt-szelvények és hossz-szelvény munkarészekben, figyelembe véve a helysínrajzon megjelenő különféle létesítmények (csomópontok, útfordulók stb.) vízmozgást befolyásoló jelenlétét.

Az árkokat először a kereszt-szelvényben tervezzük meg kereszt-szelvényenként, a mintakereszt-szelvény vonatkozó adatai és a megismert szempontok szerint. Az így meghatározott

árokfenék magasságokat a hossz-szelvénybe felhordjuk, majd a pontokat összekötve megkapjuk az árokfenék hossz-szelvényét. Az árokfenék töréseket kiegyenlítjük, illetve tompítjuk. Gondosan ellenőrizzük, hogy az árok minden részéről a víz le tud-e folyni. Ahol ez nem biztosított, ott a fenékvonalat módosítjuk. Az árokfenék vonalának hossz-szelvényét numerikusan is meghatározzuk. A kereszt-szelvényekben az új fenékszinteket a hossz-szelvénynek megfelelően módosítjuk. Ezzel összehangoltuk az árokfenék szintjeit a kereszt-szelvényekben és a hossz-szelvényben.

A töréspontok magasságát és az esés nagyságát a hossz-szelvényben feltüntetjük.

A nagy esésű árokszakaszok védelméről gondoskodni kell és a tervezett árokszinteket szükség szerint ennek megfelelően módosítani kell (pl. árokfenék lépcsőzéssel).

Az árokfenék esésviszonyainak alakulása és a hossz-szelvény terepvonalának változása útbaigazítást ad az áteresztők legjobb helyének kiválasztásához.

Erdővel nem borított területek nagy bevágásai felett a felszíni víz elvezetésére a bevágás fölött ún. övárkot kell tervezni. Az övárkok vizét burkolt, teknő alakú, nagy esésű árokkal az ún. „surrantóval” vezetjük az árokrendszerbe. A betorkolláshoz áteresztőt kell tervezni. A bevágási részű szivárgóval kombinált övárkokkal védhető meg akkor, amikor a talaj a felszín közeli talajvíz miatt csúszásra hajlamos.

Az árokrendszert szükség szerint szivárgó rendszerrel is ki kell egészíteni.

Áteresztők és hidak helyének tervezése

A víz pálya alatti keresztirányú átvezetésére szolgálnak az áteresztők és hidak. Az árok vizét 200-300 m-ként ki kell vezetni a terepre, vagy át kell vezetni a pálya alatt a völgyfelőli oldalra, ahonnan a befogadóba juttatjuk.

Az áteresztők és hidak nyílását a mértékadó vízhozam ($NQ_{v\%}$) alapján kell megtervezni. Ez a tervezői tevékenység az áthidalások hidraulikai méretezése.

Erdészeti utaknál az árok vízének átvezetésére általában 0,60 m átmérőjű előregyártott elemekből készített betoncső áteresztőket használunk. Kiszállító utakon, vagy rövidebb átvezetéseknel, csomópontokban, lejárókban 0,40 vagy 0,50 m átmérőjű betoncsöveket is tervezhetünk.

Az áteresztők helyét a hossz-szelvény terepvonalának és az árokfenék vonalának futása, a terep ismerete, illetve a max. 300 m távolság alapján kell kijelölni.

Mellékvölgyekbe és a magasabb töltések mélypontjára mindig kell áteresztőt tervezni, hogy a hegyfelőli oldalról a víz el tudjon folyni.

A bevágásban elhelyezett áteresztőhöz aknát kell építeni. Az akna mélysége azonban az 1,50 m-t nem haladhatja meg a tisztíthatósága és balesetveszélye miatt. A töltési oldalon előfejet helyezünk el és szükség esetén részű- és utófenék burkolást készítünk.

Az áteresztőket helyük megválasztása után a kereszt-szelvényekben tervezzük meg. Ezen az ún. elhelyezési terven feltüntetjük az áteresztő körvonalát, metszetét, hosszát, a befolyás és kifolyás szintjét és az út tengelyével bezárt szöveget. Az áteresztő általános méreteit, részletes kialakítását a részletes műtárgytervben foglaljuk össze. A tervezett áteresztőket a helyszínrajzon és a hossz-szelvényben is feltüntetjük.

Amikor a csőáteresztő tengelye nem merőleges az út tengelyére és az eltérés 10° -nál nagyobb, akkor ebben a szelvényben két kereszt-szelvény terepvonalát kell felvenni és megrajzolni: az egyiket a

tengelyre merőlegesen a földtömegszámítás céljára, a másikat az átfolyás tengelyében az áteresztők elhelyezésének ábrázolására.

Előnyös, ha egy erdészeti úthálózaton, vagy egy tervezett úton azonos szerkezetű és kialakítású áteresztőket építünk, mert így ezek tipizálhatók. A tipizálással megkönnyítjük a kivitelező munkáját, egységesítjük az anyagbeszerzés és az építés folyamatát, végül megteremtjük az üzemeltetés feltételeit.

A hidak körvonalrajzait szintén megadjuk a keresztmetszvényekben és feltüntetjük jellemző adataikat is.

Földtömeg meghatározása és a földmozgatás tervezése

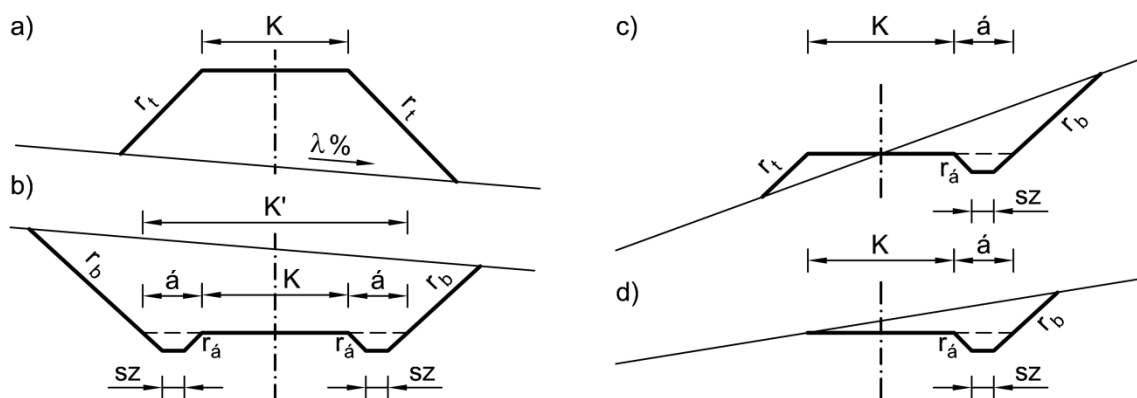
A várható földmunka nagyságának mérlegeléséhez és az építés költségeinek számításához ismerni kell a töltések és bevágások földtömegét valamint a földszállítási távolságokat.

A földtömeg számítása a két szomszédos keresztmetszvény területe és a közöttük lévő távolság alapján történik.

A földtömegszámítást és elosztást táblázatos formában készítjük el. A táblázat első felében a földtömeg kiszámítása történik, második oldalán az elosztást tervezzük.

Keresztmetszvény területek meghatározása

A földmunkánál négyféle keresztmetszvényt különböztetünk meg: a töltést, a bevágást, a vegyes szelvényt és a szeletszelvényt. Szeletszelvény keletkezik akkor, amikor a bevágás egyik koronaszéle kifut terepre.



Szelvénytípusok

A keresztmetszvények területét meghatározhatjuk:

- grafikus terület meghatározással (lefogással, grejfolással),
- planimetrálással,
- numerikus területszámítással.

Az első két módszert hagyományos tervezéskor, a harmadikat a számítógépes tervezésnél használjuk.

A keresztmetszvények területét a Keresztmetszvények munkarészben tüntetjük fel és onnan vesszük át a földtömegszámításhoz. A földtömegszámításhoz felhasznált keresztmetszvény területek meghatározásánál figyelembe kell venni azt, hogy az út építésének egyik legelső lépése a humuszréteg eltávolítása. A humuszt beépíteni nem lehet, azt külön kell elhelyezni és a földtömegelosztásban nem lehet figyelembe venni.

A bevágásban a földtömeg a humusz köbtartalmával csökken, a töltésben a humusz köbtartalmával növekszik.

Ezt már a keresztszelvény területének kiszámításakor figyelembe kell venni. Ezért a földtömegszámításhoz készített szelvényterületek értelmezése:

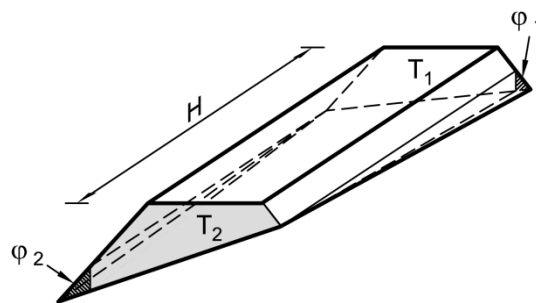
- B : humuszterülettel csökkentett bevágásterület (m^2);
- T : humuszterülettel növelt töltésterület (m^2).

Földtömeg kiszámítása

Egyenesben lévő útszakaszon

Két szomszédos keresztszelvény között a földtömeg prizmatoid formájában helyezkedik el.

A prizmatoid köbtartalmának kiszámításához ismerjük a két szomszédos keresztszelvény T_1 és T_2 területét, és a szelvény számokból nyerhető H szelvénytávolságot.



Prizmatoid köbtartalma

A prizmatoid köbtartalma:

$$Q_p = \frac{(T_1 - \varphi_1) + (T_2 - \varphi_2)}{2} \cdot H + \frac{\varphi_1}{3} \cdot H + \frac{\varphi_2}{3} \cdot H$$

$$Q_p = \left(\frac{T_1 + T_2}{2} - \frac{\varphi_1 + \varphi_2}{6} \right) \cdot H$$

A gyakorlatban a földtömeg meghatározására a:

$$Q = \left(\frac{T_1 + T_2}{2} \right) \cdot H = (T_1 + T_2) \cdot \frac{H}{2}$$

képletet használjuk, ami $\frac{\varphi_1 + \varphi_2}{6} \cdot H$ értékkel eltér a prizmatoid pontos köbtartalmától. A számításoknál a valósághoz képest egy kicsivel nagyobb köbtartalmat veszünk számításba, de ez az olcsó gépi földmunkánál nem okoz gondot.

Ívben fekvő pályatest köbtartalma

A Guldin-szabály szerint az ívben fekvő pályatest köbtartalma a szelvény területének és a súlypontja által megtett út hosszának szorzatával egyenlő. Ennek megfelelően:

$$Q_i = \frac{T_1 + T_2}{2} \cdot H' = \frac{T_1 + T_2}{2} \cdot \left(R \mp \frac{e_1 + e_2}{2} \right) \cdot \arccos$$

$$Q_i = \frac{T_1 + T_2}{2} \cdot R \cdot \arccos \cdot \left(1 \mp \frac{e_1 + e_2}{2 \cdot R} \right)$$

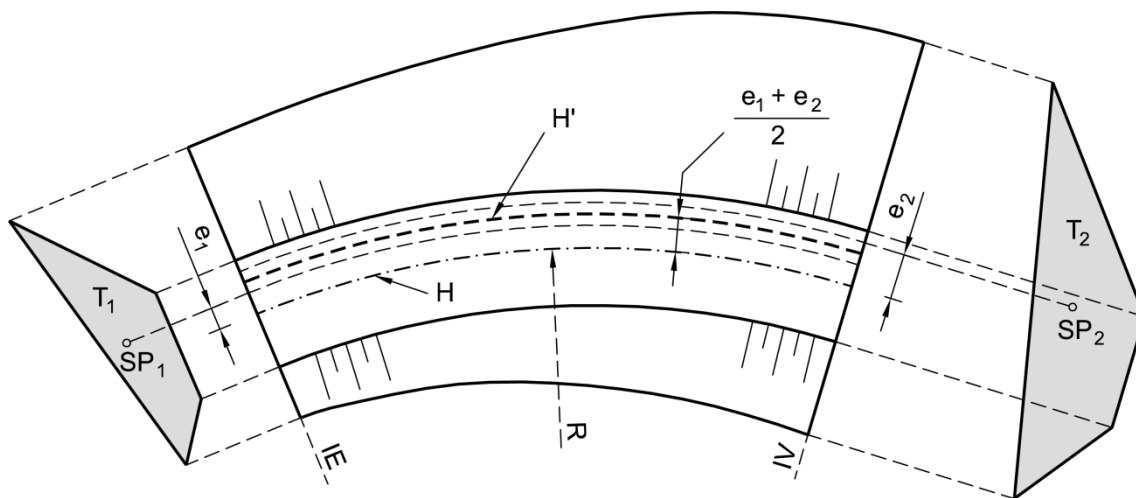
$$Q_i = \frac{T_1 + T_2}{2} \cdot H \cdot \left(1 \mp \frac{e_1 + e_2}{2 \cdot R}\right)$$

ahol:

- Q_i = köbtartalom (m³),
- H' = súlypont útja (m),
- e_1, e_2 = súlypont távolsága az úttengelytől (m),
- H = szelvények közötti távolság (m).

Hosszú úton a jobb és bal irányú ívek egyaránt előfordulnak, így a + és - eltérések megközelítően kiegyenlítődnek. Ezért ívben is használhatjuk az egyenesben alkalmazott összefüggést.

$$Q = (T_1 + T_2) \cdot \frac{H}{2}$$



Ívben fekvő pályatest köbtartalma

Földtömeg elosztása

A földtömeg elosztásán azt a tevékenységet értjük, amikor a tervező megállapítja, hogy a bevágásból kikerülő földet hol kell elhelyezni, illetve az egyes töltésrészek építéséhez szükséges földet honnan nyerjük.

A földtömegelosztásnál a következő fogalmakat használjuk:

- Földfejtés: a termett talaj fellazítása, szállítható állapotba hozatala, szállítójárműre rakással;
- Földmozgatás: a szállítójárműre rakott talaj elszállítása, beleértve a földmunkagéppel végzett szállítást is;
- Szállítási távolság: a kitermelés és elhelyezés súlypontja közötti távolság;
- Szállítási szakasz: az a lehatárolt szakasz, amelyben a hiány és a felesleg kiegyenlíti egymást;
- Elhelyezés: a föld elterítése a rendeltetési helyen (általában depóniába) ;
- Beépítés: a föld elterítése és réteges tömörítése a rendeltetési helyen;
- Tömörítés: az az eljárás, amikor a talajt, tömörítő munkával az előírt tömörségű állapotba hozzuk;
- Karos földmunka: emberi erővel végzett földmunka;

- Karolás: az emberi erővel végzett földmozgatás. (Vízszintesen max. 4,0 m, függőlegesen max. 2,0 m) ;
- Keresztzállítás: a tengelyre merőleges (keresztshelvényen belüli) szállítás;
- Hossz-zzállítás: a pályatengely irányába történő szállítás;
- Depónia: a bevágási felesleg elhelyezésére szolgáló hely;
- Anyagárok: a töltési hiány pótlására szolgáló talaj kinyerésének helye;
- Fejtési osztály: a talaj osztályozása fejthetőség szerint;
- Lazulás: a bevágásban, vagy anyagárokbán kitermelt földanyag térfogat növekedése.

A lazulás mértéke függ a talaj állapotától és a fejtés eszköztől. (Gépi földmunkánál, kisméretű földműveknél elhanyagolható.) Jó tömörítő gépek használata után maradó lazulás nem tapasztalható, sőt az eredetihez képest térfogatcsökkenés, tömörödés lehetséges.

Erdős területen a földmű alól a tuskókat is el kell távolítani, ami fokozza a töltési hiányt. A bevágásból kitermelt föld ugyanakkor a tuskók térfogatával csökken.

A szállítási veszteségre, tuskógödrök, egyenetlenségek betöltésére 10-15% földet ajánlatos előirányozni.

A *földtömeg elosztást* a földtömeg számítási táblázattal összefüggő munkarészben készítjük. A tömegek eloszlásáról már a hossz-szelvény alapján tájékozódni lehet, de készíthető grafikus földtömeg eloszlás is, ami nagyban segíti az áttekintést. A számítógépes úttervezési programok ilyen grafikus tömegeloszlási ábrával segítik a tervezőt.

A szelvények közötti földtömeg kiszámítása után meghatározzuk a szelvényben felhasználható mennyiséget. Ez vegyes szelvényekben lehetséges, amikor a két szelvény között jelentkező töltésépítéshez szükséges földet az ott adódó bevágási földtömegeből biztosítjuk, keresztirányú szállítással. A bevágási és a töltési földtömegek összevetéséből az alábbi változatok adódhatnak:

- **Töltés < Bevágás** Szelvényben felhasználható = Töltés; Felesleg = Bevágás - Töltés
- **Töltés > Bevágás** Szelvényben felhasználható = Bevágás; Hiány = Töltés - Bevágás
- **Töltés = Bevágás** Szelvényben felhasználható = Töltés = Bevágás; Felesleg = 0
- **Bevágás = 0** Szelvényben felhasználható = 0; Hiány = Töltés
- **Töltés = 0** Szelvényben felhasználható = 0; Felesleg = Bevágás

A további feladatunk a hiányok pótlása, amit a gazdaságos szállítási távolságon belül a feleslegből kell pótolni, hosszirányú szállítással. Amikor ez nem lehetséges, akkor a hiányzó mennyiséget a közelben nyitott anyagárokból termeljük ki és rövid mozgatási távolsággal juttatjuk a beépítés helyére. A feleslegként jelentkező földet depóniába helyezzük el.

A hiányok pótlására mozgósított feleslegből, a tömegkiegyenlítés szerint szállítási (földmozgatási) szakaszokat különítünk el, majd meghatározzuk a szállítási távolságokat.

A mozgattott föld szállítási távolságán a hiány és a felesleg földtömegének súlypontjai között lévő távolságot értjük. A súlypontot a földtömeg felében értelmezzük. Ez a távolság lesz a földmozgatási költségek kiszámításának alapja.

Egy-egy szakaszon belül a földmozgatás fajtákat (szelvényben felhasználva, bevágásból töltésbe, bevágásból depóniába, anyagárokból töltésbe) összegezzük, végül feltüntetjük a szakasz összes földmozgatását is.

Megadjuk a javasolt földfejtő-szállító eszközt és a fejtési osztályt.

A tervezett út földmozgatását a szakaszokban tervezett földmozgatások összege adja.

A földtömegelosztásnál a következő szempontokat kell figyelembe venni:

- a fejtés és tömörítés módja;
- a szállítás módja és költsége;
- az építmény által elfoglalt terület gazdasági célja és értéke;
- a földmű méretei és a szükséges műtárgyak költségei.

Megfelelő tömörítés nélkül nincs állékony földmű! Ahol előre láthatóan a megfelelő tömörítés nem biztosítható, ott a teherbíró pályatestet nagyobb részben termett talajra (nőtt földre) kell helyezni.

A földszállítás eszközei és költségei lényegesen befolyásolják a tömegelosztás tervezését.

A földszállítás tervezésénél – különösen a keskeny erdészeti utaknál – gondoskodni kell a szállítójárművek fordulási lehetőségéről és a gépek felvonulási útvonaláról.

Az anyagárkok és depóniák helyének körültekintő kijelölése a tervező feladata. Általában úgy kell ezeket elhelyezni és kialakítani, hogy se az erdőgazdálkodást, se a terület vízelvezetését ne befolyásolják károsan. A depóniák és anyagárkok megnövelik az útépítéssel érintett területet, ezért erdőterületen, ahol az út értékes élőhelyeket érinthet, különösen nagy a tervező felelőssége.

A földmű állékonyságának szempontjából már a pálya magassági értelmű tervezése közben figyelembe kell venni a földműépítés vezérgépének igényeit és lehetőségeit. Pl.: a tolólemezes földmunkagéppel – dózerral – épített utaknál a gazdaságos földszállítás hossza 50 m, az ennél nagyobb szállítási távolságot kerülni kell. Így az utat főként keresztaszállításal célszerű megépíteni, vegyes szelvényben.

Általános szabály, hogy az emelkedő irányába történő földszállítást kerülni kell. Ezt a szabályt a teljes földkiegyenlítésre törekedve is szem előtt kell tartani.

Különös gondosságot igényel a humuszdepóniák elhelyezése és kialakítása. Az elhelyezés helyét és módját a talajvédelmi terv tartalmazza.

SZÁMÍTÓGÉPPEL TÁMOGATOTT ÚTTERVEZÉS

TERVEZÉST TÁMOGATÓ SZOFTVEREK

Az erdőmérnöki feladatok közül az erdőfeltárás egy olyan szintetizáló tevékenység, amely csak erdőrendezési, erdőművelési, fahasználati és mélyépítési ismeretek birtokában végezhető. Ezen kívül még számos befolyásoló tényező (természet- és környezetvédelem, turizmus, önkormányzati igények, stb.) hatását is figyelembe kell venni, amikor az erdőterületen több vágásfordulón keresztül megmaradó feltáráshálózatot kell létrehozni. A hatótényezők nagy száma miatt az elfogadható időn belül meghozott jó döntéseknek ma már nélkülözhetetlen segédeszköze a folyamatosan megújuló informatika, amelynek alapja a napjainkban is rohamosan fejlődő mikroelektronika. Az egyre kisebb méretű, ugyanakkor egyre nagyobb tudású mérőeszközök és egyre több információt tárolni és feldolgozni képes számítógépek és a működésüket lehetővé tevő szoftverek olyan lehetőséget kínálnak, amelyek az élet minden területén, de főként a mérnöki feladatok megoldásában jelenthetnek ugrásszerű fejlődést. Fontos szem előtt tartani azt is, hogy ma már szinte kizárólag csak azok a területek képesek korszerűsödni, amelyek felismerik, hogy saját tevékenységükön belül milyen szerepet kaphat, adhat számukra a korszerű informatika.

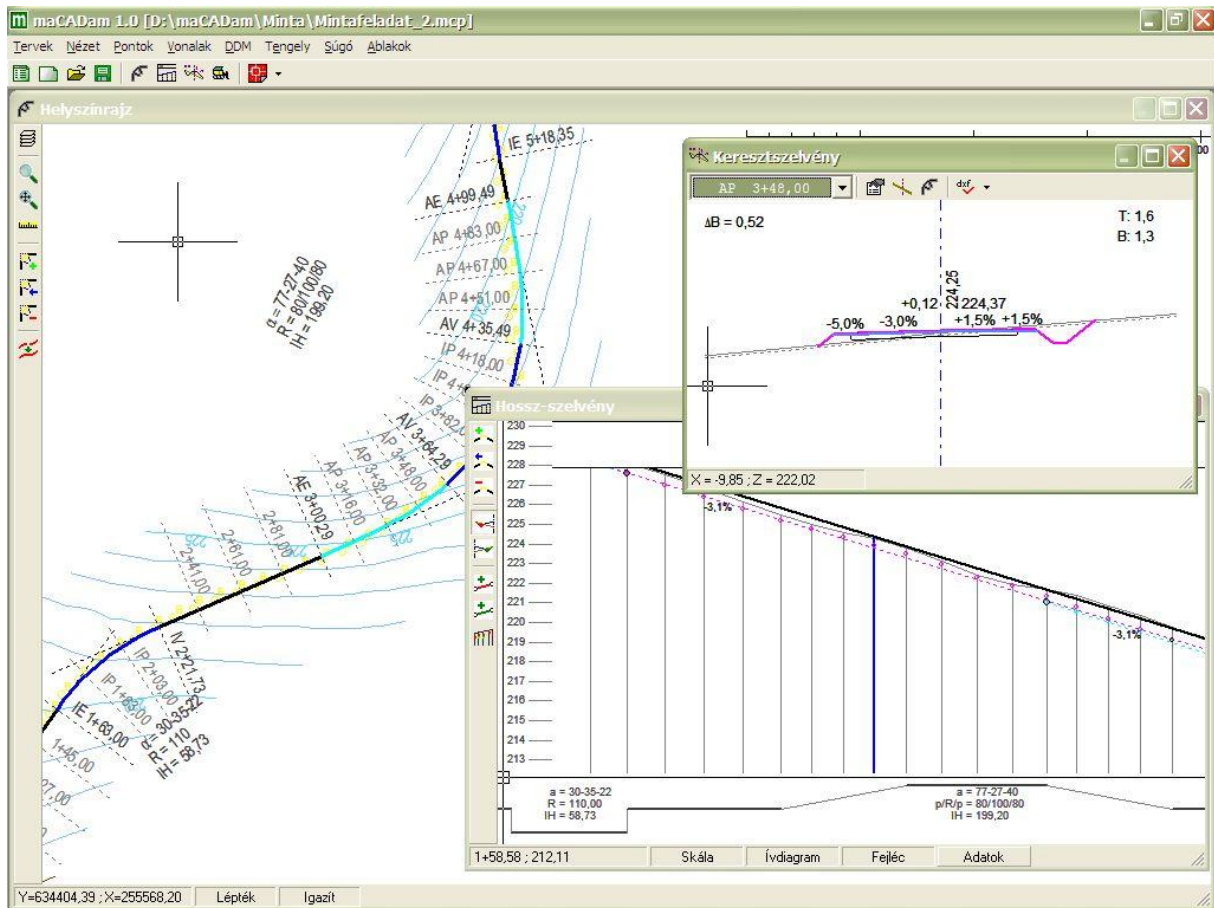
A feltáráshálózatok és ezek egyes elemei, az erdészeti utak tervezésében a geoinformatikának, a digitális mérés technikán belül a GPS technikának, korszerű geodéziai mérőműszereknek, valamint az úttervező és általános grafikus tervező szoftvereknek van a legnagyobb jelentősége.

Erdészeti utak tervezését támogató szoftver felépítése és működése

A Tanszékünkön kifejlesztett maCADam szoftver egy fő ablakból és az azon belül megnyíló ablakokból épül fel. A fő ablakban az általánosan használható eszközöket tartalmazó menüsor és eszköztár található. Az egyes munkarészek saját eszközei az adott ablakban megjelenő eszköztárból érhetők el.

A szoftver a terepi felmérésekkel kapott három koordinátás ponthalmazból szabálytalan háromszöghálós felületmodellt készít, amelynek segítségével a helyszínrajzi ablakban megtervezett tengely pontjainak magasságából megrajzolt terepvonalat a hossz-szelvény ablakban a kereszt-szelvények terepvonalát a kereszt-szelvény ablakban szemléltethetjük. A mintakereszt-szelvény jellemző adatai, illetve a szélesítés és túlemelés számításának és kifuttatásának megoldásai megadására külön menüpont áll rendelkezésre. A pálya magassági értelmű megtervezése és a hossz irányú vízvezetés tervezése a hossz-szelvény ablakban történik, amelyet azonnal kontrollálhatunk a kereszt-szelvény ablakban. A kereszt-szelvény ablakban a vízvezetéssel kapcsolatos árokszintek és szükséges kinyitások tervezhetők meg. A kidolgozott tervváltozat földtömegeloszlását a földtömeg számítási ablakban szemléltethetjük.

Az úttervező szoftver hatékony használatához az egyes programrészek által alkalmazott számítások elméleti alapjainak ismerete is szükséges, ezért a fejezet további részében a programok működésének alapelveit és az alkalmazott fontosabb eljárásokat mutatjuk be.

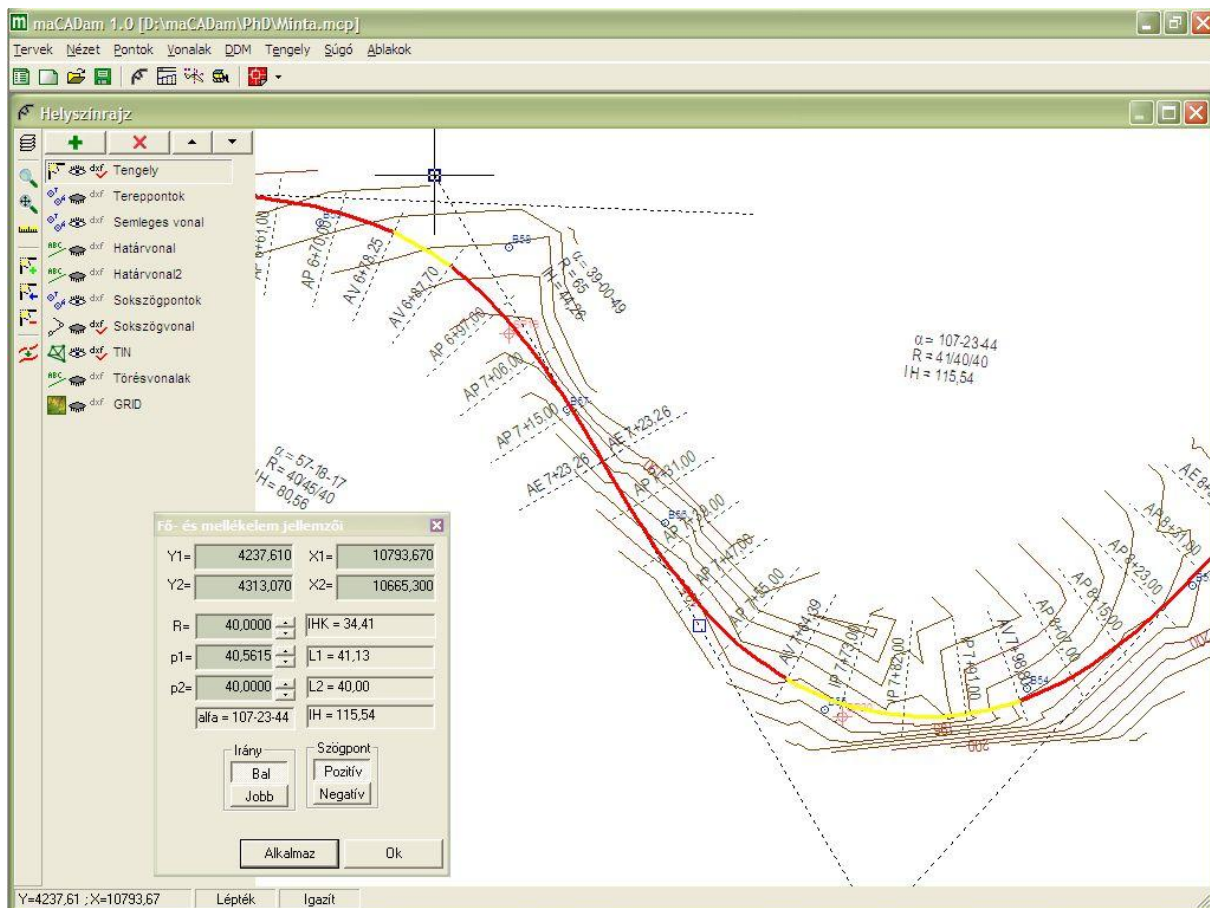


Erdészeti utak tervezését támogató szoftver

Helyszínrajzi tervezés

A koordináta-rendszerben történő helyszínrajzi tervezéshez a kitűzött semleges vonal, és az ettől jobbra és balra futó terespáv pontjainak felmérésére van szükség. A felméréshez előre meghatározott és állandósított alappontok között vezetett sokszögvonalat használunk, amelynek töréspontjai a semleges vonal közelében helyezkednek el. A sokszögpontokból mint alappontokból poláris részletméréseket végzünk a semleges vonal pontjainak és a tereppontok koordinátáinak meghatározásához. A sokszögvonal bemérésének és a részletméréseknek az eszköze a mérőállomás, amelyből a mérési adatok számítógépre tölthetők át. Az alappontok és részletpontok koordinátáinak meghatározását geodéziai számítások elvégzésére írt számítógépes programokkal végezhetjük hatékonyan.

A helyszínrajzi tervezéshez használt koordináta-rendszer megegyezik a geodéziában használt jobsodrású rendszerrel (EOV), vagyis az X tengelyt jobb irányú forgatással juttathatjuk az Y-ba, illetve a magasságot jelentő Z-be.

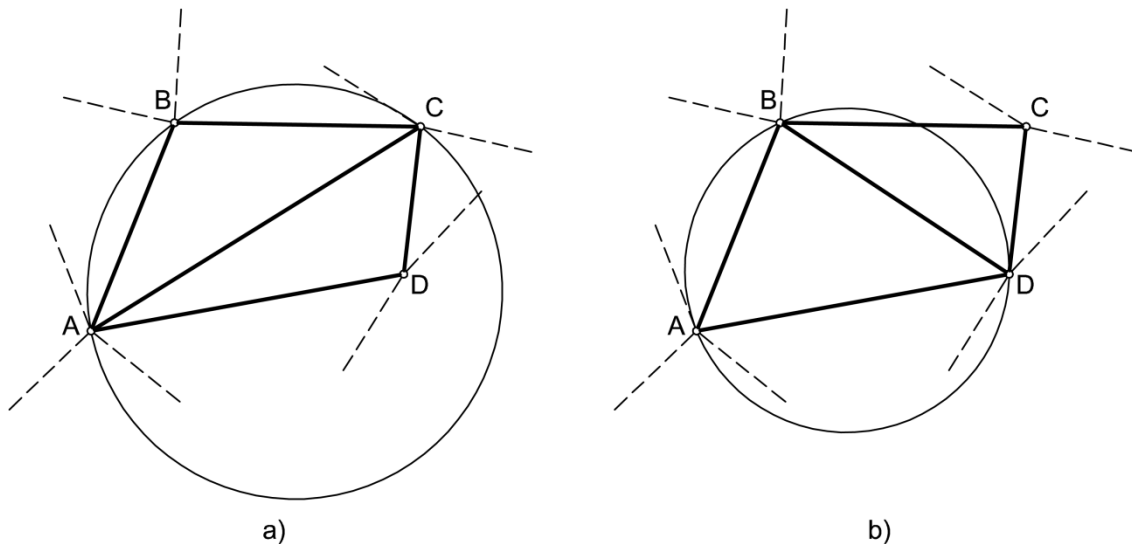


Helyszínrajz ablak

Digitális terepmodell

A helyszínrajzi tengely tervezésének megkezdése előtt az úttervező szoftver felületmodellező eszközével célszerű az alappontok, tereppontok és semleges vonal pontok felhasználásával digitális terepmodellt generálni. Ennek segítségével a helyszínrajzi vonalvezetési változatok hossz-szelvény és kereszt-szelvény terepvonalai szinte azonnal előállíthatók, amelyek elősegítik a legtöbb szempontból kedvező variáció kiválasztását.

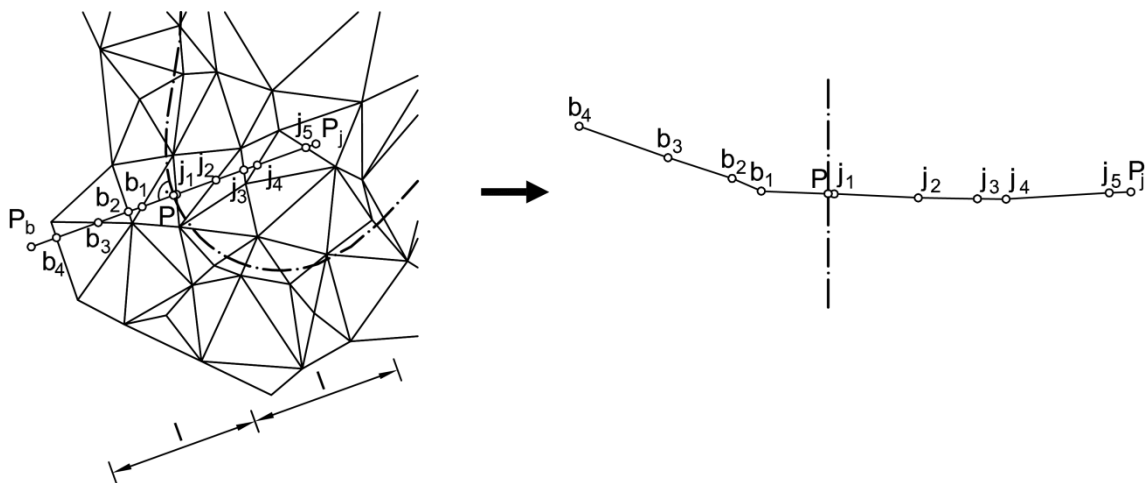
A három koordinátával adott ponthalmazra az úttervező szoftver felületmodellező eszköze egy szabálytalan háromszöghálót (Triangulated Irregular Network) generál. Az ilyen úgynevezett TIN modellek előnye a rácshálós alkalmazással szemben az, hogy a tér szélsőséges irányváltoztatásait kisebb hibával tudják követni. A TIN modellt a Delaunay (ejtsd: Döloné) féle háromszögelési módszer alapján megírt számítógépes program hozza létre. A Delaunay feltételeknek a TIN modellben azok a háromszögek tesznek eleget, amelyeknek egy kör megy át a három csúcspontján (a modell csomópontjain) és a körön belül nincs további csomópont.



A Delaunay feltételeknek nem megfelelő (a) és megfelelő háromszög (b)

Az egyes helysínrajzi tengelyváltzatok tengelypontjainak $P(X_P, Y_P)$ magassága (Z_P) a térbeli háromszögon belül, a csúcspontok alkotta sík paraméteres egyenletrendszer segítségével határozható meg.

A P tengelypont keresztmetszvény-terepvonalának meghatározásához először a terepsáv szélességét kell megadni. A terepvonal töréspontjai a tengelyre állított merőleges és a megfelelő terepmodell-háromszögek élének metszéspontjaiban adódnak.



Keresztmetszvény-terepvonal meghatározásának elve

Helysínrajzi főpontszámítás

A helysínrajzi főpontszámítás feladata:

- a tengelyvonal főpontjainak meghatározása, amely átmeneti íves körív esetén az átmeneti ív eleje $\hat{A}E$ és átmeneti ív vége $\hat{A}V$, tiszta körív esetén az ív eleje IE és ív vége IV pontokat jelenti;
- a fő- és mellékelemek illeszthetőségének ellenőrzése.

A helysínrajzon megkülönböztetünk fő- és mellékelemeket. Főelemek az egyenesek, amelyek helyzetét a tervezés során két pontjukkal adjuk meg. Ügyelnünk kell arra, hogy a pontok a tengelyvonal haladásának megfelelően kövessék egymást. Vagyis az egyenesen az első pontból a

szelvényezés irányába haladva érhetünk a második pontba. Ez azért fontos, mert ez határozza meg a tervezendő ívek irányát, illetve az úttengely jobb és bal oldalát. A főelemek egymáshoz mellékelemekkel (átmeneti ív, körív) kapcsolódnak. A mellékelemeket csak részben definiáljuk, mert ezek a megfelelő képletek és algoritmusok segítségével már számíthatók. A grafikus képernyőn a semleges vonal kissé hullámos szakaszaira egyeneseket (főelemek) illesztünk, majd az egyenesek metszéspontjainál tiszta köríveket, illetve átmeneti íves köríveket (mellékelemek) tervezünk. A program számítja a mellékelemet, illetve a főelemek és mellékelemek csatlakozási pontjait IE , IV , $ÁE$, $ÁV$. Ha főelemeink közé a megadott mellékelem nem helyezhető el, akkor a program hibajelzést ad. Amennyiben a főpontok koordinátái meghatározhatók, akkor a részlet-pontok is minden esetben kiszámíthatók.

Két főelem metszéspontjánál tervezendő ív beillesztéséhez, vagyis az IE , IV , $ÁE$, $ÁV$ főpontok koordinátáinak kiszámításához az úttervező szoftver az alábbi adatokat használja:

- a körívet vagy átmeneti íves körívet érintő 1. egyenes két pontjának koordinátái:

$$A: X_A \text{ és } Y_A,$$

$$B: X_B \text{ és } Y_B,$$

- a körívet vagy átmeneti íves körívet érintő 2. egyenes két pontjának koordinátái:

$$C: X_C \text{ és } Y_C,$$

$$D: X_D \text{ és } Y_D,$$

- a körív sugarának R előjeles értéke, amely pozitív, ha jobb és negatív, ha bal ívről van szó;
- átmeneti íves körív esetén a bemenő és a kijövő átmeneti ív p_1 és p_2 paramétere.

A két egyenes δ_1 és δ_2 irányszögét a

$$\delta = \arctg \frac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i}$$

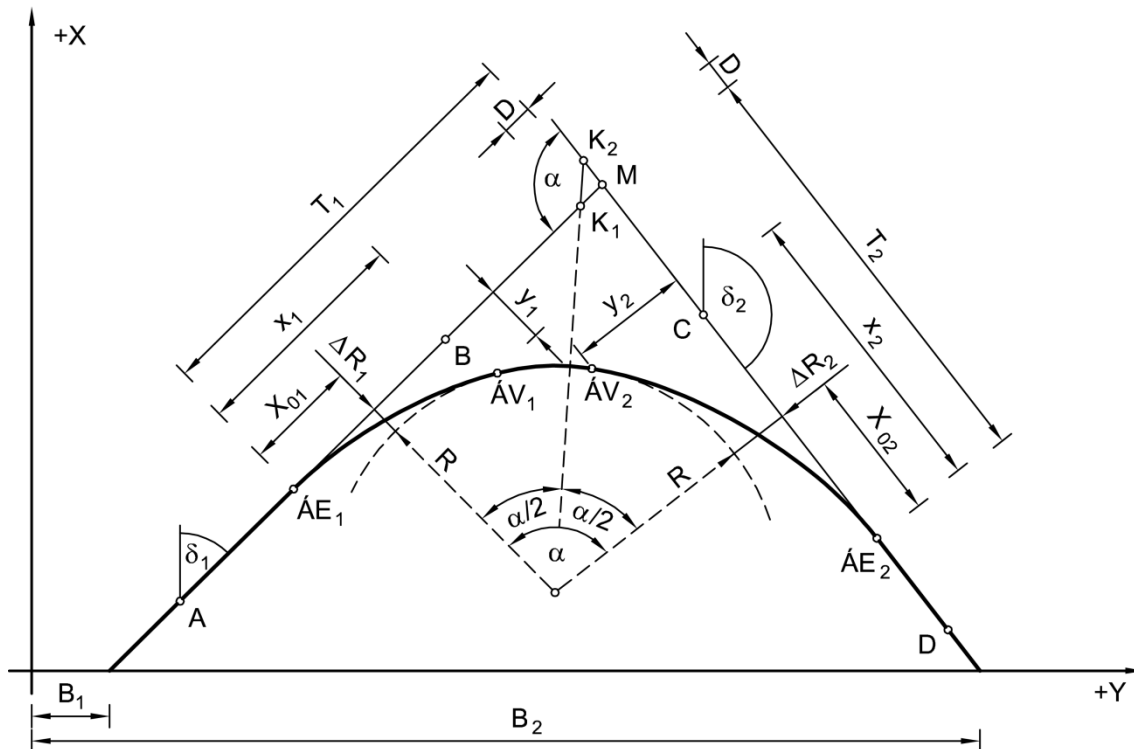
összefüggéssel kapjuk, amelyben az első egyenes esetében $X_i = X_A$, $Y_i = Y_A$, illetve $X_{i+1} = X_B$, $Y_{i+1} = Y_B$ a második egyenes irányszögének számításánál pedig $X_i = X_C$, $Y_i = Y_C$, illetve $X_{i+1} = X_D$, $Y_{i+1} = Y_D$. Ezt követően a két egyenes metszéspontjának X_M , Y_M koordinátáit a következőképpen kapjuk:

$$Y_A = X_A \cdot \operatorname{tg} \delta_1 + B_1, \text{ amelyből } B_1 = Y_A - X_A \cdot \operatorname{tg} \delta_1$$

$$Y_C = X_C \cdot \operatorname{tg} \delta_2 + B_2, \text{ amelyből } B_2 = Y_C - X_C \cdot \operatorname{tg} \delta_2$$

$$Y_M = X_M \cdot \operatorname{tg} \delta_1 + B_1 = X_M \cdot \operatorname{tg} \delta_2 + B_2,$$

$$X_M = \frac{B_2 - B_1}{\operatorname{tg} \delta_1 - \operatorname{tg} \delta_2}.$$



Helyszínrajzi főpontszámítás geometriai tartalma

A két egyenes egymással bezárt szöge β :

$$\beta = \delta_2 - \delta_1,$$

Ezután az ív középponti szöge α :

- ha pozitív szögpontú ívet tervezünk ($\alpha < 180^\circ$), akkor

$$\alpha = \beta$$

- ha negatív szögpontú ívet tervezünk ($\alpha > 180^\circ$), akkor

$$\alpha' = 360^\circ - \beta$$

A főpontok egyenesekre vonatkozó relatív koordinátáinak számításához szükségünk van az átmeneti ívek hosszára L , köríveltolás ΔR és körívközepont abszcissza X_0 értékeire, amelyek az alábbi összefüggésekkel számíthatók:

$$L = \frac{P^2}{R}$$

$$\Delta R = \frac{L^2}{24R} - \frac{L^4}{(24R)^2} \cdot \frac{1}{4,67R}$$

$$X_0 = \frac{L}{2} - \frac{L^3}{240R^2}$$

A továbbiakban használt képletek α középponti szögtől függően a következők:

- ha $\alpha < 180^\circ$

$$D = \frac{\Delta R_1 - \Delta R_2}{\sin \alpha}$$

$$T_1 = X_{01} + (R + \Delta R_1) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} - D$$

$$T_2 = X_{02} + (R + \Delta R_2) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + D$$

- ha $\alpha > 180^\circ$

$$D_N = \frac{\Delta R_1 - \Delta R_2}{\sin \alpha'}$$

$$T_1 = (R + \Delta R_1) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha'}{2} - X_{01} - D_N$$

$$T_2 = (R + \Delta R_2) \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha'}{2} - X_{02} + D_N$$

Fenti képletekben használt jelölések értelmezése az alábbi:

- D illetve D_N : az átmeneti ívek különböző köriveltolásából adódó eltérés egyenesek irányába eső vetülete (K_1, M és a K_2, M pontok közötti távolság);
- T_1, T_2 : az egyenesek metszéspontjától az átmeneti ívek elejéig tartó távolságok (érintőhosszak). Tiszta körív esetén $T_1 = T_2$, mivel $X_0, \Delta R$ és D egyaránt nulla.

D értékének meghatározásához használt képlet számlálójában fontos a sorrend ($\Delta R_1 - \Delta R_2$), mert T_1 és T_2 kiszámítására alkalmazott összefüggéssel kapott eredmény csak így felel meg a tényleges hosszak. Ha ugyanis $\Delta R_1 < \Delta R_2$, akkor D előjele negatív lesz, így T_1 számításánál D hozzáadódik az előtte lévő tagok értékéhez, míg T_2 esetében levonódik a tagok értékéből.

Az átmeneti ívek végeinek egyenesekre vonatkoztatott, az átmeneti ív elejétől számított relatív koordinátái x_1, y_1 és x_2, y_2 az alábbi képletekbe helyettesítve kaphatjuk meg:

$$x = l - \frac{l^5}{40p^4} + \frac{l^9}{3456p^8}, \quad y = \frac{l^3}{6p^2} - \frac{l^7}{336p^6} + \frac{l^{11}}{42240p^{10}},$$

amelyben:

- $l = L_1$, majd $l = L_2$;
- $p = p_1$, majd $p = p_2$.

Végül a főpontok X, Y koordinátáit a következő transzformációs összefüggéssel határozzuk meg:

$$X = X_i + \eta \cdot \cos \delta - \xi \cdot \sin \delta,$$

$$Y = Y_i + \eta \cdot \sin \delta + \xi \cdot \cos \delta,$$

amelyben:

- $X_i = X_M$;
- $Y_i = Y_M$;

ha $\alpha < 180^\circ$

$\acute{A}E_1, \acute{A}E_2$; IE, IV pontok esetén:

$$\eta = -T_1, \text{ illetve } \eta = +T_2;$$

$$\xi = 0;$$

$\acute{A}V_1, \acute{A}V_2$ pontok esetén:

$$\eta = x_1 - T_1, \text{ illetve } \eta = T_2 - x_2;$$

$$\xi = \pm y_1, \text{ illetve } \xi = \pm y_2,$$

ahol az előjelek a sugár előjele szerint alakulnak;

ha $\alpha > 180^\circ$

$\acute{A}E_1, \acute{A}E_2$; IE, IV pontok esetén:

$$\eta = +T_1, \text{ illetve } \eta = -T_2;$$

$$\xi = 0;$$

$\acute{A}V_1, \acute{A}V_2$ pontok esetén:

$$\eta = x_1 + T_1, \text{ illetve } \eta = -T_2 - x_2;$$

$$\xi = \pm y_1, \text{ illetve } \xi = \pm y_2,$$

ahol az előjelek a sugár előjele szerint alakulnak.

Az érintő egyenesek (főelemek) helyzetének és az ívek (mellékelemek) megadandó jellemzőinek (R, ρ) dinamikus változtatásával a grafikus képernyőn a legtöbb igényt kielégítő helyszínrajzi tengely rövid idő alatt, könnyen megtervezhető.

Helyszínrajzi részletpontszámítás

A főpontok között elhelyezkedő részletpontok koordinátáinak számításához a főpontszámítás eredményén kívül ismernünk kell a szelvényezési tömböt és a speciális pontokat. Ezek jelentése a következő:

- szelvényezési tömbnek nevezzük azon adatok halmazát, amelyben megadjuk, hogy egyenesben, illetve ívekben milyen távolságra legyenek egymástól a kítűzendő pontok;
- speciális pontoknak nevezzük azon adatok halmazát, amelyben megadjuk azon pontok nevét és szelvényét, amelyeket szintén ki szeretnénk tűzni.

A részletpontok X, Y koordinátáit a pontok jellegétől függően különböző eljárásokkal számítjuk:

a.) Egyenesben:

$$X = X_i + \eta \cdot \cos \delta - \xi \cdot \sin \delta,$$

$$Y = Y_i + \eta \cdot \sin \delta + \xi \cdot \cos \delta,$$

ahol:

- X_i, Y_i : a körívől kijövő átmeneti ív eleje $\acute{A}E$, illetve tiszta körívnél ív vége IV pont X, Y koordinátái;

- η : a kitűzendő és az \overline{AE} vagy IV pontok szelvényértékei közötti különbség;
- ξ : nulla;
- δ : a két egymást követő ív közötti egyenes irányszöge.

b.) Átmeneti ívben először a részletpontok két ív közötti egyenesre vonatkoztatott, \overline{AE} ponttól számított x, y relatív koordinátáit a

$$x = l - \frac{l^5}{40p^4} + \frac{l^9}{3456p^8}, \quad y = \frac{l^3}{6p^2} - \frac{l^7}{336p^6} + \frac{l^{11}}{42240p^{10}}$$

képletekkel számítjuk,

ahol:

- p : először a körívbe behaladó, majd az abból kihaladó átmeneti ív paramétere;
- l : az átmeneti ív elejei és a kitűzendő pontok szelvényértékei közötti különbség.

Ezek után a részletpontok X, Y koordinátáit az a.) ponthoz hasonlóan kapjuk annyi különbséggel, hogy η, ξ helyébe ebben az esetben a körívet megelőző átmeneti ívnél x, y , a körívet elhagyó átmeneti ívnél $x, -y$ helyettesítendő. A kihaladó átmeneti ívnél δ értékének az \overline{AE} pont és a következő ív \overline{AE} vagy IE pontja közötti egyenes irányszögének 180° -al megnövelt értékét vesszük figyelembe. Erre azért van szükség, mert itt a szelvényezési iránnyal ellentétesen történik a pontok X, Y koordinátáinak meghatározása.

c.) Átmeneti íves köríven, a köríves szakaszon lévő részletpontok esetén a b.) ponthoz hasonlóan az egyenesre vonatkozó, \overline{AE} ponttól számított x, y relatív koordinátáit az

$$\alpha_k = \frac{\Delta IH}{R} + \tau ;$$

$$x = R \cdot \sin \alpha_k + X_0, \quad y = R \cdot (1 - \cos \alpha_k) + \Delta R$$

összefüggésekkel kapjuk,

ahol:

- ΔIH : a körív pont és az átmeneti ív vége főpont szelvényezési értékeinek különbsége;
- τ : az átmeneti ív félhosszához tartozó középponti szög;
- α_k : a ΔIH hosszúságú körívhez és az átmeneti ív félhosszához tartozó középponti szögek összege.

Az X, Y koordináták meghatározása a behaladó átmeneti ív szerint történik.

Az úttervező szoftver a grafikus képernyőn megadott főelemek és mellékelemek alapján a fentiekben bemutatott fő- és részletpontszámításokat valós időben azonnal elvégzi, amelyek a helyszínrajzi grafikus ablakban láthatók is.

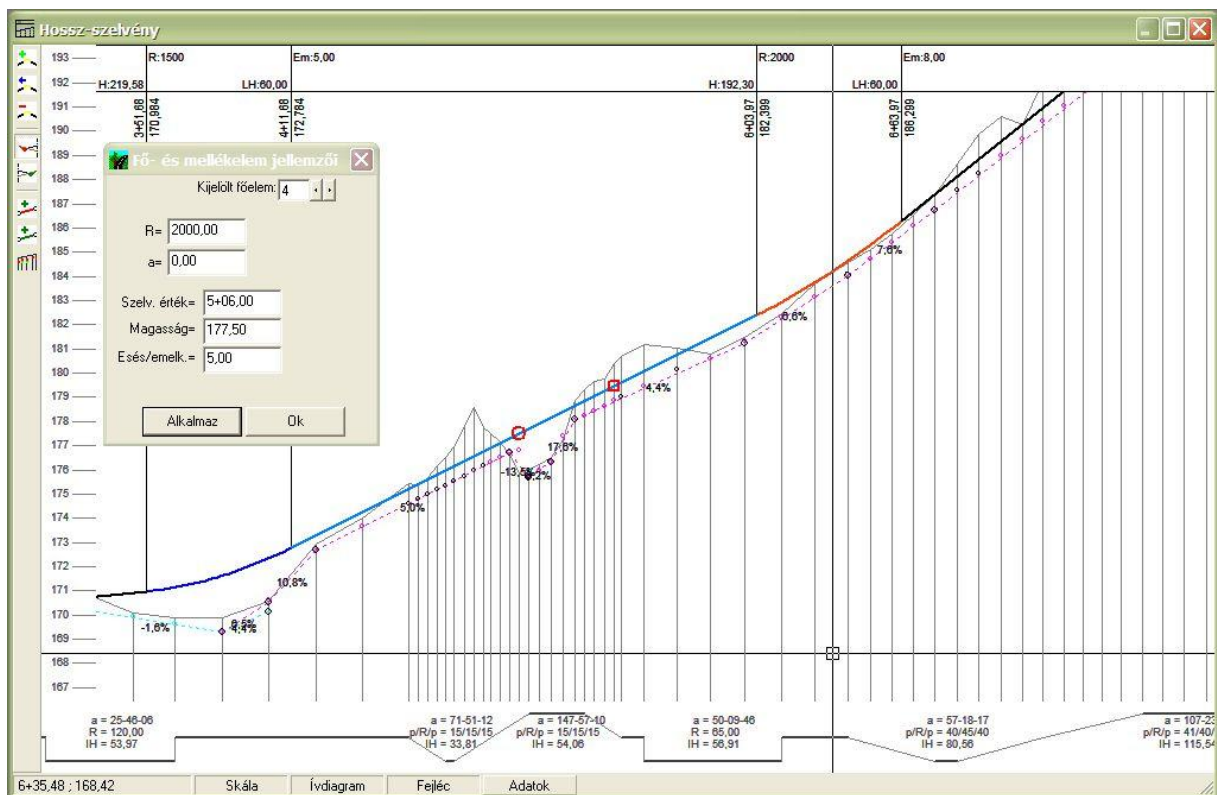
Hossz-szelvény tervezés

Az úttengely magassági helyzetének tervezéséhez a helyszínrajzi fő- és részletpontok terepmagasságaira van szükség, amelyet a helyszínrajzi tervezésénél ismertett részletes

terepfelvétel után létrehozott terepmodell segítségével határozzuk meg. A hossz-szelvény tervezésnél alkalmazott koordinátarendszer vízszintes tengelyén (x) a kezdőponttól a szelvényezési értékeknek megfelelő távolságra lévő helyszínrázi fő- és részletpontok helyezkednek el. A függőleges tengelyen (z) pedig a pontok magasságait ábrázoljuk. Ebben a rendszerben az összetartozó szelvény- és magassági értékek összekötésével megkapott terepvonal képezi az alapját az úttengely magassági értelmű megtervezésének.

A tervezés a terepvonal tendenciáját jól követő egyenlejtésű egyenesek helyzetének rögzítésével indul. Az így kapott magassági sokszögvonal oldalai lesznek a főelemek, a töréspontoknál tervezendő lekerekítő ívek pedig a mellékelemek. A töréspontok és a lekerekítő ívek kezdő- és végpontjai (LE, LV) a főpontok, az ezeken kívüli pontok pedig a részletpontok.

Az úttervező szoftver a fő- és részletpont-számításokat az adatmegadásokkal és módosításokkal egy időben azonnal elvégzi, csak a könnyebb átláthatóság miatt szerepelnek külön alfejezetben.



Hossz-szelvény ablak

Hossz-szelvény főpontszámítás

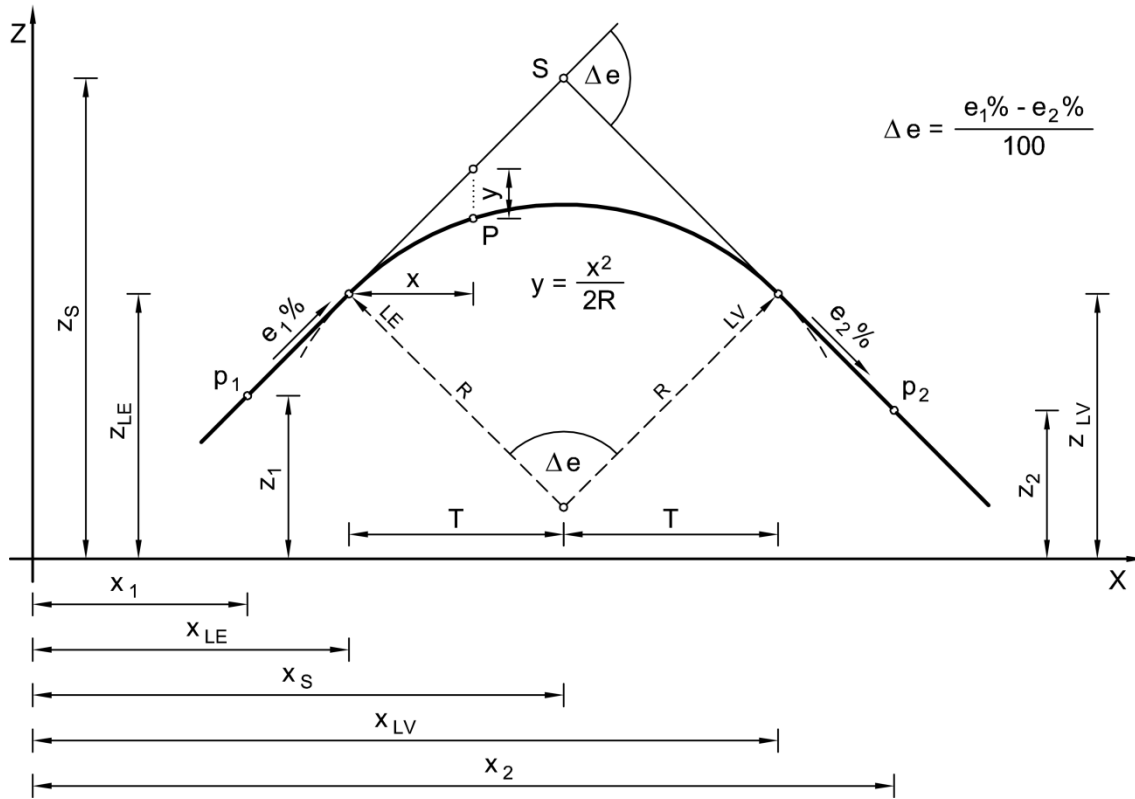
Ez a számítási lépés a grafikusán megtervezett magassági vonalvezetés töréspontjainak, illetve a magassági lekerekítő ívek eleje LE és vége LV szelvényértékének és magasságának meghatározására szolgál. A töréspontokat, valamint a magassági lekerekítő ívek eleje LE és vége LV pontjait a magassági vonalvezetés főpontjainak nevezünk.

A grafikusán megtervezett egyenlejtésű egyeneseket metszésre hozva egy magassági sokszögvonalat kapunk. Ennek felhasználásával a hossz-szelvény főpontjainak számítása az alábbiak szerint történik:

a.) Amennyiben két egymást követő egyenlejtésű egyenes töréskülönbsége az 1,00%-ot meghaladja, magassági lekerekítő ívet tervezünk. A számítás következőképpen történik:

- az egyenlejtésű egyenesek esését vagy emelkedését, valamint egy pontjának szelvényezési értékét és magasságát megadva meghatározható a két egymást követő sokszögoldal metszéspontjának szelvényezési értéke és magassága;
- megadva a lekerekítő ív sugarát a lekerekítő ív felének vetülete ill. jó közelítéssel fél ívhossza (T) számítható, amelyet felhasználva a lekerekítő ív elejének (LE) és végének (LV) szelvényezési értéke és magassága meghatározható.

b.) Ha az egymást követő vertikális sokszögoldalok közötti töréskülönbség kisebb 1,00%-nál, akkor elegendő csak a metszéspont meghatározása.



Magassági lekerekítő ív

A főpontok meghatározása a következő képletekkel történik:

- két egymást követő egyenlejtésű egyenes metszéspontjának szelvényezési értékét (x_s) és magasságát (z_s) az alábbi összefüggésekkel kapjuk:

$$x_s = \left| \frac{z_2 - z_1 + x_1 e_1 - x_2 e_2}{e_1 - e_2} \right|, \quad z_s = z_1 + (x_s - x_1) e_1$$

- az R sugarú lekerekítő ív felének vetülete ill. jó közelítéssel fél ívhossza (T):

$$T = \left| \frac{R(e_1 - e_2)}{2} \right|$$

- a számított metszéspont szelvényértékét (x_s) és magasságát (z_s) felhasználva, a lekerekítő ív elejének és végének szelvényezési értéke (x_{LE} , x_{LV}) és magassága (z_{LE} , z_{LV}):

$$x_{LE} = x_s - T, \quad x_{LV} = x_s + T$$

$$z_{LE} = z_S - (T \cdot e_1), \quad z_{LV} = z_S + (T \cdot e_2)$$

ahol az egyes jelölések értelmezése az alábbi:

- x_1, x_2 valamint z_1, z_2 : az egymást követező két egyenlejtésű egyenes egy-egy pontjának szelvényezési értékei és magasságai;
- e_1, e_2 : a két egyenlejtésű egyenes emelkedés vagy esés értéke viszonyszámban kifejezve ($e=e\%/100$), amelynek előjele emelkedőnél "+" lejtőnél "-".

Hossz-szelvény részletpontszámítás

Ez a számítási lépés az úttengely pontjai magasságának a tervezett magassági vonalvezetés szerinti meghatározására szolgál.

Az egyes szelvénypontokban a pálya magasságának számítása kétféleképpen történik:

- az egyenlejtésű egyenes két főpont közötti szakaszán, az előző már meghatározott magasságú pontból, a szelvénykülönbség és az emelkedő vagy lejtő érték alapján;
- lekerekítő ívben: parabola képlet segítségével.

A részletpontszámítás az alábbi összefüggések felhasználásával történik:

- a magassági sokszögoldal főpontok közötti szakaszán az n -dik szelvénypontban a pálya magassága z_n :

$$z_n = z_{n-1} + (s_n - s_{n-1}) \cdot \frac{e_i \%}{100},$$

ahol:

- $e_i\%$: az i -edik egyenlejtésű szakasz emelkedő (+) vagy esés (-) értéke százalékban,
- s_{n-1}, s_n : az $n-1$ -edik és n -edik tengelypont szelvényezési értéke (m),
- z_{n-1} : az előző pontban a pálya magassága(m).

- lekerekítő ívben:

- Az íven bármely pont magasságát úgy kapjuk, hogy először meghatározzuk a keresett szelvényértékű pont magasságát az érintő egyenesen, majd az

$$y = \frac{x^2}{2R}$$

parabola képlettel számolva az "y" magasságkülönbséget az előbbi magasságból levonva (domború lekerekítő ív) vagy ehhez hozzá adva (homorú lekerekítő ív) kapjuk az íven a pályamagasságot.

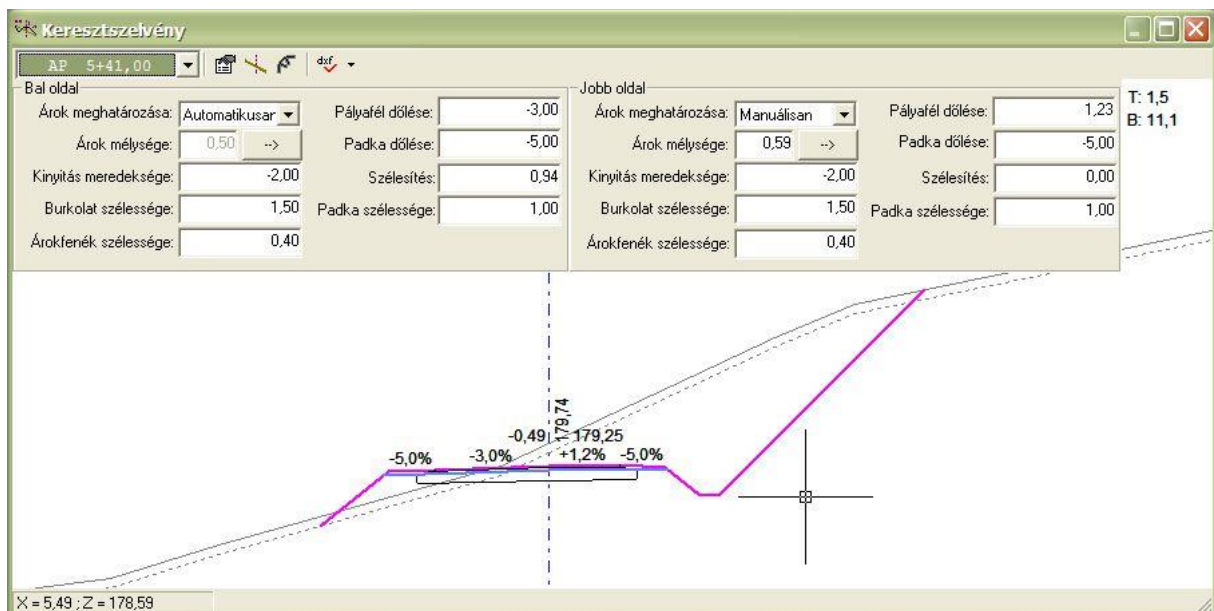
Keresztmetszeti tervezés

Az úttengely helyszínrajzi és magassági helyzetének megtervezése után az út keresztmetszeti kialakítását a helyszínrajzi fő- és részletpontokban a kereszt-szelvény ablakban tekinthetjük meg, illetve szerkeszthetjük. Bemeneti adatként az egyenesben lévő mintakereszt-szelvény jellemzőit (a pályaszerkezet rétegeinek vastagsága és szélessége, a pályaszint és földműszint magasságkülönbsége, a burkolat szélessége és dőlése, a padka szélessége és dőlése, az árokfenék

szélessége, az árokmélység, a humuszvastagság, a rézsűk hajlása), valamint a túmelés és szélesítés számításának és kifuttatásának módját kell megadni. A keresztaszelvények megjelenítéséhez ezen kívül szükség van minden szelvényponuban a helyszínrajzi tengelyre merőleges irányú függőleges sík és a terep metszsvonalára, vagyis a keresztaszelvények terepvonalára. Ezek előállíthatók a TIN felületmodell felhasználásával.

A keresztaszelvények megjelenítéséhez alkalmazott koordináta-rendszer vízszintes tengelye (x) a tengelytől balra negatív, jobbra pozitív, függőleges tengelye (z magassági tengely) az adott keresztaszelvény pályaszintjének megfelelő magassági tartományban látható. Ebből következően a keresztaszelvény ablakban mindig csak egy szelvényponthoz tartozó keresztmetszet látható.

A keresztaszelvények grafikus képernyőn való megjelenítéséhez a mintakeresztaszelvény jellemző adatai és a kifuttatás módja alapján meghatározott szélesítés és túmelés értékek felhasználásával, az egyes keresztaszelvények töréspontjainak meghatározására van szükség. Ez a keresztaszelvények koordináta-rendszerében a különböző dőlésű egyenesek metszéspontjainak kiszámítását jelenti, amelyek az adott keresztaszelvény szerkesztésekor (pl.: rakodók vagy lejárók keresztaszelvényeinél, az árokmélység módosításánál stb.) a kívánt értékek manuális vagy grafikus megadásával módosíthatók.



Keresztaszelvény ablak

Vízvezetés tervezése

A burkolatról illetve a terepről lefolyó víz elvezetésének megoldása a földmű és ezen keresztül az egész út állapotát és teherbírását befolyásolja. A vízvezetés gondos tervezéséhez a hosszszelvényen és az egyes keresztaszelvényekben végrehajtott módosítások egyidejű megjelenítésére van szükség. A keresztaszelvényekben előzetesen megtervezett árokfenék szintek a hosszszelvényben megjeleníthetők, majd hosszabb-rövidebb egyenlejtésű árokfenék-szakaszokkal kiegyenlíthetők. Eközben az érintett árokfenék-szintek automatikusan módosulnak a keresztaszelvényekben, amelyről a hosszszelvény ablak és a keresztaszelvény ablak egymás alá helyezéssel győződhetünk meg.

Földtömegszámítás

A földtömegszámítás az eddig ismertetett tervezési lépésekkel elkészített helyszínrajzi és hosszszelvény variáció földművének megépítéséhez szükséges földtömeg nagyságának és a pálya menti

eloszlásának meghatározására szolgál. Az ennek eredményeként megkapott földtömeg eloszlási diagram lehetővé teszi a hossz-szelvényben tervezett pályaszint vonal legkedvezőbb helyzetének meghatározását a földmozgatás és a földtömeg kiegyenlítés szempontjából.

Az egyes kereszt-szelvények közötti földtest (prizmatoid) bevágási és töltési térfogatának gépi földmunka igényeit kielégítő pontosságú meghatározása a hagyományos tervezésnél alkalmazott képlettel történik. E szerint a két egymást követő kereszt-szelvény humuszszint és a földmű határvonalak közötti bevágási, majd töltési területének átlagát szorozzuk a szelvények közötti távolsággal. A területszámítást a húros planiméter elvének megfelelően úgy végezzük, hogy a meghatározandó területet egymástól kis távolságra lévő párhuzamos vonalakkal trapézokra bontjuk, majd ezek területét összegezzük. A számítás a következők szerint történik:

- ha $h_{i,j} > 0$, akkor töltési terület számítunk az alábbi képlettel:

$$T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} h_{i,j} \cdot d_i$$

ahol:

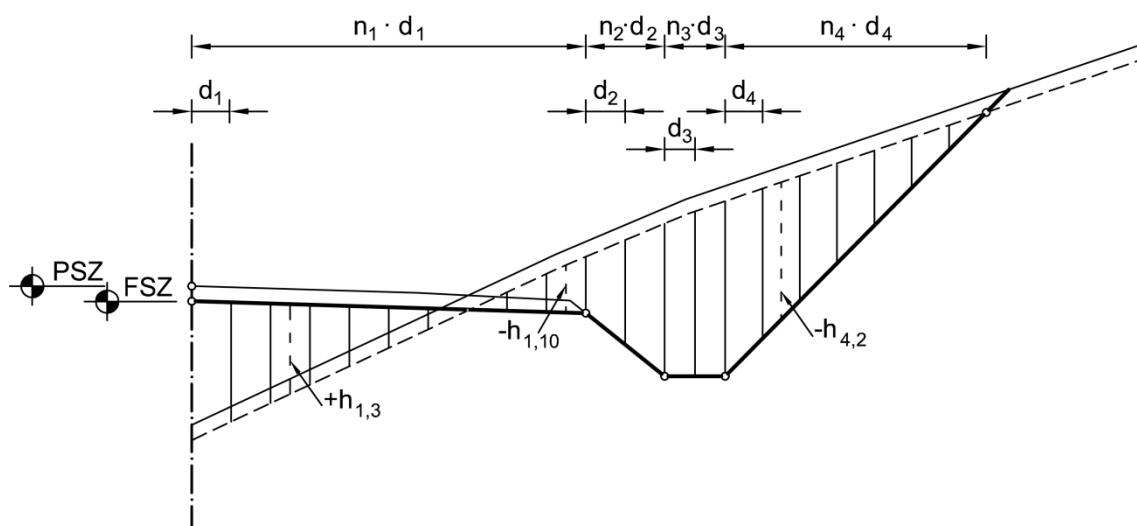
- T : a kereszt-szelvény töltési területe (m^2),
- m : a földművet határoló vonallánc szakaszainak száma,
- n_i : az i -edik szakaszon elhelyezett elemi trapézok száma,
- d_i : az i -edik szakaszon elhelyezett elemi trapézok magassága (0,10 m),
- $h_{i,j}$: az i -edik szakaszon elhelyezett j -edik elemi trapéz középvonalának hossza (m);

- ha $h_{i,j} < 0$, akkor bevágási terület számítunk az alábbi képlettel:

$$B = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} |h_{i,j}| \cdot d_i$$

ahol:

- B : a kereszt-szelvény bevágási területe (m^2),
- m : a földművet határoló vonallánc szakaszainak száma,
- n_i : az i -edik szakaszon elhelyezett elemi trapézok száma,
- d_i : az i -edik szakaszon elhelyezett elemi trapézok magassága (0,10 m),
- $h_{i,j}$: az i -edik szakaszon elhelyezett j -edik elemi trapéz középvonalának hossza (m).



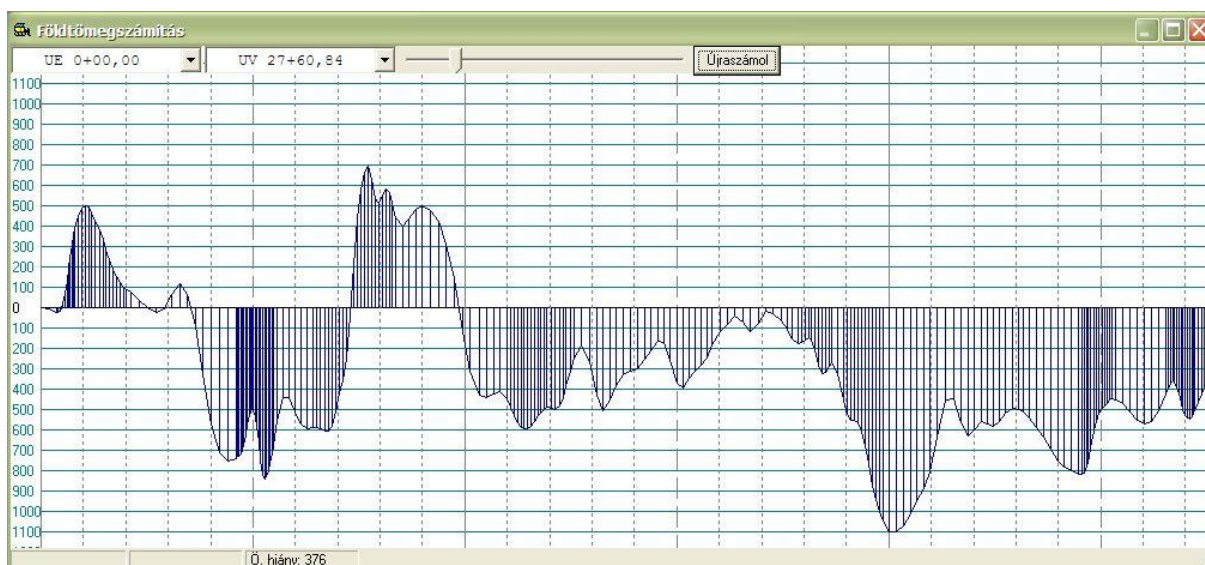
Keresztszelvények területének számítása

A tervezett úton, vagy annak egy kiválasztott szakaszán a földtömeg eloszlásának ábrázolása a töltési és bevágási földtömegeket összegző grafikon előállításával a Földtömegszámítás ablakban történik. A grafikon vízszintes tengelyén a szelvényezési értékek, függőleges tengelyén az összegzett földtömegek (m³) szerepelnek. A grafikon *i*-edik pontjának értéke a következő képlettel számítható:

$$V_i = \sum_{i=m}^n V_{B,i} - V_{T,i}$$

ahol:

- V_i : az *i*-edik szelvényben a göngyöltett földtömeg értéke, amely negatív érték esetén hiányt, pozitív érték esetén felesleget jelent (m³),
- m, n : a vizsgált szakasz kezdő- és végszelvényének sorszáma,
- $V_{B,i} - V_{T,i}$: az *i*-1-dik és az *i*-edik szelvények közötti szakasz földtömeg feleslege vagy hiánya (m³).



Földtömegszámítás ablak

A fentiek szerint előállított grafikon szemléletesen ábrázolja egy-egy szakasz (vagy a teljes út) mozgató földtömegeinek eloszlását. Azokon a szakaszokon, ahol a grafikon emelkedő tendenciát mutat, felesleg keletkezik. Ahol a grafikon egymást követő értékei csökkennek, földhiánnyal kell számolni. A vizsgált szakasz földtömeg-eloszlásának optimalizálása érdekében a tervezőnek egyrészt arra kell törekednie, hogy a szakaszt lezáró keresztshelvényben minél kisebb összegzett felesleg vagy hiány keletkezzen, másrészt arra, hogy a hosszirányú szállítások a lehető legrövidebbek legyenek. A grafikon egymást követő, X tengelyt metsző pontjai között keletkező feleslegek és hiányok kiegyenlítik egymást. Minél sűrűbben követik egymást ezek a pontok, annál rövidebbek lesznek a szállítási távolságok.

A hossz-shelvényben a pályavonal módosításakor a Földtömegszámítás ablakban a grafikon automatikusan frissül, így a tervező azonnal ellenőrizheti a végrehajtott változások földtömegeloszlásra gyakorolt hatását.

Tervdokumentáció elkészítésének támogatása

Az előző fejezetekben ismertetett tervezési lépéseket követően az útépitési tervdokumentáció végleges formában való kinyomtatásához a rajzos munkarészek kiegészítése, a földtömegszámítás és elosztás, valamint a szöveges dokumentumok elkészítése szükséges. A rajzos munkarészek nyomtatható formába hozására az AutoCAD általános grafikus tervező szoftvert, míg a szöveges dokumentumok elkészítéséhez táblázatkezelő és szövegszerkesztő programokat célszerű használni. Ezeket a további feladatokat a maCADam úttervező szoftver az alábbi grafikus és szöveges kimenetek készítésével támogatja:

Rajzos munkarészek (*Helyszínrajz, Hossz-shelvény, Keresztshelvények*) „.dxf” formátumú exportálása. Exportálást követően a rajzok AutoCAD-ben megnyithatók kiegészíthetők, majd nyomtathatók;

A tervezett út pásztája által elfoglalt területet határoló vonallánc „.dxf” exportja, ami a *Területszámítás* munkarész elkészítésének alapja. Az erdészeti térképezés geoinformatikai szoftvere a DigiTerra Map „.dxf” formátumú grafikus import funkcióval is rendelkezik, így az útpásztá kontúrja megjeleníthető és szükséges méretű térképrészlettel együtt nyomtatható;

Kitűzési adatok (koordináták és sokszögoldalakra vonatkoztatott derékszögű össrendező) különböző formátumú exportja;

Az ívekben szükséges túlemelés és szélesítés értékek táblázatos formátumú exportja, amely a *Műszaki leírásba* illeszthető;

Számítógépes listák (Sokszögpontok, helyszínrajzi főpontok adatai, írott hossz-shelvény stb.);

A letermelendő pásztá terepi kijelöléséhez szükséges adatok (pásztaszélesség a kitűzött tengelypontokban) exportálása.

ERDÉSZETI UTAK KORSZERŰ TERVEZÉSE

Az előző fejezetekben említett mérés-technikai és informatikai fejlesztések az erdészeti utak tervezésében is egy új módszer kialakulásához vezettek. Az új módszer előnye hegy- és dombvidéki terepviszonyok között az, hogy a semleges vonal pontjainak és az ezektől jobbra és balra lévő tereppontok alkotta terepsáv mérőállomással, vagy mérőállomás és digitális busszolateodolit alkalmazásával rövid idő alatt felmérhető. A felmért három koordinátás pontokból az úttervező szoftver terepmodellt generál, amelynek segítségével meghatározza a helyszínrajzi tengely pontjainak magasságát és a keresztszelvények terepvonalát, amelyek a további munkarészek (hosszszelvény, keresztaszelvények, földtömegszámítás) elkészítésének alapját képezik. A terepmodell tehát lehetővé teszi azt, hogy a helyszínrajzi tengelyt a kedvezőbb magassági vonalvezetés és földtömegeloszlás igényei szerint tervezzük meg.

Az EOVS koordinátarendszerben történő helyszínrajzi tervezésnek köszönhetően a helyszínrajzi tengely akkor is kitűzhető, ha a felméréskor állandósított alappontok és sokszögpontok megsemmisültek. Ez azért lehetséges, mert az említett RTK GPS vevővel könnyen meghatározhatjuk azoknak az alappontoknak a az EOVS koordinátáit, amelyek felhasználásával a kitűzés elvégezhető.

A feltáróhálózat tervében semleges vonal szinten megtervezett nyomvonalak térképi vonalai alapján elindulhat az egyes utak tervezése.

Előkészítés

A tervezés első lépése annak tisztázása, hogy a tervezendő út hol, milyen szállítási feladatok lebonyolítására létesül. Ez a feladat könnyen végrehajtható, ha a megrendelő már rendelkezik egy az engedélyező hatóság által is elfogadott feltáróhálózat tervvel. Ha ez nem áll rendelkezésre, akkor az első egyeztetésre a megrendelő képviselőin kívül célszerű meghívni a területileg illetékes megyei kormányhivatalok erdészeti igazgatóságának engedélyezéssel foglalkozó szakemberét és az érintett terület erdőfelügyelőjét.

ELŐKÉSZÍTÉS

Információgyűjtés és egyeztetés

- Kardinális pontok kijelölése a térképen
- Szállítási feladatok meghatározása
- Mintakeresztszelvény adatai

Terepi bejárás

- Kardinális pontok beazonosítása
- Várható nyomvonal egyeztetése
- Talajviszonyok felderítése

VONALVEZETÉS TERVEZÉSE

Terepi mérések

- Semleges vonal kitűzése
- Sokszögvonala kitűzése bemérése
- Semleges vonal pontjainak és tereppontok bemérése

Terepmodell előállítás

- Geodéziai számítások elvégzése
- Terepmodell generálása

Helyszínrajzi tengely tervezése

- Helyszínrajzi főelemek berajzolása és ívek tervezése
- Mintakeresztszelvény adatainak és a szélesítés és túlemelés kifuttatás módjának megadása
- Hossz-szelvény és a kereszt-szelvények terepvonalának generálása
- Előzetes pályaszint vonal tervezése
- Földtömegeloszlás vizsgálata

Kitűzés

- Kitűzendő tengelypontok koordinátáinak áttöltése a mérőállomásba
- Szükség esetén a kitűzött pontok bemérése
- Útpászta kitűzése

TERVDOKUMENTÁCIÓ ÖSSZEÁLLÍTÁSA

Helyszínrajz, hossz-szelvény és kereszt-szelvények összehangolása

- Terepmodell pontosítása és a hossz-szelvény pályaszint vonala végleges helyzetének megtervezése
- Hosszirányú vízvezetés tervezése a kereszt-szelvényekkel összehangolva
- Helyszínrajz, hossz-szelvény, kereszt-szelvények grafikus exportja

Rajzos munkarészek kiegészítése

- Helyszínrajzi részletrajzok, hossz-szelvény és kereszt-szelvények összehangolása AutoCAD-ben
- Mintakeresztszelvények és a részletes műtárgytervek elkészítése AutoCAD-ben
- Átnézeti helyszínrajz DigiTerra Map-ben
- Földtömegszámítás és elosztás

Szöveges munkarészek

- Műszaki leírás
- Méretjegyzék, költségvetési kiírás

Erdészeti utak korszerű tervezésének folyamata

A tervezendő út nyomvonalának térképi egyeztetése után terepi bejárás következik. Ennek elsődleges célja a térképen már bejelölt kardinális pontok felkeresése és a leendő nyomvonal körülbelüli helyzetének egyeztetése. Ehhez a mobil térképező rendszer ad hatékony segítséget, amellyel a kardinális pontok helyét GPS mérésekkel beazonosíthatjuk, ha a mérőeszközre az érintett terület topográfiai és üzemi térképét előzetesen feltöltöttük. A tervezésnek ebben a fázisában a várható szállítási feladatok ismeretében célszerű eldönteni a tervezendő út kiépítési színvonalát. Ennek alapján megválaszthatók az útkeresztmetszet szélességi méretei, illetve a pályaszerkezet típusa. A tervezendő út nyomvonala mentén rögtönzött talajmechanikai vizsgálatot is végezhetünk a talaj útépités szempontjából fontos tulajdonságainak megállapítására. Ez szükség esetén talajmechanikai vonalas talajfeltárással egészíthető ki, amelynek eredményei alapján megválaszthatók a rézsűhajlások és megtervezhető a pályaszerkezet. A keresztmetszeti kialakítást az egyenesben lévő mintakeresztmetszelvény elkészítésével pontosítjuk.

A tervezés ebben a kezdeti szakaszában már célszerű a leendő lejárók rakodók és gépjárműfordulók helyét is leegyeztetni és a mobil térképező eszközzel bemérni, mert ezek az információk befolyásolják a későbbi terepi méréseket.

Vonalvezetés tervezése

A terepi mérés hegy- és dombvidéki terepviszonyok között a *semleges vonal felkeresésével* indul. Az „Elvi erdőterület igénybevételi terv” elkészítéséhez elegendő a semleges vonal pontjainak 1-5 m pontosságú mobil térképező eszközzel történő bemérése, mivel az érintett erdőrészekből a tervezett út számára igényelt területet elegendő ilyen pontossággal megbecsülni. A bemért semleges vonal pontjai a digitális üzemi térképen könnyen megjeleníthetők.

Az engedélyezési terv elkészítéséhez már pontosabb mérésekre van szükség. A semleges vonal felkeresését követően kitűzünk egy olyan *kísérő sokszögvonalat*, amelynek töréspontjairól, mint alappontokról a semleges vonal pontjai és a jellemező tereppontok poláris mérésekkel felvehetők.

A sokszögvonala bemérése előtt célszerű olyan *alappontokat elhelyezni*, amelyek EOv koordinátái geodéziai pontosságú GPS vevővel meghatározható. A szükséges centiméteres pontosság biztosításához bázisként vagy egy meglévő geodéziai alappontra felállított GPS vevőt, vagy egy permanens állomás adatait használhatjuk fel.

A *sokszögvonala bemérése*, valamint a sokszögpontokból a *semleges vonal pontjainak és a jellemező tereppontok poláris mérései* mérőállomással pontosan elvégezhető. A korábban elhelyezett alappontok között beillesztett sokszögvonala vezetünk, ami majd biztosítja azt, hogy az általunk mért pontok EOv koordinátákkal rendelkezzenek.

A terepi felmérést belső adatfeldolgozás (sokszögvonala számítása, részletpontok számítása) követ, amelyet a geodéziai számítás elvégzésére írt számítógépes programokkal (pl.: geoprofi) könnyen elvégezhetünk. A számítások eredményeként szövegfájlokban kapjuk meg a sokszögpontok és részletpontok (semleges vonal pontjai és tereppontok) koordinátáit. Az ilyen állományok importálására alkalmas úttervező szoftverben (maCADam) a pontok megjeleníthetők és elindulhat a helyszínrajzi, majd a magassági vonalvezetés tervezése. Az egyenes szakaszok mintakeresztmetszelvényének jellemzőit, valamint a szélesítés és túlemelés kifuttatásának módját megadva a földtömegeloszlás grafikonja is megjeleníthető. Ez még nem a végleges földtömegeloszlás, de segítségével javíthatunk a helyszínrajzi vonalvezetésen is. A szoftver hatékony használatát

részletes kezelési útmutató segíti. A képernyőn történő tervezésnél fontos, hogy mindig figyelemmel kísérjük a megjelenő grafikus elemek méretarányát. Erre figyelve az elnagyolt tervezés elkerülhető.

A legtöbb szempontból kedvező vonalvezetés megtervezése után az úttervező szoftver koordináta exportját felhasználva a sokszögpontok (alappontok), valamint a kitűzendő helyszínrajzi fő- és részletpontok koordinátáit áttölthetjük a mérőállomásba. A sokszögpontokon mérőállomással felállva a tengelypontok kitűzhetőek. Kitűzés közben előfordulhat, hogy a kitűzendő pont irányába egy fa esik. Ebben az esetben két mérőszalagot használva, a már kitűzött és a kitűzendő pont közötti távolságra és a műszerrel mért külpontosság értékére kihúzott mérőszalagok metszéspontjában van a kitűzendő tengelypont. A kitűzés pontosságáról a kitűzött pontok közötti távolság ellenőrzésével győződhetünk meg. Erősen szabdalt terepviszonyok között a helyszínrajzi tervezés során létrehozott terepmodellt pontosíthatjuk, ha az egyes tengelypontok kitűzését követően a levert talajkaró helyzetét bemérjük.

Erdőterületen a tengelypontok kitűzése után az építési munkák megkezdéséhez ki kell jelölni a kitermelendő útpásztát, amely a műszelvény szélesség (bevágás körömpontjától a töltés talppontjáig tartó távolság) tengelyponttól jobbra és balra 1-1m-el megnövelt értéke. Az útpásztá szélének kijelöléséhez az úttervező szoftver által előállított kitűzési lista alapján a tengelypontoktól jobbra és balra mérőszalaggal felmérjük a pásztá széléig tartó távolságot. A méréssel egy időben a pásztán kívüli ahhoz legközelebb eső lábbon maradó fákat jelöljük meg mind szemmagasságban, mind a gyökfőn.

Tervdokumentáció elkészítése

A helyszínrajzi tengely pontjainak kitűzését és szükség esetén bemérést követően a terepmodell pontosítása és a hossz-szelvény *pályaszint vonala végleges helyzetének megtervezése* az első feladat. A következő lépés a *hosszirányú vízelvezetés tervezése*, amelyhez először a kereszt-szelvényeknél a minimális árokmélység, illetve völgy felőli oldalon a kis mélységű árok helyett a kinyitás berajzolása szükséges. Ezután az árokfenék pontok hossz-szelvényben történő ábrázolása és azok kiegyenlítésével az egyenlejtésű árokfenék szakaszok megtervezése következik. A módosítások hatása a Hossz-szelvény és Kereszt-szelvény ablak egymás alá helyezésével folyamatosan nyomon követhető. A terv elkészítésének további lépéseit a maCADam úttervező szoftver rajzos és szöveges kimenetekkel támogatja.

Az úttervező programban megtervezett helyszínrajz, hossz-szelvény és kereszt-szelvények „.dxf” kiterjesztésű grafikus állományai az AutoCAD általános grafikus tervező szoftverben megjeleníthetők és a szükséges kiegészítések elkészíthetők. A helyszínrajzon az ábrázolandó részletrajzok (pl.: mederrendezés, lejáró, kitérő, rakodó, útsatlakozás, forduló stb.) a meglévő tervrészletek, a hossz-szelvényben az érintett szakasz hosszirányú vízelvezetésének módosítása, az érintett kereszt-szelvények kiegészítése és a terepi felvétel felhasználásával megrajzolhatók. A helyszínrajz, a hossz-szelvény és a kereszt-szelvény munkarészekben a szükséges jelmagyarázatok, jelölések és szövegek feltüntethetők, valamint a mintakereszt-szelvények és a részletes műtárgytervek rajzos munkarészek szintén elkészíthetők.

Az átnézeti helyszínrajz a DigiTerra Map geoinformatikai szoftver felhasználásával készül, miután az úttervező program a tervezett helyszínrajzi tengely „.dxf” kiterjesztésű grafikus állományát importáltuk. Az átnézeti helyszínrajzon a kezdő és végponton kívül feltüntetjük a lejárók, valamint a rakodók, kitérők kezdő- és végpontjainak szelvényezési értékeit. A tervezett út által igénybevett

terület az úttervező programból exportált útpászta szél vonal DigiTerra Map szoftverben való importálásával, majd a poligon átfedés művelet kivonás funkciójával határozható meg.

A Földtömegszámítás és elosztás munkarész és a szöveges munkarészek (műszaki leírás, méretjegyzék, költségvetési kiírás) elkészítéséhez szövegszerkesztő és táblázatkezelő programokat (pl.: Microsoft Office) használhatunk. Az úttervező program szöveges exportjai közül az ívadatok és a szélesítés és túlemelés kifuttatás táblázata a műszaki leírásba beilleszthető. A szövegszerkesztő program egyik előnye, hogy a kötött tagolású és hasonló tartalmú dokumentumokat mint amilyen a műszaki leírás is többször fel lehet használni. Eközben azonban nagy figyelmet kell fordítani arra, hogy az egyes fejezetek és szövegrészek aktualizálva legyenek. Az ebből származó hibák számát többszöri átnézéssel lehet csökkenteni.

A számítógépes listák a számítógéppel támogatott tervezés fontosabb adatainak megjelenítése táblázatos formában (pl.: tengelypontok és alappontok koordinátái, ívadatok stb.).

Az informatika és a digitális mérés technika felhasználása az erdészeti utak tervezésében jelentősen lerövidíti a tervezési folyamatot, de tisztában kell lenni azzal, hogy a jó terv elkészítéséhez ebben az esetben is hozzá tartozik a többszöri ellenőrzés (próbanyomtatás, adatok összeolvasása stb.). A számítógép és a rajta futó programok csak olyan eszközök, amelyek átgondolt és jó bemeneti adatok esetén adnak helyes eredményt, de nem helyettesítik a műszaki-mérnöki mérlegelést és döntéshozatalt.

TARTALOMJEGYZÉK

FÖLDMŰVEK TERVEZÉSE	2
FÖLDMŰVEK ÉPÍTÉSE	22
ERDÉSZETI UTAK MŰTÁRGYAI	35
TÁMASZTÓFALAK	35
HIDAK.....	46
CSŐÁTERESZTŐK ÉS EGYÉB VÍZÁTVÉZETŐ LÉTESÍTMÉNYEK.....	73
MŰTÁRGYAK ALAPOZÁSA	79
ÚTÉPÍTÉSI ANYAGOKRÓL ÁLTALÁBAN.....	96
KÖNEMŰ ÚTÉPÍTÉSI ANYAGOK	97
KÖTŐANYAGOK	111
MÁSODLAGOS IPARI NYERSANYAGOK	125
A PÁLYASZERKEZET FELÉPÍTÉSE.....	129
ALAPRÉTEGEK.....	132
BURKOLATOK.....	158
A FELÜLETI ZÁRÁS ÉS AZ ÚTFENNTARTÁS ANYAGAI	177
ERDÉSZETI UTAK PÁLYASZERKEZETÉNEK TERVEZÉSE	183
HAJLÉKONY PÁLYASZERKEZETEK MÉRETEZÉSE TEHERBÍRÁSRA	185
HAJLÉKONY PÁLYASZERKEZETEK FELÉPÍTÉSE ERDÉSZETI UTAKON	199
PÁLYASZERKEZET MEGERŐSÍTÉSÉNEK TERVEZÉSE.....	202
PÁLYASZERKEZET-GAZDÁLKODÁS	211
ÚTFENNTARTÁS CÉLJA ÉS ÉRTELMEZÉSE.....	215
ÚTFENNTARTÁSI RENDSZER	220

ERDÉSZETI UTAK ALÉPÍTMÉNYEI

FÖLDMŰVEK TERVEZÉSE

Földművek részei

A földművek a műtárgyakkal együtt az utak alépítményéhez tartoznak.

Az útépítésben a földmű rézsúkkal határolt tömörített talajtömeg, amely bevágásban vagy töltésben helyezkedik el.

A műtárgyak az alépítmény nem földből készült részei (támasztófalak, csőáteresztők, hidak stb.)

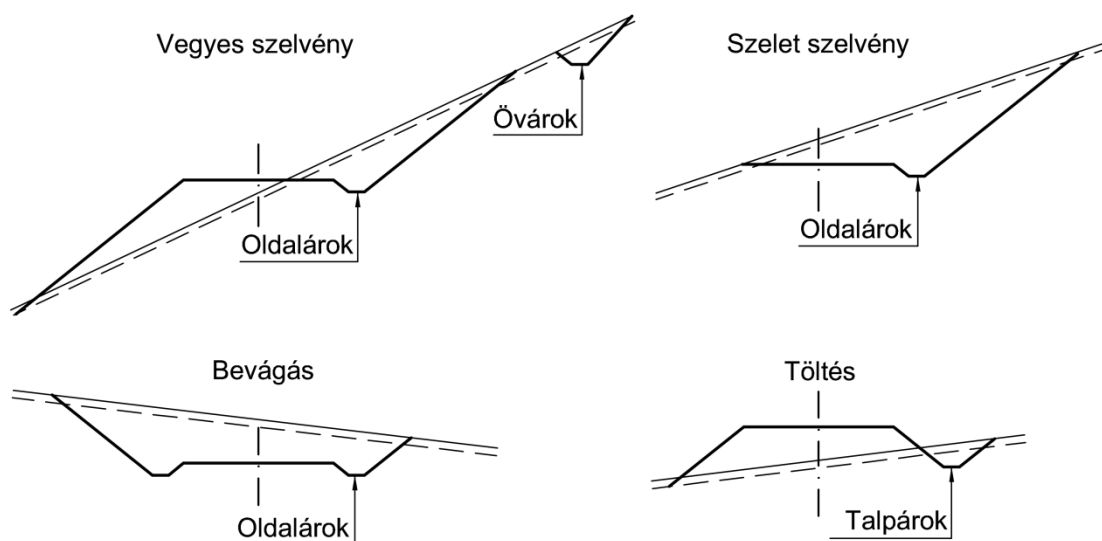
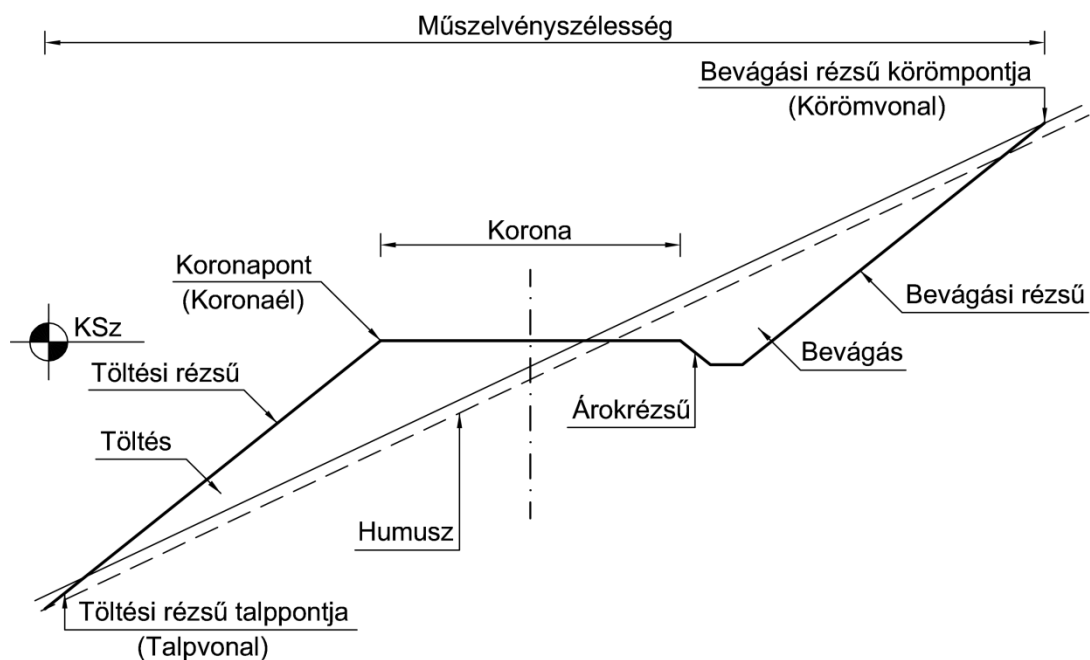
A földművek részei:

- a földmű koronája, amelyet a koronaszélesség jellemez;
- a földmű koronaszintje, a korona tengelyében mért szintmagasság;
- a földmű rézsúai, amelyek lehetnek töltési rézsúk, bevágási rézsúk és árok rézsúk;
- a töltési rézsúk talppontja, illetve talpvonala;
- a bevágási rézsúk körömpontja, illetve körömvonala;
- a műszelvény szélessége.

A földmű kialakítása szerint lehet:

- töltés,
- bevágás,
- vegyes szelvény,
- szelet szelvény.

A töltést hordozó, illetve a bevágás kialakítására szolgáló érintetlen talajtömeget termett talajnak, vagy nőtt földnek nevezzük.



Földművek részei

Talajok alkalmassága töltések építéséhez

A töltések tervezésekor először el kell dönteni, hogy a helyszínen található talaj földmű építésére alkalmas-e vagy máshonnan szállítjuk a helyszínre. Általában kimondható, hogy töltés építésére a jól tömöríthető, jól vízteleníthető, erózióknak ellenálló, nem fagyveszélyes, teherbíró és állékony talajok alkalmasak. Ezt megítélni az alábbiak alapján lehet:

- a talajfizikai jellemzők (w , e , n , S , l_p stb.),
- a tömörítési tulajdonságok (ρ_{dmax} , w_{opt} , Proctor-görbe alakja stb.),
- a nyírószilárdsági paraméterek (ϕ , c) és a nyírószilárdság (τ), valamint változásuk a víztartalom változásának függvényében,
- a vízáteresztő képesség,
- a kapilláris tulajdonságok,

- a fagyveszélyesség.

Szemcsés talajok

- Legjobb a vegyes szemeloszlású, jól osztályozott ($U > 5$) homok- és kavics, ill. homokos kavics talajok. Vízáteresztő képességük jó, vízelelésük kicsi, tömbösen fagynak meg.
- A szögletes, poliéderez szemcsékből álló talajok nagyobb belső súrlódásuk miatt nehezebben tömöríthetők, de teherbírásuk nagyobb.
- Nem kedvező az egyenletes szemeloszlású ($U < 5$) talaj (pl. futóhomok), mert nehezen tömöríthető, valamint víznek és szélnek nem ellenálló.

Átmeneti talajok

- Könnyen kiszáradnak;
- Jól tömöríthetők ($w \leq w_{opt}$);
- Kapilláris vízelelés: rövid idő alatt magasra emelik a vizet;
- Plasztikus indexük (I_p) kicsi, könnyen eléri a folyási határt, aminek gyors teherbírás-csökkenés a következménye;
- Gondos víztelenítést kívánnak;
- Fagyveszélyesek;
- Erózióveszélyesek (pl. lösz).

Kötött talajok

- Tömörítésük nehéz (nehezen morzsolható szét, nedvesen ragad);
- Vízrel szemben ellenálló;
- Nehezebben nedvesednek el, mert vízáteresztő képességük alacsony;
- Átázás után nehezen száradnak ki, gravitációs úton nem vízteleníthetők, így nem tömöríthetők;
- Nem fagyveszélyesek, de térfogatváltozók (duzzadás).

Töltésépítésre nem használható talajok

- Puha agyag és iszap;
- Szerves talajok;
- Salak, építési törmelék felhasználása megfontolandó;
- Szikes talaj;
- Fagyott talaj;
- Mállott kőzet;
- Kis testsűrűségű talaj ($\rho_s < 1550 \text{ kg/m}^3$).

A töltések építéséhez a kivitelező részére minden esetben meg kell adni a töltés építésére felhasznált talajra vonatkozó:

- tömörítési előírásokat,
- a maximális és az előírt tömörségi fokhoz tartozó száraz halomsűrűségekhez (pl.: $1,0 \cdot \rho_{dmax}$ $0,9 \cdot \rho_{dmax}$) rendelt nyírószilárdsági paramétereket.

Rézsűhajlás megválasztása

A rézsűhajlás megválasztását befolyásolja:

- a töltés szerepe,
- a talaj,
- a rézsű magassága.

A rézsű hajlását a talaj és a rézsűmagasság függvényében táblázatból, illetve magas töltések esetén rézsűállékonysági vizsgálatokkal határozzuk meg.

Az erdészeti utak töltéseinek rézsűhajlását akkor határozhatjuk meg táblázatból ha:

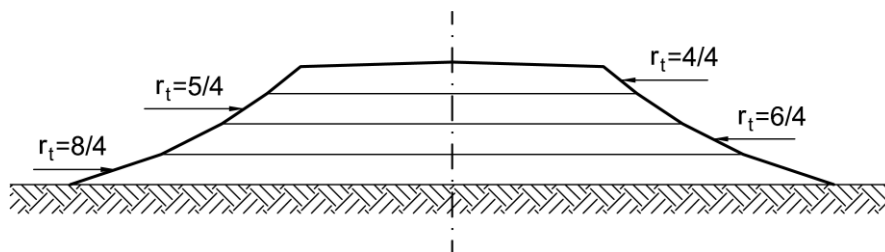
- a töltés alatti altalaj teherbíró,
- a töltésbe épített anyag jó minőségű és közel azonos tulajdonságú,
- a töltést előírás szerint tömörítik.

Minden más esetben állékonysági vizsgálatokat kell végezni.

A rézsűhajlás megválasztásánál és az állékonysági vizsgálatoknál a víz járulékos hatását figyelembe kell venni.

Magas töltések kialakítása

Magas töltések határolását költségkímélési és esztétikai okok miatt összetett rézsűkkel építjük meg, amellyel földmunka takarítható meg. Az egyes szintek magassága és hajlása állékonysági vizsgálattal határozható meg.



Harangszelvény

Talajtörés elleni védekezés fióktöltéssel puha altalajon

A puha altalajon a várható alaptörés egy fióktöltéssel előzhető meg, amellyel a kialakuló csúszólapot terheljük. Homogén, puha altalajban a fióktöltés legkisebb szükséges súlya:

$$G_{\min} = \frac{G_1 \cdot a_1 - G_2 \cdot a_2 - c \cdot R \cdot L}{a_{\min}}$$

ahol:

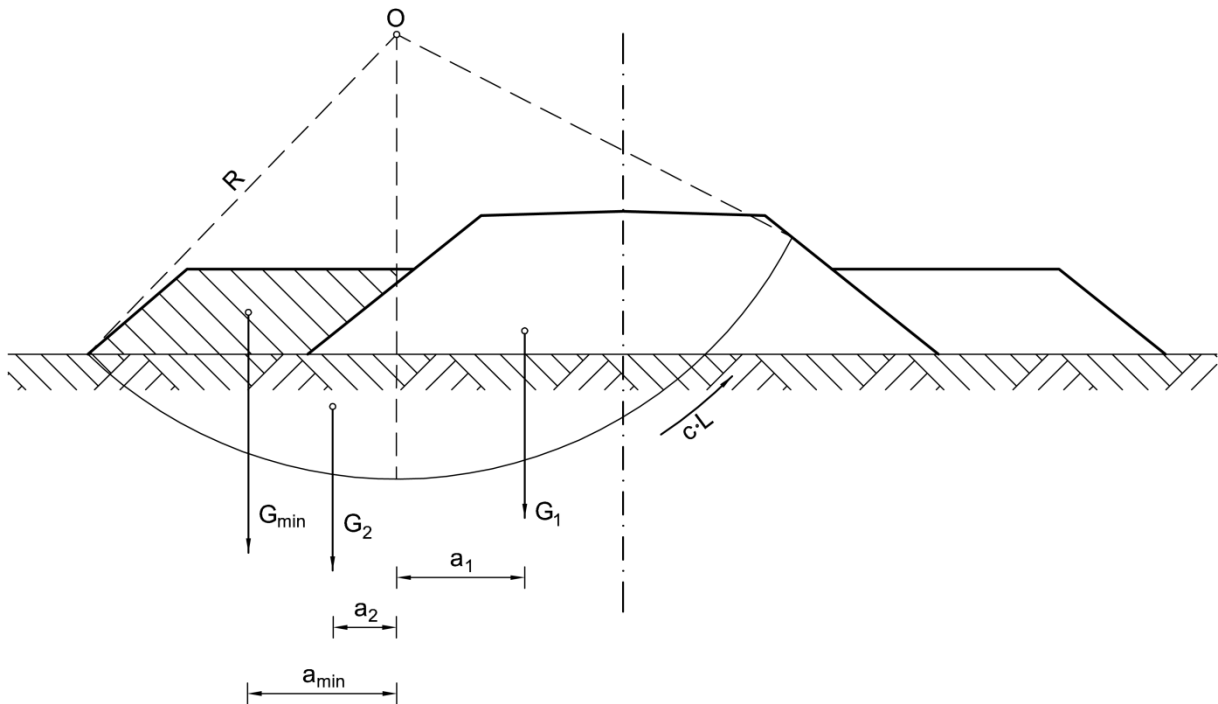
- c = kohézió (egy méterre vonatkoztatva) [kN/m]
- L = csúszólap hossza [m]
- R = csúszólap sugara [m]
- G = súlyerők [kN]

- a = erőkarok [m]

A legveszélyesebb csúszólapot próbálgatással lehet megkeresni. Azt a csúszólapot tekintjük mértékadónak, amelyen a G_{min} súlya a legnagyobb lesz. A fióktöltés tényleges súlya egy biztonsági tényező figyelembevételével számítható ki:

$$G = n \cdot G_{min}$$

ahol: n = biztonsági tényező ($n > 1,5$)



Talajtörés elleni védekezés fióktöltéssel

Magas töltések alsó síkjában ébredő húzófeszültség

Magas töltések alsó síkjában jelentős nagyságú húzó igénybevétel lép fel. Ennek oka az, hogy a töltés tengelyével párhuzamos síkok mentén a kétoldali földnyomás csak a töltés tengelyében lesz azonos nagyságú. Minden más metszetben a kétoldali földnyomás között ΔE_0 értékű különbség keletkezik, ami vízszintes erőként jelenik meg. Ennek következtében az eredő erő nem lesz függőleges, a töltés aljában tehát húzóerők, illetve húzófeszültség lép fel, amit a talaj nyírószilárdsága egyenlít ki.

A töltés alsó síkjában fellépő vízszintes feszültség (τ), amely a töltés tengelyétől kifelé mutat:

$$\tau = \frac{3 \cdot E_0}{K + 2 \cdot \rho \cdot m}$$

ahol:

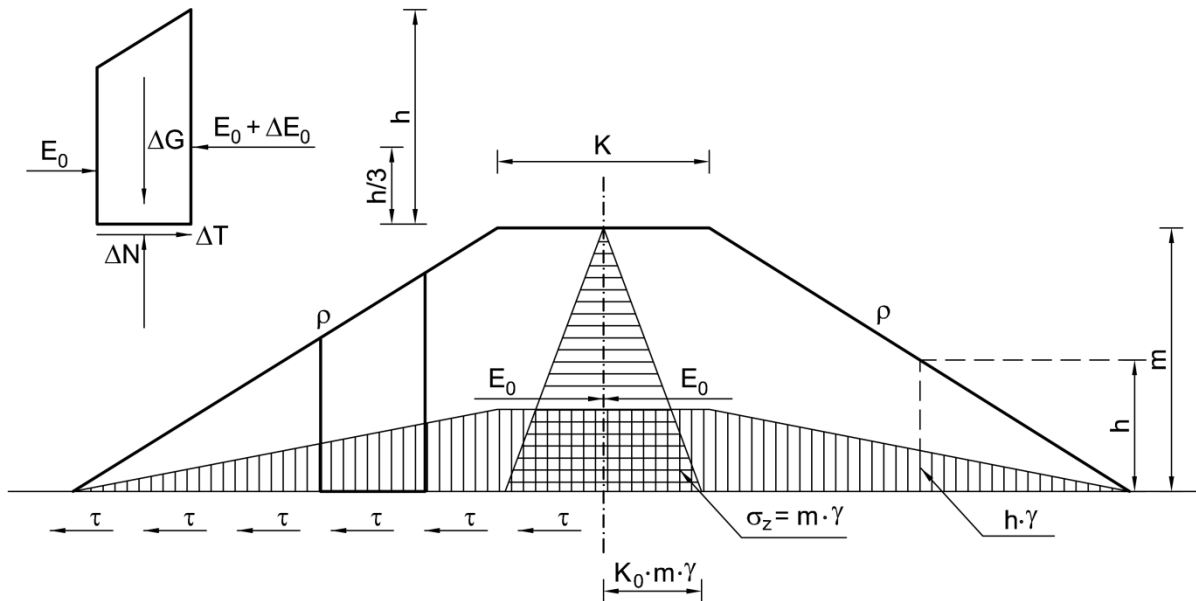
- K = koronaszélesség [m]
- E_0 = fellépő nyugalmi földnyomás [kN]
- ρ = rézsűhajlás
- m = töltés magassága [m]

Az E_0 nyugalmi földnyomás az alábbi képlettel számolható:

$$E_0 = K_0 \cdot m^2 \cdot \frac{\gamma}{2}$$

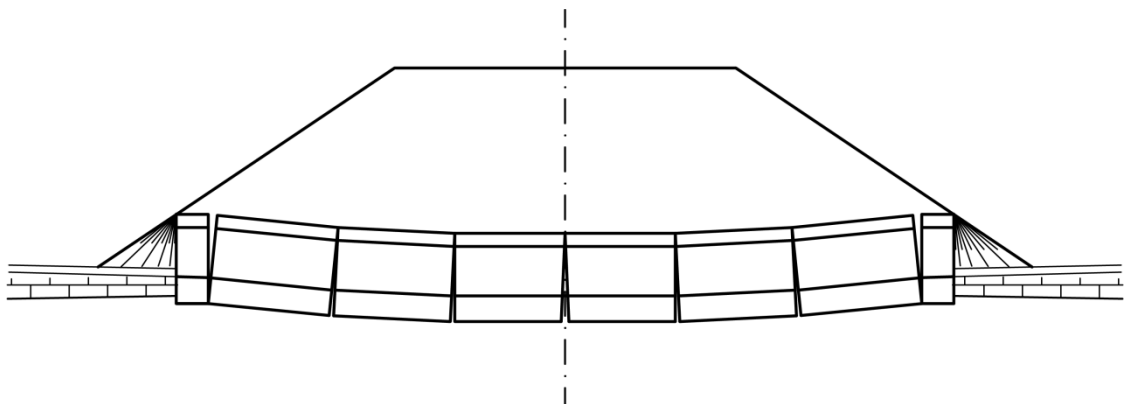
ahol:

- m = töltés magassága [m]
- γ = térfogatsúly (egy méterre vonatkoztatva) [$\text{kN}/\text{m}^3/\text{m}$]
- K_0 = nyugalmi nyomás tényezője (homok, kavics: 0,4–0,5 agyag esetén: 0,8–0,9)



Töltések alatt ébredő húzófeszültség kialakulása

A magas töltések alsó síkjában keletkező vízszintes feszültséget tervezéskor is figyelembe kell venni. A 8–10 m magas töltések alatt fellépő húzóerő hatására a töltés aljába beépített csőáteresztő hézagai megnyílnak, a csőáteresztő deformálódik, a külső szigetelésük elszakadhat. A magas töltések alá épített csőáteresztőket ezért a húzófeszültség felvételére alkalmas vasalt beton alapra kell helyezni.

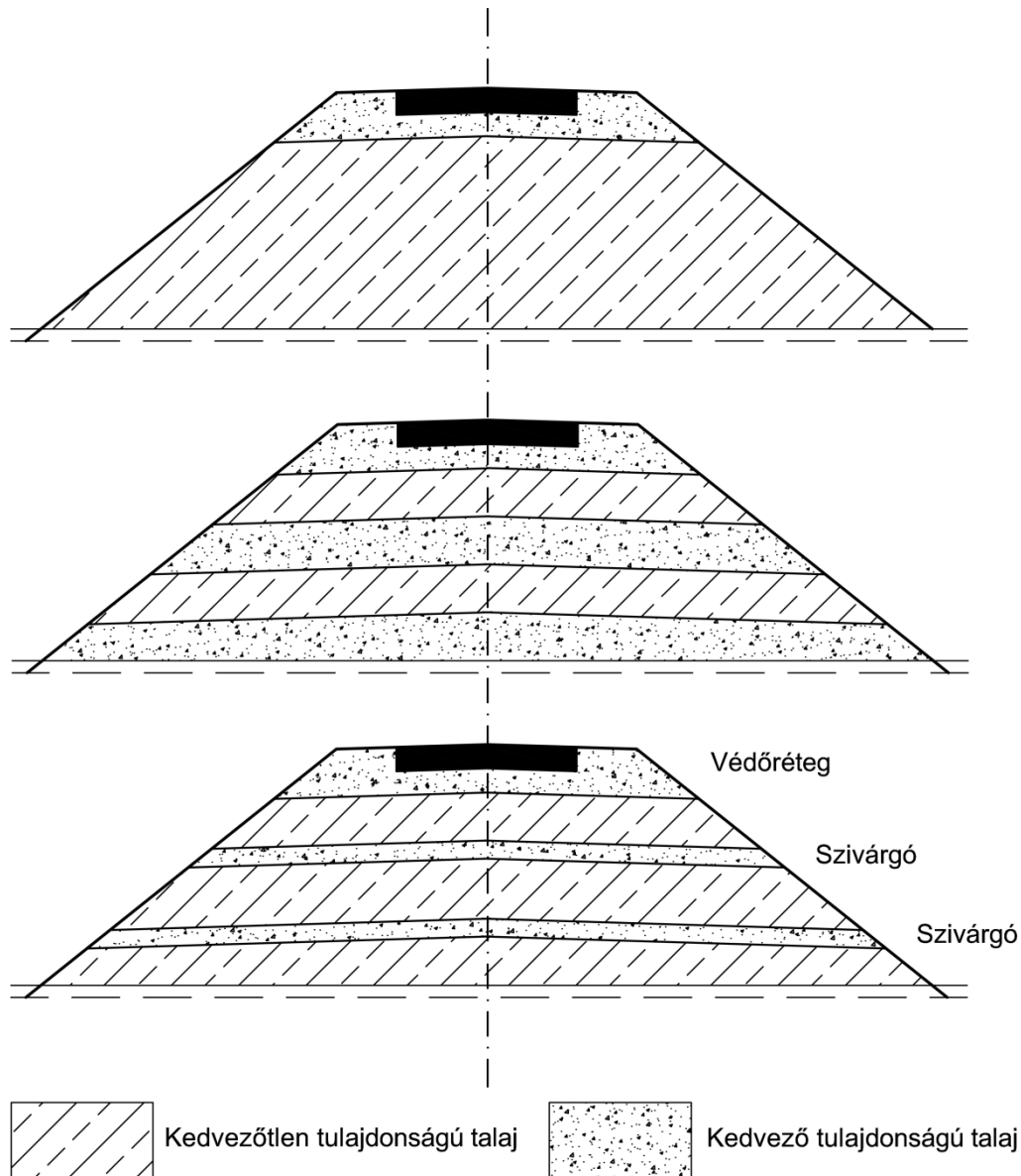


Töltések alá épített csőáteresztő szétnyílása

Különböző minőségű talajokból épülő töltések

A különböző minőségű talajokból épülő töltések felső részébe a kedvezőbb tulajdonságú talajt kell beépíteni. Megfelelő megoldás a talajok réteges beépítése is. Ekkor arra kell törekedni, hogy a felső min. 0,50 m vastag rétegbe a jobb minőségű talaj kerüljön.

Puha talajból épülő töltésekbe legalább méterenként 0,20 m vastag kavics szivárgóréteget kell beépíteni.



Töltés építése különböző minőségű talajokból

Töltések alapozásának szempontjai

A helyszínen lévő talaj és a ráépített töltés együttdolgozását a töltésalapozás biztosítja. Általános szabály, hogy a töltést humusz-mentes, tuskótól és vastagabb gyökerektől megtisztított talajra kell építeni a legalsó rétegtől kezdve rétegenként gondosan tömörítve. A töltésalapozás módját:

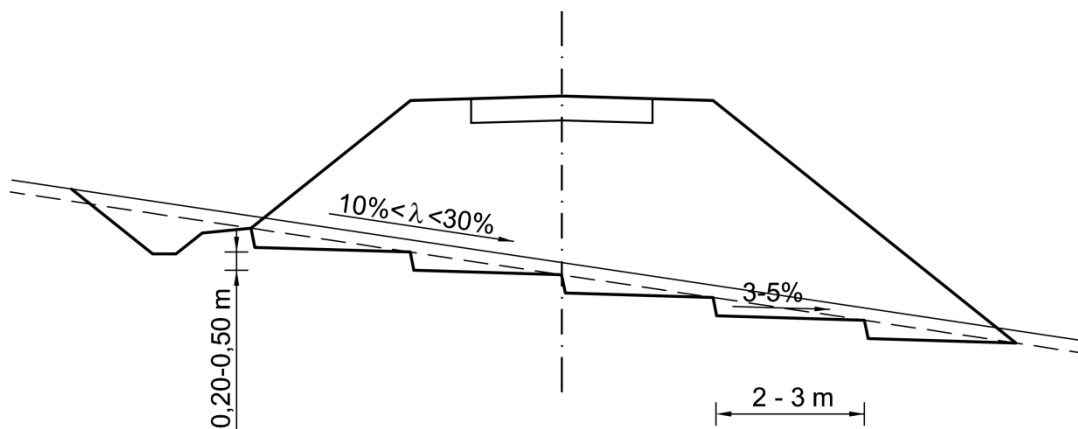
- az altalaj teherbíró képessége és
- a terep keresztdőlése

határozza meg.

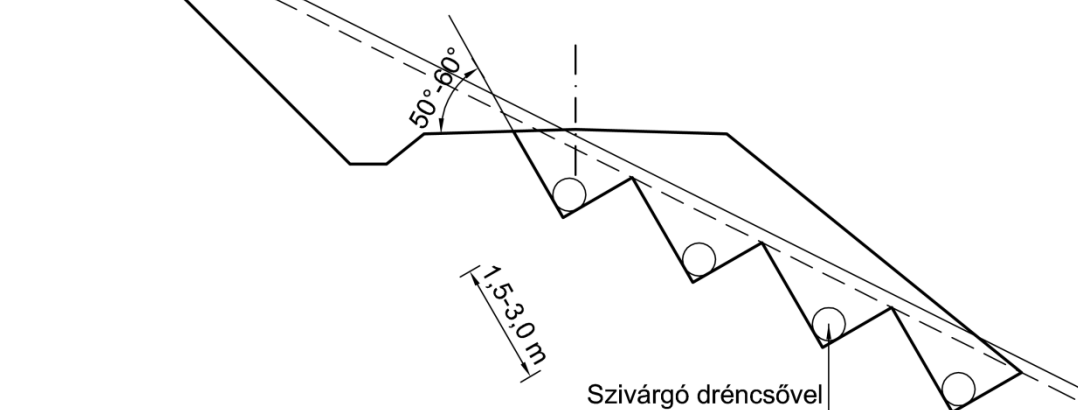
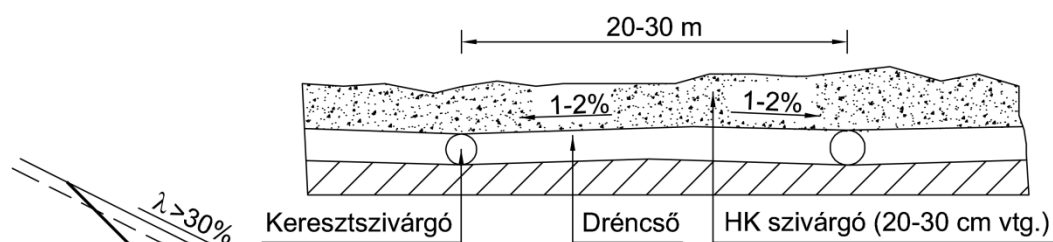
Töltések alapozása teherbíró talajon

Teherbíró talajon a töltésalapozás módját elsősorban a terep keresztmetszése alapján lehet eldönteni. Közel vízszintes terepen, ha a humuszlefejtés után nagyon sima felület alakult ki a felszínt célszerű talajszaggatóval, vagy más módon érdesíteni. Ezzel kialakul az altalaj és a töltés megfelelő kapcsolata, egyben ellensúlyozzuk a töltés alján fellépő vízszintes erőket is. A meredekebb keresztmetszésű terepen a felszínt úgy kell átalakítani, hogy a töltés lecsúszását megakadályozzuk. Ennek megoldásai az alábbiak:

- 10–30% között lépcsőzés;
- 30%-ot meghaladó keresztmetszésnél fogazás.
- Nagy kézimunka igényük miatt alkalmazásuk akkor javasolt, amikor a szerkezet állékonysága azt feltétlenül megköveteli (pl. töltések szélesítése, háttöltés és földmű csatlakoztatása stb.).



Töltések alapozása lépcsőzéssel



Töltések alapozása fogazással

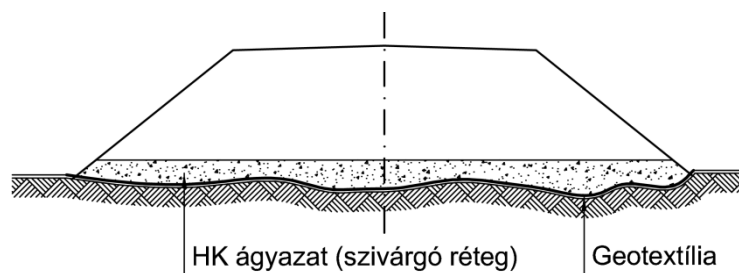
Általában megfelelő biztonságot nyújtanak az alábbi helyettesítő megoldások:

- 3–10% keresztdőlésű terepen a felszín szintvonal irányú szántása,
- 10–40% keresztdőlésű területeken a termett talaj felszínének szintvonal irányú hullámossá tétele, amit az esésvonal irányában mozgó dózerrel alakítunk ki.

Töltésalapozás nem teherbíró talajon

Puha, nem teherbíró talajon vagy tőzeges területen a töltéseket geotextíliára alapozzák. A különböző vastagságú és szakítószilárdságú geotextíliák (*Bidim, Fibertex Vlies PP, GRADEX* stb.) nemezeléssel, vagy szövéssel készülő, műanyag alapanyagú, vízáteresztő szövetek, amelyek a talaj nyírószilárdságát megnövelik és gyorsítják a konszolidációt. Ennek eredményeként csökken az alaptörés veszélye és az építés utáni összenyomódás mértéke. Beépítése a következőképpen történik:

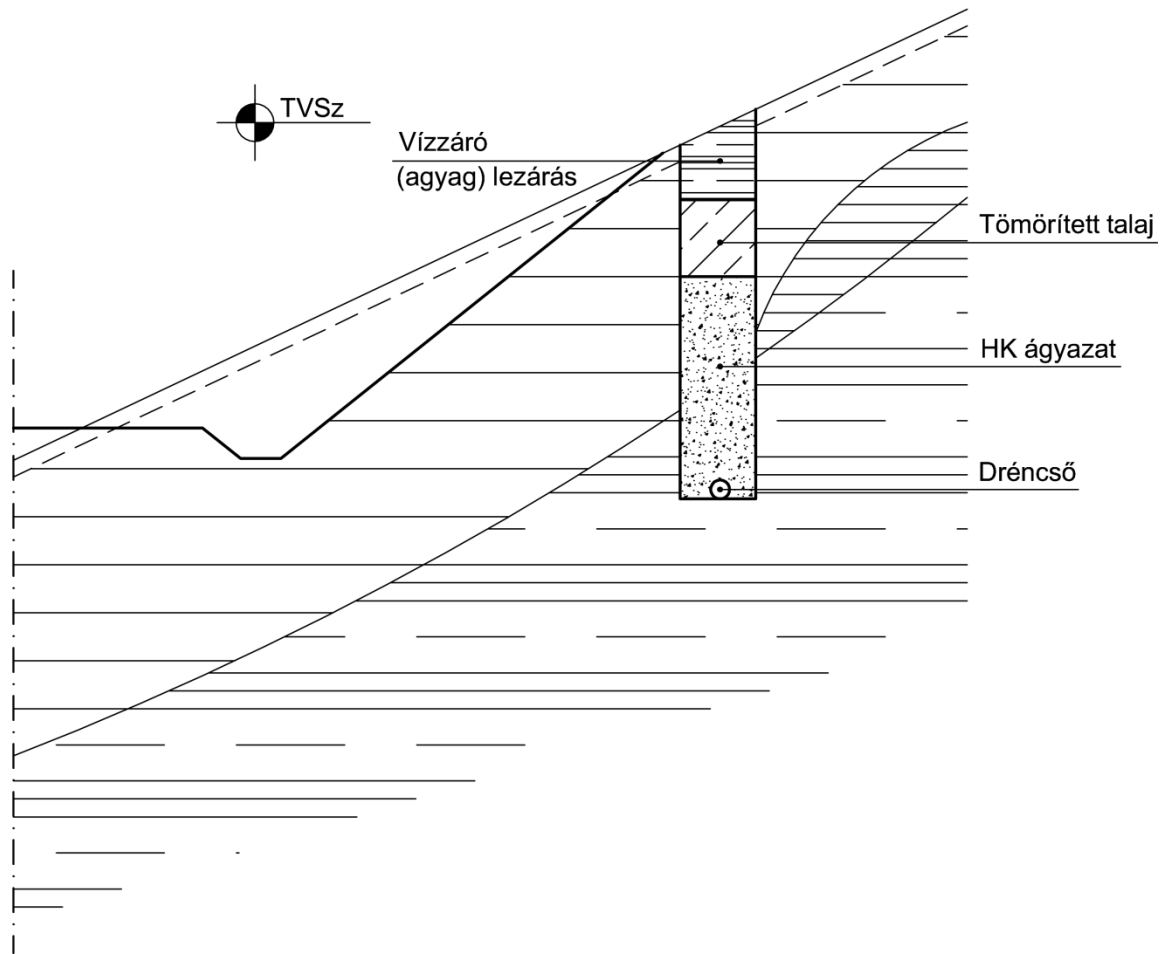
- Fák, cserjék eltávolítása, hogy ne maradjon rajta olyan növényi rész, amely a textíliát átlyukaszthatja;
- Geotextília kiterítése: a földmű alsó szélességét mindkét oldalon min. 0,50 m-rel meghaladó szélességben, a hossz- és keresztirányú toldásoknál 0,20 m átfedéssel;
- Geotextília ragasztása vagy varrása: a varráshoz kézi varrógép használható, ragasztáskor a két textília felületét benzínlámpával óvatosan fel kell melegíteni, majd a meglágyult felületeket össze kell nyomni;
- Homokos kavics elterítése olyan vastagságban (min. 0,20 m), hogy az altalaj összenyomódása után is ki tudja vezetni a töltés alatt összegyűlő vizet;
- Töltés ráépítése.



Töltésalapozás geotextíliára

Töltésalapozás csúszásra hajlamos altalajon

Csúszásra hajlamos altalajon, ahol a csúszás kialakulásában a kedvezőtlen rétegezethez mellett a nem túl mélyen elhelyezkedő talajvíz hatása is szerepet játszik, a mozgás lecsökkenthető, ha a vizet szivárgókkal összegyűjtjük és elvezetjük. A szivárgót olyan mélyen kell elhelyezni, hogy az a vízzáró talajrétegbe nyúljon. A vizet homokos kavicsba ágyazott 0,5–1,0% hosszúságú dréncszövekkel kell összegyűjteni és 20–30 m-enként elvezetni. A szivárgót úgy kell kialakítani, hogy oda csak szivárgó víz kerülhessen, ezért a felszínről bejutó vizet megfelelő felső lezárással (pl. agyagdugó, árokburkolás) távol kell tartani. A szivárgók oldal- és az övárokkal kombinálva is megépíthetők. Mélyebben fekvő csúszó rétegeknél komolyabb szivárgóhálózatot, tárokat kell építeni, amelyek költségét az erdészeti útépités nem viseli el. Célszerűbb ilyenkor a vonalvezetést módosítani és a csúszásra hajlamos területet elkerülni.



Rétegvíz felfogása szivárgóval

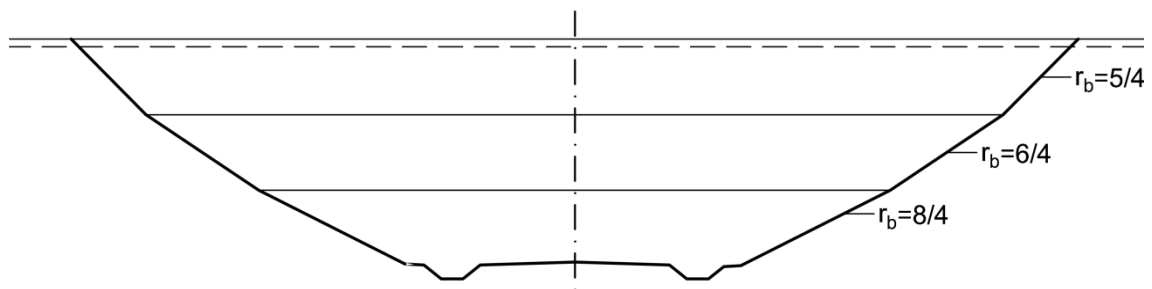
Bevágások tervezésének szempontjai

Bevágások tervezésekor a helyi talajjal, mint adottsággal kell számolni. Tervezskor a talaj fejthetőségét (fejtési osztályát), valamint az állékony rézsűhajlásokat kell meghatározni. A talajok fejthetési osztályát és a rézsű hajlását a rézsűmagasság függvényében táblázatból választjuk ki.

Meredekobb rézsűket választva, vagy különleges rétegződésben, illetve a talajvíz várható kedvezőtlen járulékos hatásakor a biztonságot állékonysági vizsgálattal kell igazolni.

Mély bevágás kialakítása

Közel egyenletes állékonyságú talajban kialakított mély bevágások magas rézsűit is célszerű – a töltési rézsűkhöz hasonlóan – összetett rézsűvel ún. csésze szelvényel megtervezni.

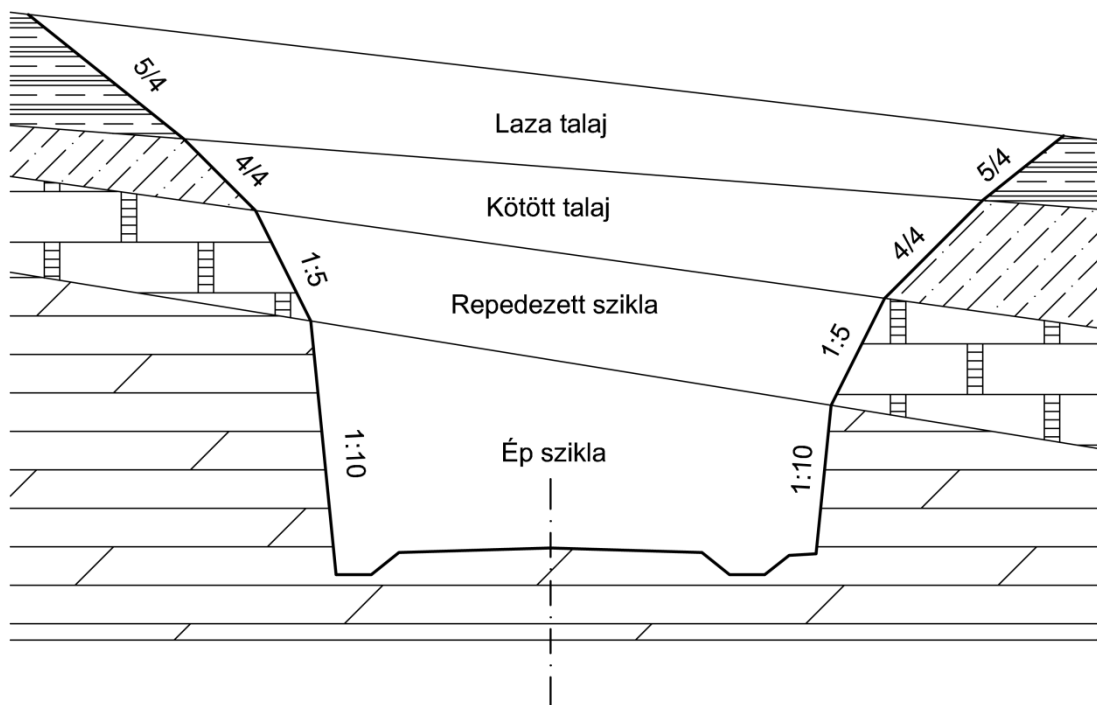


Csészeszelvény kialakítása

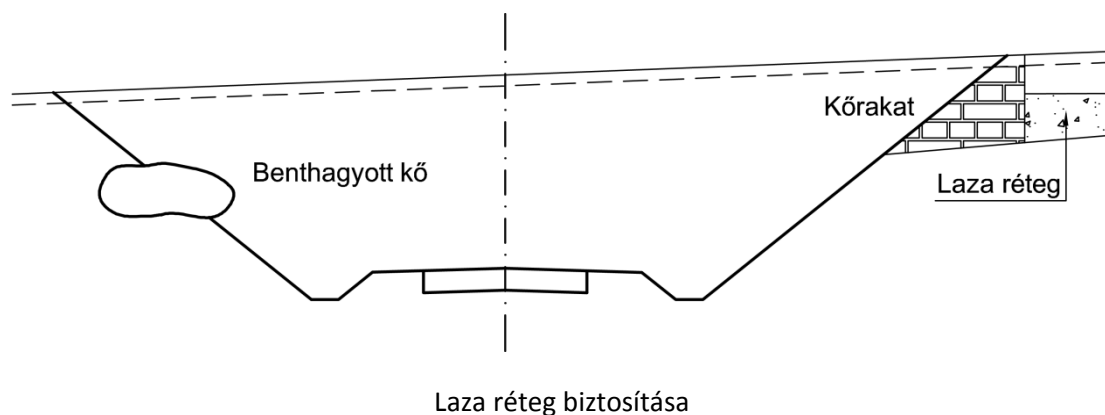
Bevágás kialakítása rétegzett talajban

Különböző állékonyságú rétegződésben célszerű a rézsú hajlását változtatni. Összefüggő sziklában 1/5-ös hajlásnál meredekebb – 1/10–1/20 hajlású – rézsú is kialakítható, vagy a bevágás függőleges fallal is határolható. Ilyen meredek rézsúk tervezésekor a rétegzettséget mindig szem előtt kell tartani, a laza vagy meglazult sziklákat pedig rendszeresen el kell távolítani. A lepergő kövekkel megtelt árkokat folyamatosan tisztítani kell. Az árok és a bevágási rézsú között kialakított vendépadka megóvjaa az árkot a feltöltődéstől, valamint megvédi az utat attól, hogy a burkolatra nagyobb kövek gördüljenek. Amennyiben jelentősebb mennyiségű kő leválása várható, célszerű a sziklafalat georáccsal lefedni, amely lassítja a legördülő kövek mozgását, valamint elősegíti a növényzet megtelepedését a sziklapárkányokon.

Az állékonyabb rétegek közé beékelődött laza réteget kőrakattal biztosítani kell.



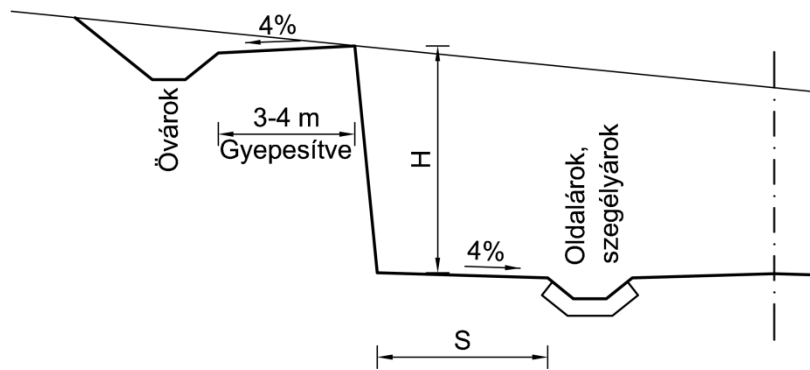
Bevágási rézsúk kialakítása különböző állékonyságú rétegekben



Laza réteg biztosítása

Löszben nyitott bevágás

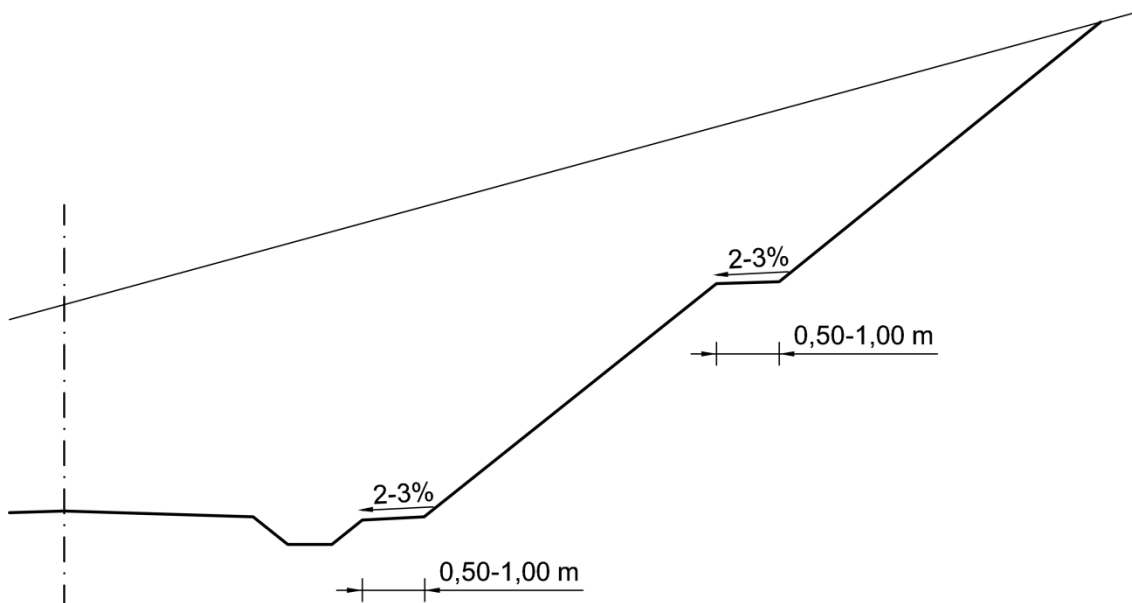
Az erózióra veszélyes, függőleges rétegek mentén elváló löszben a függőlegeshez közelítő rézsút kell kialakítani, amit övárokkal védünk a felszíni vizek erodáló hatásától. A lepergő talajt a rézsú talpvonala és az árok között kialakított vendépadka fogja fel, amivel megóvható az árok a feltöltődéstől.



Löszben kialakított bevágás

Magas bevágási rézsút lépcsős kialakítása

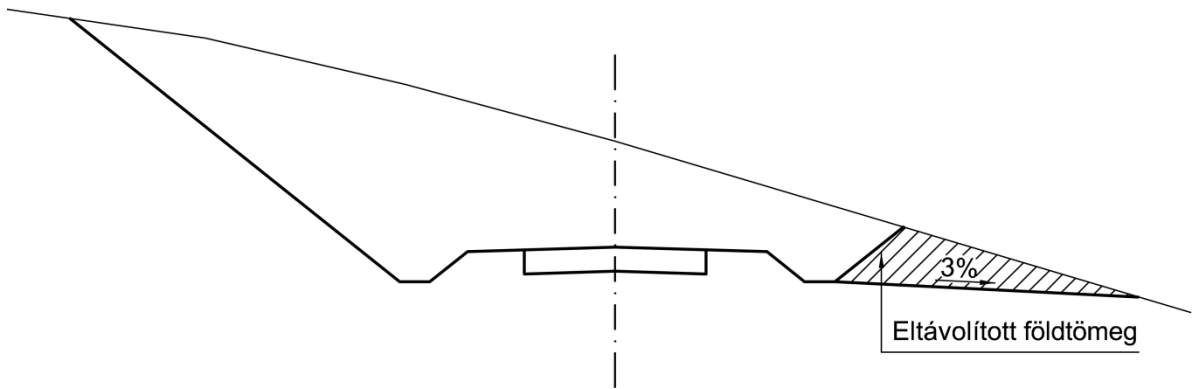
A magas bevágások rézsút lépcsőzik. Ezek felfogják a rézsú felületéről leváló rögöket és az árok feltöltődésének lehetőségét csökkentik.



Magas bevágási rézsút lépcsős kialakítása

Völgy felé kinyitott bevágás

A hegyoldalba épített kisebb teljes bevágások völgy felőli oldalát ki kell nyitni, a talajt el kell távolítani, mert így a hófúvásveszély csökkenthető.



Völgy felé kinyitott bevágás

Földművek romlása

A földművek romlását a talaj belső ellenállásának csökkenése okozhatja, de előidézhetheti a megnövekedett külső terhelés, a hibás tervezés és kivitelezés is. A helyesen kialakított töltésalapozás, az optimális tömörítési víztartalom környékén végzett gondos tömörítés és szükség esetén a megfelelően biztosított rézsűk mellett a romlások nem, vagy csak nagyon ritkán következnek be.

A *bevágások* romlása lehet:

- hámlás,
- rézsűcsúszás.

A *töltések* romlása lehet:

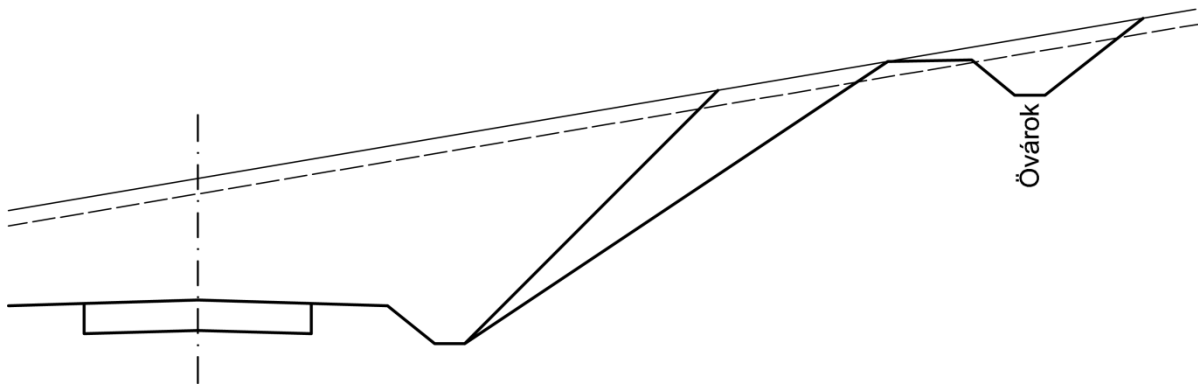
- hámlás,
- kagylósodás,
- rézsűszakadás,
- töltésrozkadás,
- mállás,
- szétcsúszás.

Bevágási rézsű hámlása

Hámláskor a rézsű felületéről a talaj foltokban válik le, előidézi:

- meredekebb rézsű,
- felszín átázása,
- kiszáradás miatti pergés,
- rázkódás és a rézsűvédelem hiánya.

Javítani lehet a rézsűhajlás csökkentésével rézsűbiztosítással, valamint a felszíni vizek övárokkal történő elvezetésével.



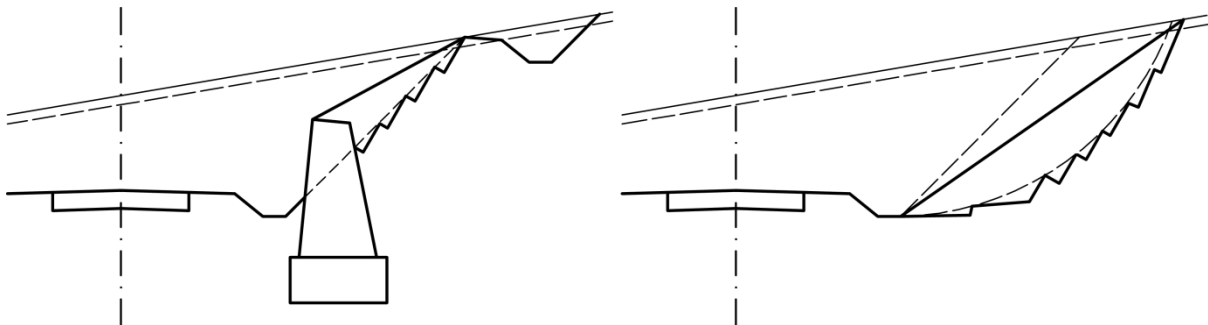
Bevágási rézsű hajlásának csökkentése

Bevágási rézsű csúszása

Rézsűcsúszáskor csúszólapok mentén nagyobb földtömegek mozdulnak el. Oka az egyensúly megszűnése, amelyet előidézhet:

- megengedettnél meredekebb rézsű,
- nyírószilárdságot csökkentő átázás,
- alávágás,
- többletterhelés és rázás.

A rézsűcsúszások javításakor a lecsúszott földtömeget el kell távolítani, lépcsőzéssel új talajt kell beépíteni és az előidéző okokat meg kell szüntetni. A rézsű hajlását csökkenteni kell, a felszínen érkező vizet övárokkal, a szivárgó vizet szivárgórendszerrel összegyűjtve kell elvezetni.

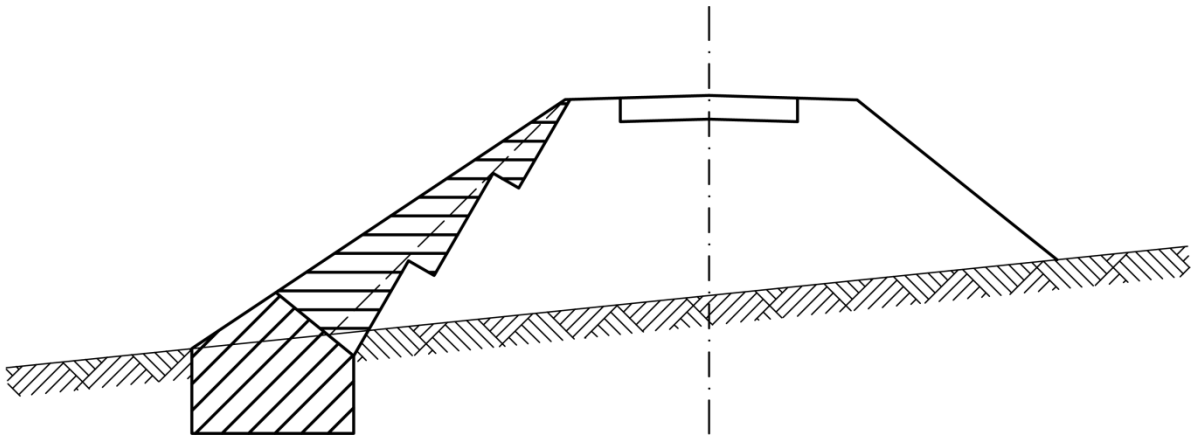


Bevágási rézsű csúszásának helyreállítása

Töltési rézsűk hámlása és kagylósodása

A hámlás oka és javításának módja azonos a bevágási rézsűk hasonló romlásánál tárgyaltakkal.

A kagylósodás egy nagyobb méretű hámlás, amikor is a földtömeg mélyebb, de rövid kagylós csúszólap mentén mozdul el. Előidéző oka a hámláshoz hasonló, ezért javítása is ugyanaz.

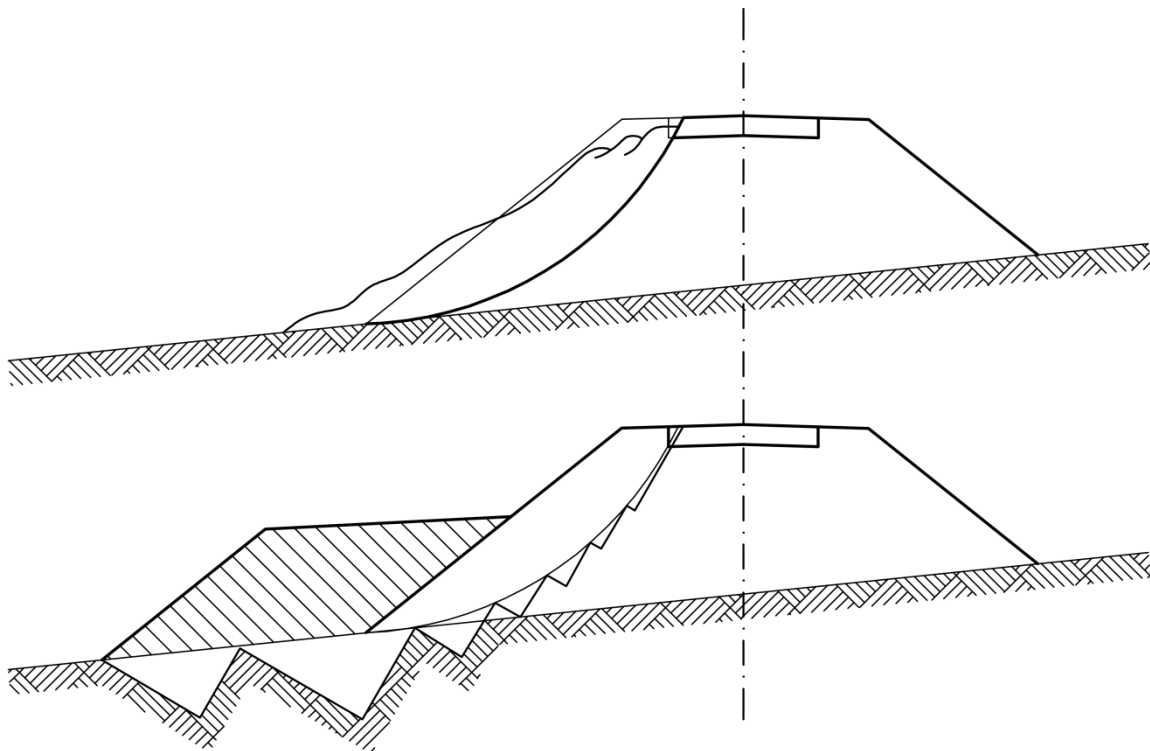


Töltés hámlásának és kagylósodásának helyreállítása

Töltési rézsűk szakadása

Rézsűszakadáskor a töltés jelentős része talpponti csúszólap mentén mozdul el. Oka a tömörítetlenség, majd átázás.

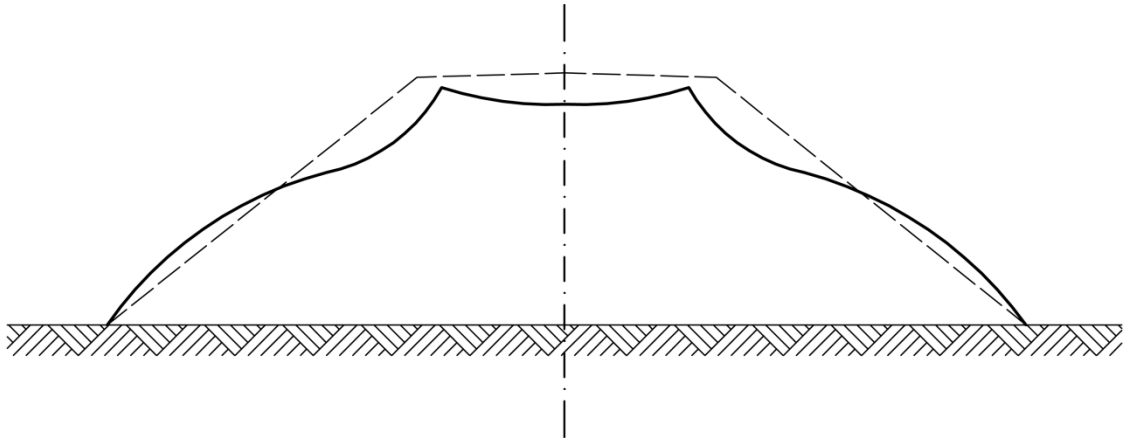
A lecsúszott földtömeg eltávolítása után a töltés megmaradt részét lépcsőzni vagy fogazni kell, majd az új töltést gondosan tömörítve kell megépíteni. Az állékonyságot fióktöltéssel fokozhatjuk.



Töltési rézsűszakadás helyreállítása

Töltések mállása

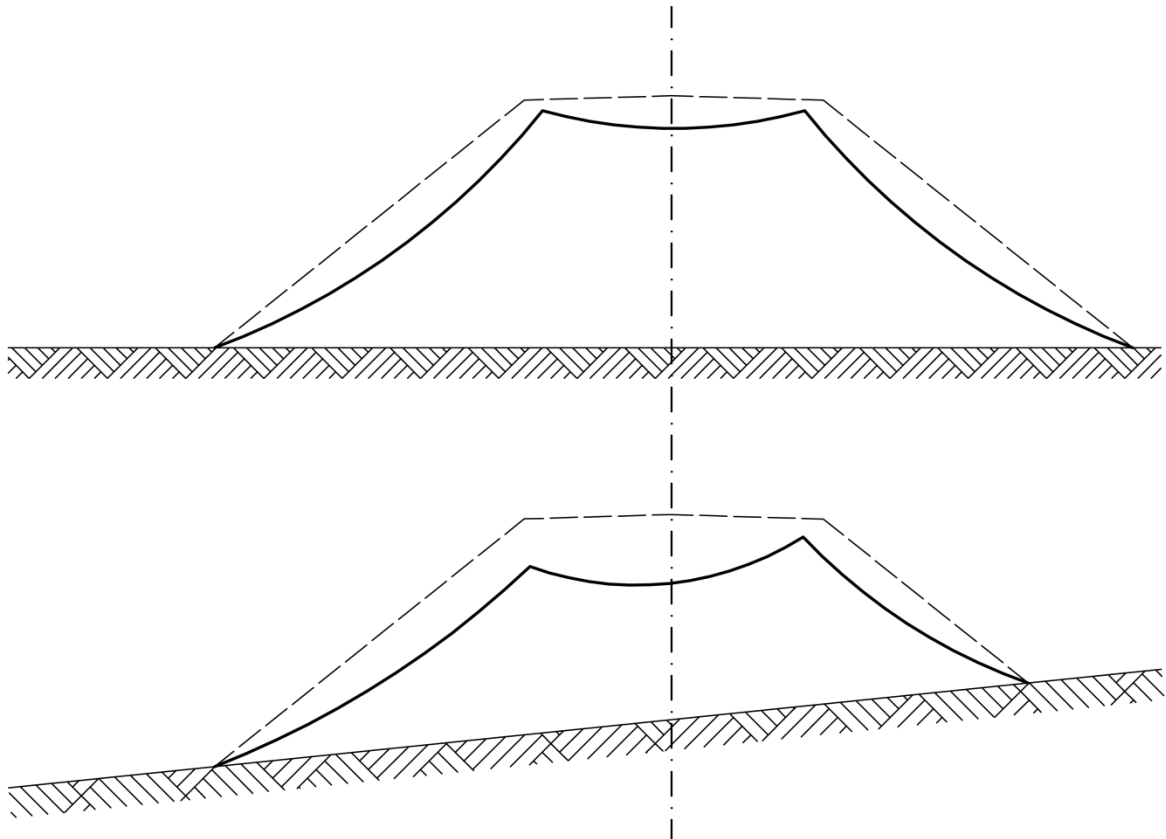
Töltések mállásának kialakulásában is jelentős szerepet játszik a tömörítetlenség. A tömörítetlen töltésbe építés közben beszivárgó jelentős mennyiségű víz hatására a kötött talajból épülő töltések anyaga felpuhul és önsúlya hatására deformálódik. Javítani csak teljes talajcserével lehet, mert a kötött talajból épített töltés anyagát gravitációs úton nem lehet vízteleníteni.



Töltések mállása

Töltések roskadása

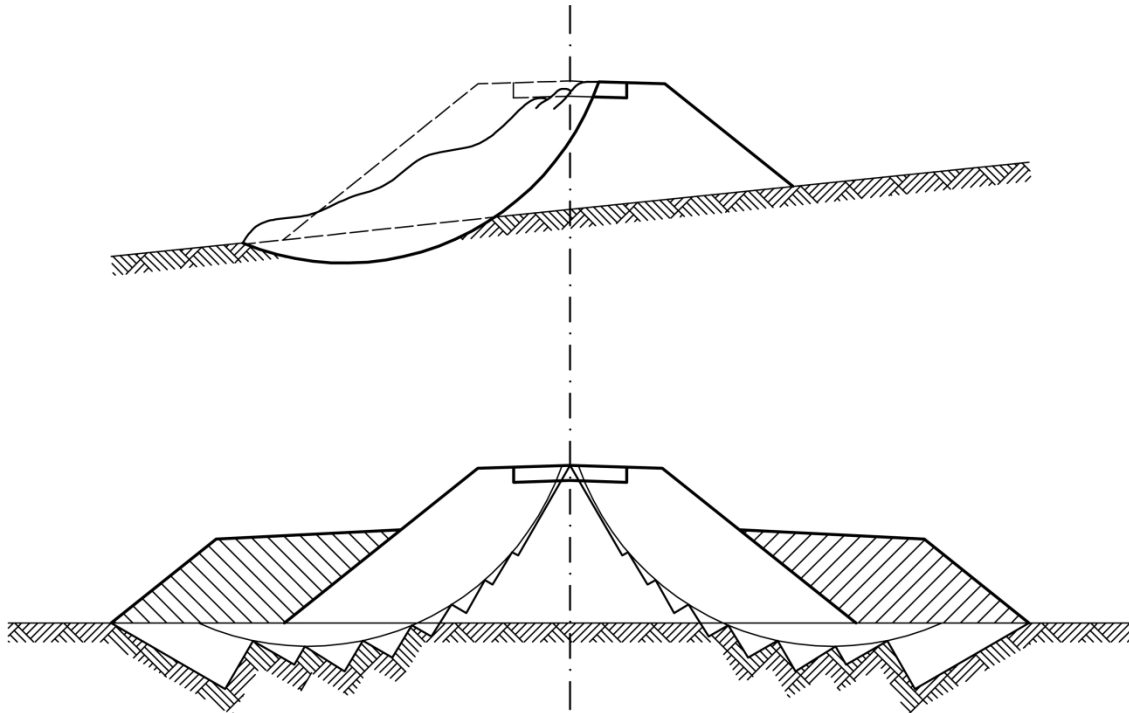
Töltésrozkadásnál a töltés keresztmetszete torzul, amit előidézhethet a hiányos tömörítés, vagy az el nem távolított humuszréteg. A jelenség építés után már néhány hónappal, maximum egy évvel később kialakul. A folyamat nem állítható meg, mert az utólagos tömörítés a töltés mélyebb rétegeiben hatástalan. Amennyiben a jelenség csak a töltési vállak környezetében alakul ki, úgy azok újraépítésével a károsodás megszüntethető.



Töltések roskadása

Töltések szétcsúszása

Töltés szétcsúszásakor a töltés anyaga alámetsző csúszólapok mentén mozdul el, amelynek oka az altalaj nem megfelelő vagy lecsökkent teherbírása. Javításkor az elmozdult földtömeget el kell távolítani, a felszíni vízelvezetés hiányosságait meg kell szüntetni, az épen maradt töltésrész és az altalaj víztelenítését szivárgókkal meg kell oldani. Az állékonyságot fióktöltés is növelheti.



Töltések szétcsúszása

Földművek védelmének általános szempontjai

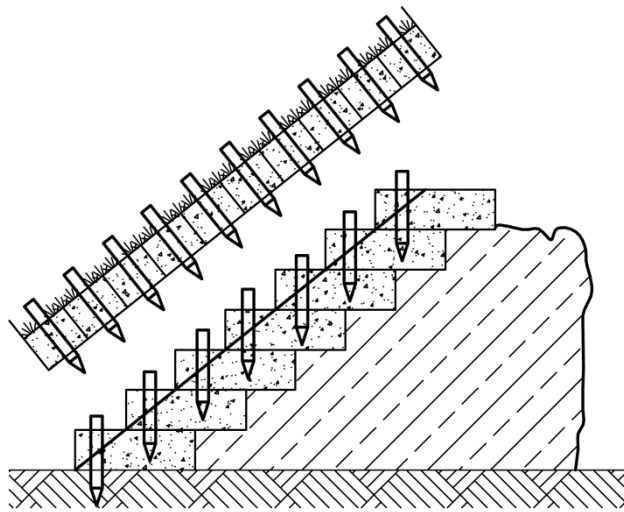
Az idő múlásával megváltozott – általában megnövekedett – mechanikai igénybevételek, és az éghajlati tényezők együttes hatására a földművek romlása megindulhat. Ezek a rongálódások a rézsűkből indulnak ki, tehát a hangsúlyt a rézsű védelmére kell helyezni. A tájba harmonikusan illeszkedő, természetes anyagokat célszerű felhasználni, de a nehezen kezelhető területeken jól beválnak a különböző kialakítású műanyaghálók is.

Rézsűvédelem gyepesítéssel

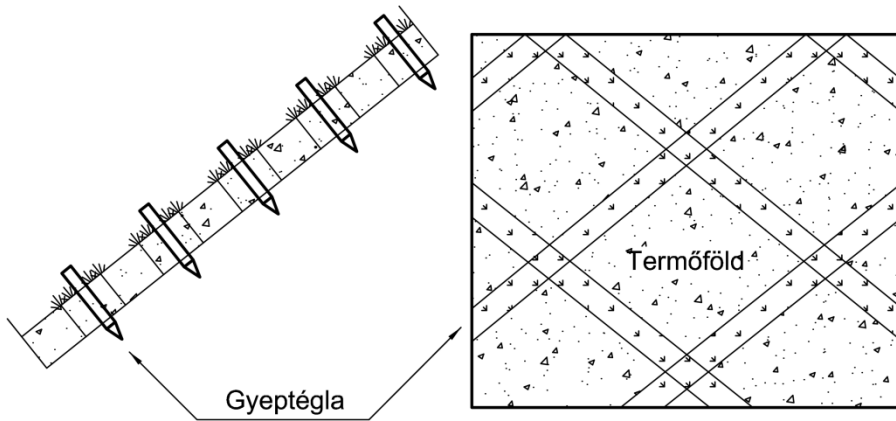
A gyepesítés a rézsűvédelem egyik legegyszerűbb módja. A rézsű felületére 15–20 cm humuszos talajt kell elteríteni, majd ebbe kézzel a fűmagot elvetni. Nyers rézsűfelületet vízugaras gyepesítéssel vethetünk be. A fűmagot, tápanyagot és valamilyen vízben oldódó ragasztóanyagot (Hydrosa Veridol, BIOSOL+HUMOFINA stb.) vízzel keverünk össze, a keveréket magas nyomású permetezővel a rézsűre juttatjuk.

Rézsűvédelem gyeptéglázással

A gyeptéglákat a rézsű síkjába egymás mellé fektethetjük, pálcikával a rézsű felültéhez rögzítve, vagy egymásra rakva falazatszerűen helyezhetjük el. A gyeptéglákkal nem szükséges mindig a teljes felületet burkolni, alkalmanként elég, ha azt rácsosan helyezük el. A kialakuló kazettákat termőfölddel kell kitölteni.



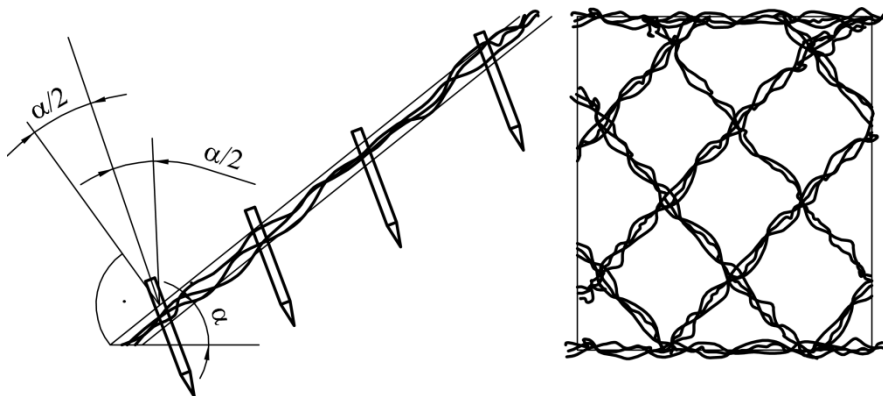
Gyeptéglák elhelyezése



Gyeptéglák rácsos elhelyezése

Rézsűvédelem rőzsefonással

Rézsűk védelmét szolgálja az élő vagy száraz anyagból készített rőzsefonás, amelyet szintvonal irányában, szakaszosan a sorok között átfedést létrehozva, vagy rácsosan helyezhetünk el a rézsűn. Az élő rőzsefonáshoz jól sarjadó fűz-, éger- és nyárhajtásokat használhatunk.



Rőzsefonás elhelyezése

Rézsűvédelem természetes alapanyagú textíliákkal

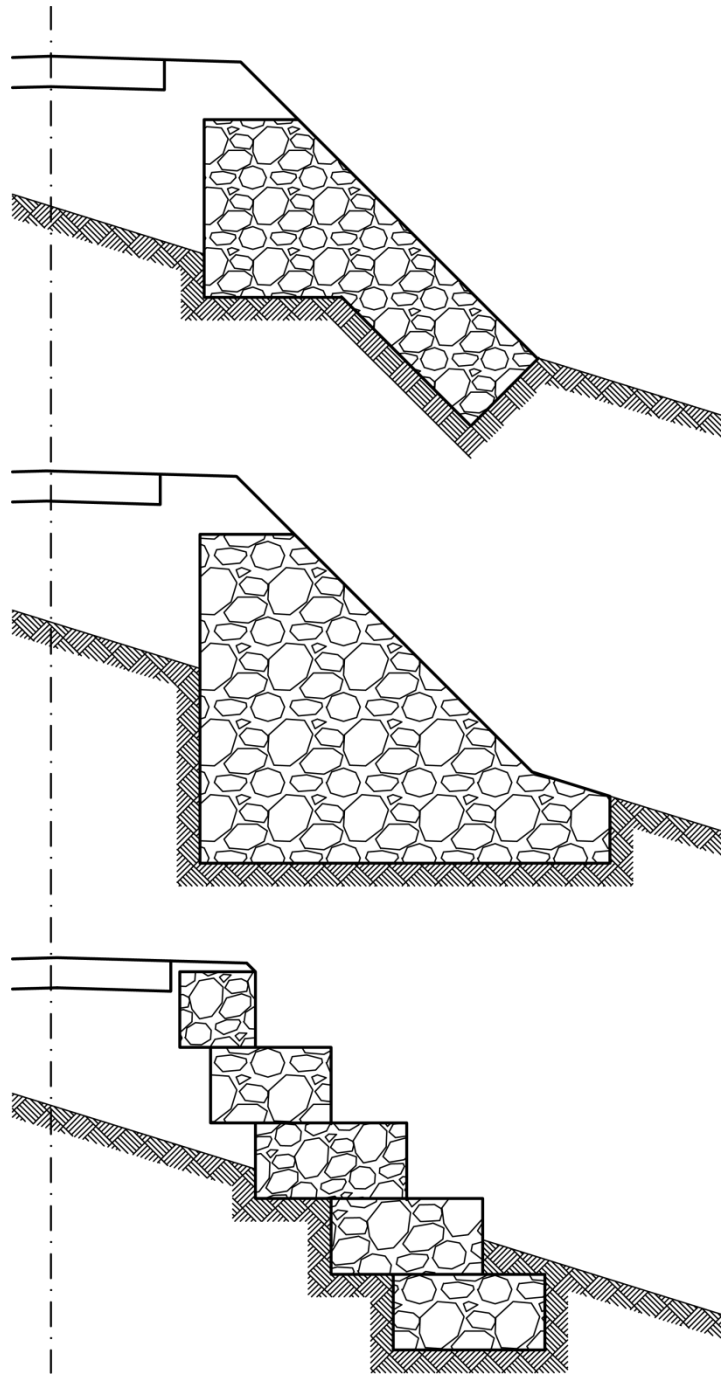
A nyers rézsű felületének védelmére használhatók a természetes alapanyagokból készített gyakorlatilag teljes egészében lebomló textíliák, amelyek anyaga kókusz, szalma, juta illetve ezek kombinációja. Szerkezetük szerint ezek rostmatracok, vagy szőtt hálók, textíliák. A rostmatracok megerősíthetők vékony polietilén hálóval, amely a gyökérszónában elhelyezkedve előregedéséig segíti a növényzet gyökereinek megkapaszkodását. A rostmatracok és szövetek tartalmazhatnak fűmagot is, ami a begyepesedést segíti elő.

Kőláb, kőrézsű és gabion

A földművek fokozott védelmét jelenti a kőláb és kőrézsű. Ezeket kötőanyag nélküli un. száraz falak formájában építjük meg. Építőanyaguk fagyálló, szilárd, kissé idomított (faragott) terméskő. A rétegek a rézsűre merőlegesen álljanak, a köveket kötésbe kell rakni. A hézagok 2 cm-nél kisebbek legyenek. A száraz falak méreteit a tapasztalatok alapján kialakított szerkesztési szabályok szerint kell meghatározni. Az állékonyság vizsgálatát a támfalakhoz hasonlóan kell elvégezni.

Korszerű megoldás a korrózióálló fémhuzal- vagy műanyagból összefogott terméskőből, az un. kőkosárból vagy gabionból épített falazat. A fémhuzal vagy műanyag hálóból kialakított téglatest alakú „doboz”-t a beépítés helyén kötésbe kell elhelyezni, majd kellő szemnagyságú terméskővel meg kell tölteni. (A „doboz” méretei általában: magasság, mélység, hossz = 1x1x2 m) A különböző nagyságú „doboz”-okból változatos felületet lehet kialakítani, amin a növényzet is meg tud telepedni.

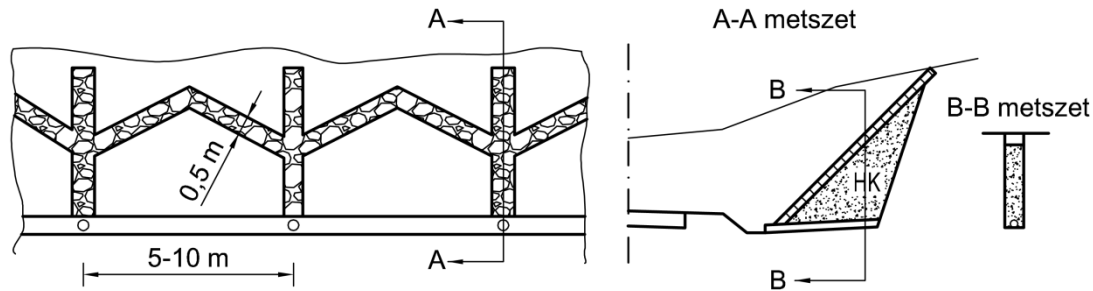
A falazatok mögött felgyűlő víz elvezetéséről gondoskodni kell a víznyomásból kialakuló többletterhelés csökkentése érdekében.



Kőláb, kőrészű és gabion

Szivárgókkal kombinált kőbordák

Puha agyagtalajokban kialakított bevágási résűk lassú mozgása és a csúszásveszély csökkentése érdekében szivárgókkal kombinált kőbordákat kell építeni. A talaj kiszáradásával a fundamentális nyírószilárdság értéke megnő, a talaj átboltozódik és a folyamatos alakváltozás megszűnik.



Szivárgókkal kombinált kőbordák

FÖLDMŰVEK ÉPÍTÉSE

Az erdészeti utak kis szélessége, a megszokottnál nehezebb terepviszonyok, kedvezőtlen, a közutaknál megszokott viszonyokhoz képest szokatlan építési körülményeket teremtenek. Ez azonban nem indok arra, hogy az erdészeti utakat csökkent minőséggel építsék meg.

Az erdészeti útépités nem egy alacsonyabb rendű út létesítése, hanem az útépitésnek egy speciális ága. Célszerű, ha ezeket a munkákat az erdészeti útépitésben gyakorlott vállalkozók végzik, akik felkészültek a speciális igények kielégítésére.

A földművek építésének fontosabb ismeretei az alábbiakban csoportosíthatók:

- Előkészítő munkák
 - Tengelypontok helyreállítása és kibiztosítása
 - Útpászta faállományának kitermelése
 - Tuskózás
 - Termőtalaj eltávolítása
- Földmunkák végzésének fontosabb fogalmai és általános szabályai
- Földmunkagépek és a földművek építése
 - Földtológépek (dózerek)
 - Földgyaluk (gréderek)
 - Kotrós földmunka
- Földművek tömörítése
 - Tömörítőgépek munkája és az eszközök kiválasztása
 - Utak földműveire vonatkozó tömörségi előírások

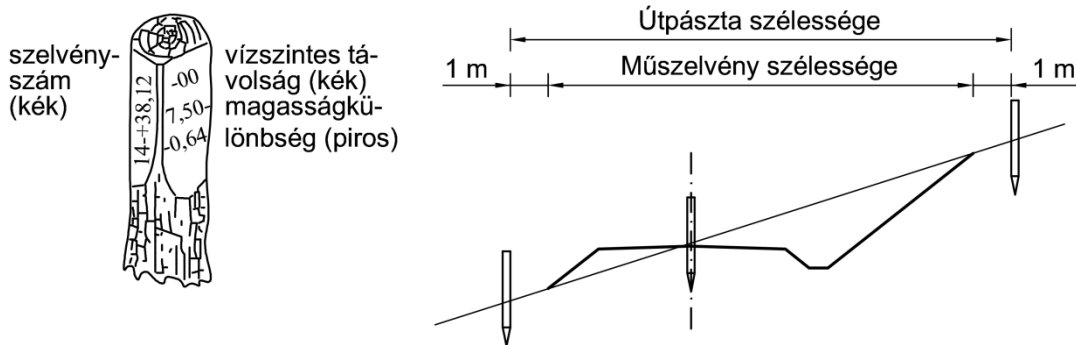
Tengelypontok helyreállítása kibiztosítása

Az építési munkák megkezdése előtt a tervező által kitűzött tengelypontokat fel kell keresni, a megsemmisült mérési jeleket pedig pótolni kell. Ezt helyreállításnak – reambulálásnak – nevezzük. A helyreállítást az építési terv alapján kell elvégezni úgy, hogy felkeressük a talajban még fellelhető talajkarókat, a hiányzókat pótoljuk és íráskarókkal jelezzük. A talajkarók megtalálását az EOVB-ben történő tervezés és a GPS vagy mérőállomás gyorsítja.

A helyreállított tengelyvonalat át kell adni a kivitelezőnek, akinek ezeket a pontokat ki kell biztosítani úgy, hogy az építés ideje alatt megsemmisülő tengelypontokat helyszínrajzilag és magasságilag mindig vissza tudja állítani. A kibiztosítás módját a földmunkagép típusa határozza meg.

Tengelypontok kibiztosítása két oldalról

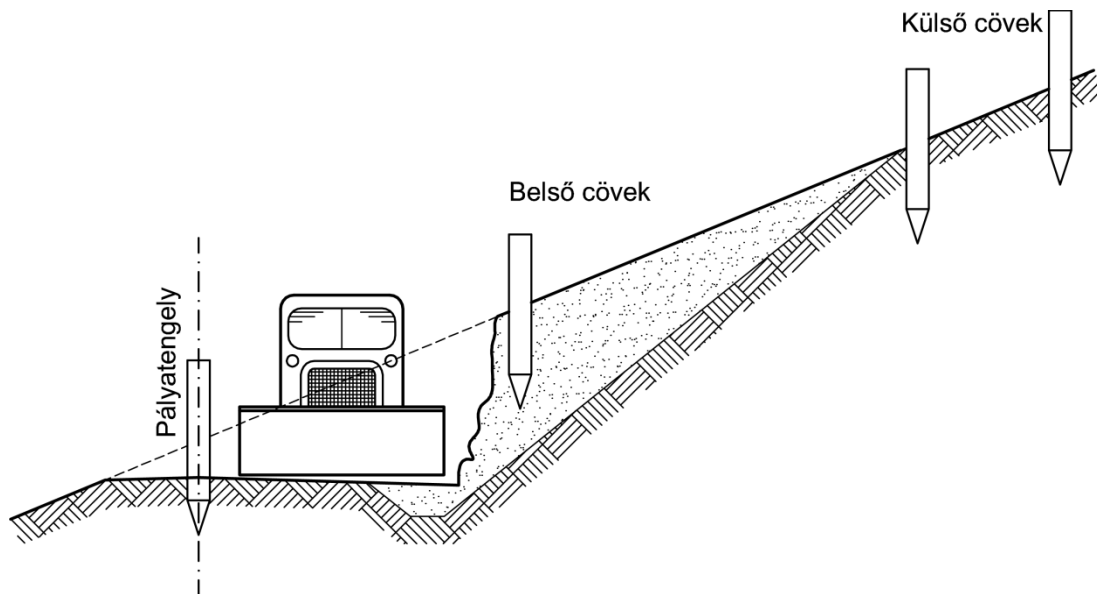
A tengelypontot jobbról, balról 1–1 karóval biztosítjuk ki, amelyek a ponttól a tengelyre merőlegesen mérve 10–15 m távolságra vannak, de mindenképpen műszelvénnyel nem érintett területen.



Tengelypontok kibiztosítása két oldalról

Tengelypontok kibiztosítása egy oldalon

A két cöveket a hegy felőli oldalon helyezzük el úgy, hogy a belső cövek fél útkorona + árok felső szélessége + 0,50 m távolságra legyen a tengelytől. A másik cöveket ettől szokás szerint 4,00 m-re vagy a bevágási rézsű körömpontjában.



Tengelypontok kibiztosítása a hegy felőli oldalon

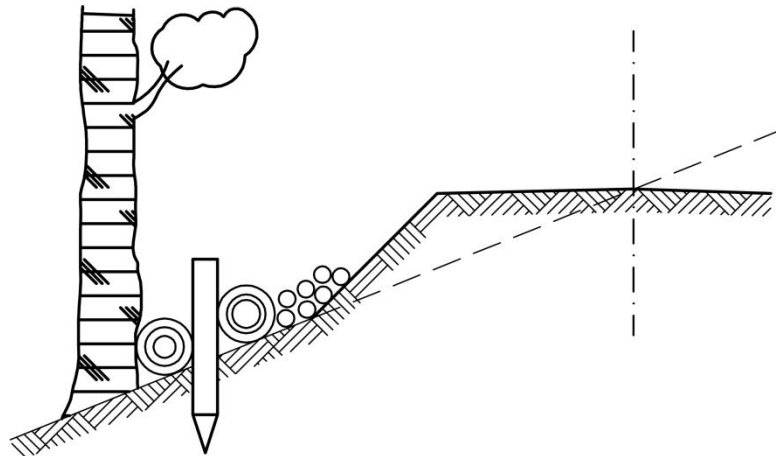
Kibiztosítás kísérő sokszögvonallal

A hagyományos kibiztosítás elmaradhat, ha a tervezés EOVB-ben történt és így ismerjük a tengelypontok koordinátáit. Ekkor kitűzhető egy olyan kísérő sokszögvonal, amelynek pontjai építés közben nem semmisülnek meg. A kísérő sokszögvonal pontjaiból mérő-állomással a tengely pontjai bármikor egyszerűen visszaállíthatók.

Útpászta faállományának kitermelése

A kitermelendő állomány határát a keresztmetszvények munkarészből átvett méretek alapján, a lábön maradó fák törzsén és tövén kell megjelölni. A pászta szélessége az útépítéssel érintett terület szélességét mindkét oldalon 1–1 m-rel haladja meg.

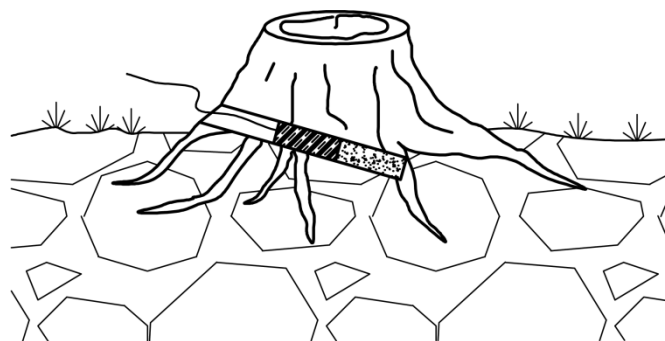
Bevágási rézsűk fölött az erősen megbontott gyökerű, balesetveszélyes fákat el kell távolítani. Meredek hegyoldalon a pászta völgy felőli oldalán álló értékes faállományt az útépítés közben legördülő kövek ellen védeni kell. Védelemre használható a területen található ágfa, a tűzifa méretű vágástéri hulladék, amit karókkal, cövekekkel kell rögzíteni a védendő fák tövénél.



Fák védelme a legördülő talajtól, sziklától

Tuskózás

Fakitermelés után a pásztából a tuskókat kell eltávolítani. Talajtól és fafajtól függően a tuskók 20–30 cm tuskóátmérőig dózerrel kifordíthatók a talajból. A nagyobb tuskókat robbantással kell meglazítani, amit azután dózerrel is ki lehet tolni. Töltések alatt a tuskók helyét tömörítve vissza kell építeni. Ezzel megakadályozzuk a víz összegyűlését a töltés alatt, ami teherbírás-csökkenést és káros alakváltozást okozhat.



Tuskó előkészítése robbantáshoz

Termőtalaj eltávolítása

A termőtalaj eltávolítása enyhén lejtő terepen gréderrel, meredek oldalakban dózerrel, a töltésalapozással együtt is elvégezhető. A lefejtett nagy szerves anyag tartalmú talaj felhasználható az útépítés végén a nyers felületek humuszolására.

A 400 m²-nél nagyobb területet érintő humuszosítás esetén *Talajvédelmi tervet* kell készíteni, amely tartalmazza az elhelyezés helyét és módját.

Földmunkák végzésének fontosabb fogalmai és általános szabályai

Földmunka alatt a talaj fejtését, szállítását és beépítését vagy elhelyezését értjük. A fejtés: bevágások, illetve a töltési hiányok pótlása céljából létesített anyagárkok vagy anyagnyerőhelyek talajának meglazítása, szállításra alkalmas darabokra törése és felrakása a szállítójárműre.

Fejtési szempontból a talajokat 1–7 fejtési osztályokba soroljuk a laza talajoktól a tömör szikláig.

Földfejtés

Kézi földfejtést általában a földmunkák finomításakor vagy kisebb terjedelmű földmunkákon végzünk (pl.: műtárgyak alapozásánál). A földanyag kézi átlapátolása a karolás. Egy karolás távolsága vízszintesen 4 m, függőlegesen 2 m.

A gépi földfejtéshez használt eszközök általában alkalmasak a talaj kis távolságú mozgatására és rakodására is (pl.: gépi rakodólapát).

Sziklás talajnál a kőzetet robbantással lazítjuk meg, itt kőzetfúrókat és fejtőgépeket is használunk.

Szállítás

A fellazított földanyag hossz- és keresztirányú szállítással juttatható a beépítés vagy elhelyezés helyére. A földfejtésre használt gépeket a rájuk jellemző optimális szállítási távolságon belül célszerű szállításra is használni. Hosszabb szállítási távolságon a billenőteknős tehergépkocsi, vagy dömper munkába állítása javasolt. Törekedni kell arra, hogy a hosszirányú szállítás az esés irányába történjen.

Elhelyezés és beépítés

A szállított anyag elhelyezése a szállítóeszköz ürítésével kezdődik, amelyet az elterítés követ. Beépítéskor az elterített rétegeket az előírások szerint be kell tömöríteni, majd a felületek alakítása, simítása és az utómunkák fejezik be a munkaműveletet.

A töltéseket az optimális tömörítési víztartalom körüli nedvességgel rétegesen, a talajfajtának megfelelő tömörítő eszközzel, az előírt tömörségi fokig be kell tömöríteni. A tömörséget az építés közben ellenőrizni kell. Töltésbe épített talajoknál törekedni kell arra, hogy hosszabb ideig tömörítetlen réteg ne legyen a földmű területén. A tömörített rétegek felületét 3–4% eséssel kell kialakítani, hogy a felületre jutó víz lefolyhasson. A tömörítetlen, elázott talajt csak kiszáritás után lehet felhasználni. Fagyott talajból töltést építeni tilos.

Műtárgyak építése

A műtárgyak egy részét már a földműépítés megkezdése előtt el kell készíteni. Munkaárkok földvisszatöltését csak akkor szabad elkezdni, ha a beépített szerkezet már állékony. Földvisszatöltésre az eredeti talajnál gyengébb minőségű talajt felhasználni nem szabad. A szivárgórendszereket, a bélésfalakat és a rézsűbiztosításokat a földműépítéssel párhuzamosan, vagy annak elkészült szakaszán utólag kell megépíteni.

Bevágások, anyagnyerőhelyek

A bevágásokat úgy kell kialakítani, hogy építés közben felületükön a víz ne álljon meg. Az anyagnyerőhelyek ne zavarjanak meg nagy területet, határolásuk állékony és esztétikus legyen, a megfelelő víztelenítésről gondoskodni kell. A balesetek megelőzése érdekében az anyagnyerőhelyeket körül kell keríteni.

Anyagárok helyett a bevágásokból kikerülő földtömeget növeljük meg a bevágási rézsú hajlásának csökkentésével. Az így kialakított rézsún a növényzet is könnyebben megtelepül és az építéssel okozott tájseb is kisebb.

Depóniák kialakítása

A felesleges földtömeget deponáljuk. A depóniákat tömöríteni nem kell, de rendezett kialakításukról gondoskodni kell. Törekedni kell a rendelkezésre álló terület jó kihasználására. Az elhelyezés fontos szempontja, hogy a depónia ne akadályozza az építést, az út rendeltetésszerű használatát, a felszíni vízfolyást és a terület víztelenítését. A depónia belső és külső állékonyságát biztosítani kell.

Földtológépek vagy dózerek

Az erdészeti utak keskeny vonalas létesítmények ezért általában célszerű egyszerű, mozgékony munkagépeket használni, amelyek egyszerű munkamódszerekkel dolgoznak. Az erdészeti utak építésének vezérgépe a dózer, amely a durva földmunkát készíti el. A finom földmunkát a gréder végezi.

A dózer egy lánctalpas traktor (35-110kW) az elejére szerelt tolólappal (0,70–1,00m magas, 2,00–3,80 m széles), amely talajrétegek lenyesésére és földanyag tolásra használható. A tolólap alsó részét cserélhető vágóélként alakítják ki, amelynek vágásszöge állítható. A tolólap függőleges irányú főmozgása hidraulikusan, a régebbi típusoknál mechanikusan vezérelhető. A mechanikus vezérlésnél csörlő, csigasor és drótkötél végzi a mozgatást.

A hidraulikus vezérlésű dózer használata az elterjedt és előnyös, mert

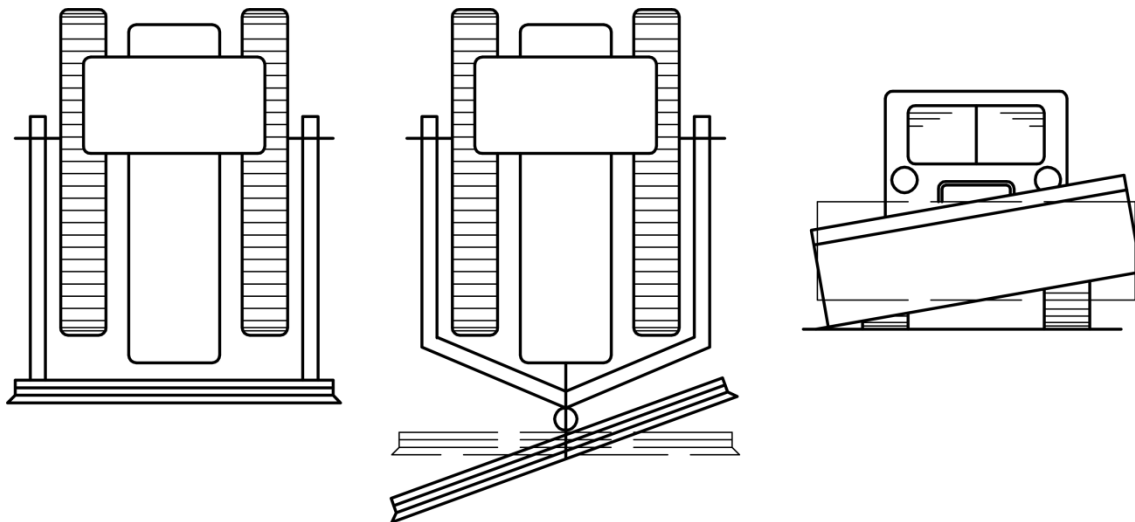
- a lemez a traktor súlyával megterhelhető,
- a lemez mozgása jól szabályozható és rögzíthető,
- kisebb gyakorlattal is jó munkát lehet vele végezni.

Hátránya a korlátozott magassági mozgás lehetősége.

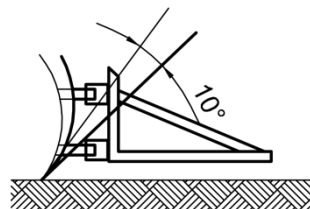
A tolólap keresztirányú mozgatása szerint a földtológépek három típusát különítjük el, amelyek a következők:

- buldózer: a tolólap mindig a gép hossz tengelyére merőlegesen áll,
- angledózer: a tolólap keresztirányban elfordítható,
- tilt dózer: a tolólap a földmű oldalasításának megfelelően állítható be.

Hazánkban a buldózer és az angledózer használata terjedt el. A lap harmadik mozgási lehetősége a vágásszög beállítását teszi lehetővé, a talaj kötöttségének megfelelően.



Tolólap állítási lehetőségei különböző típusú földtológépeknél



Tolólap vágásszöge

Földtológépek munkája

A földtológépek munkája a következő munkaműveletekből áll: előremenetben nyesés, tehermenet, ürítés és egyengetés, majd sebességváltás után hátramenetben visszatérés a fejtés helyére szintén egyengetést végezve. Nyeséskor a tolólap éle az egy menetben lenyeshető réteg (15–20 cm) alsó síkjában mozog, és a lenyest talajt maga előtt tolja. Tiszta tehermenetben a tolólap éle a talaj felszínén mozog, amit ürítéskor a talaj felszíne fölé emel a terítési vastagságnak megfelelő magasságba. A dózer hátramenetben a tolólap hátoldalával egyengetést végezhet, ha a lemezt úszó helyzetben az elterített réteg felszínére engedjük.

A dózer teljesítménye függ:

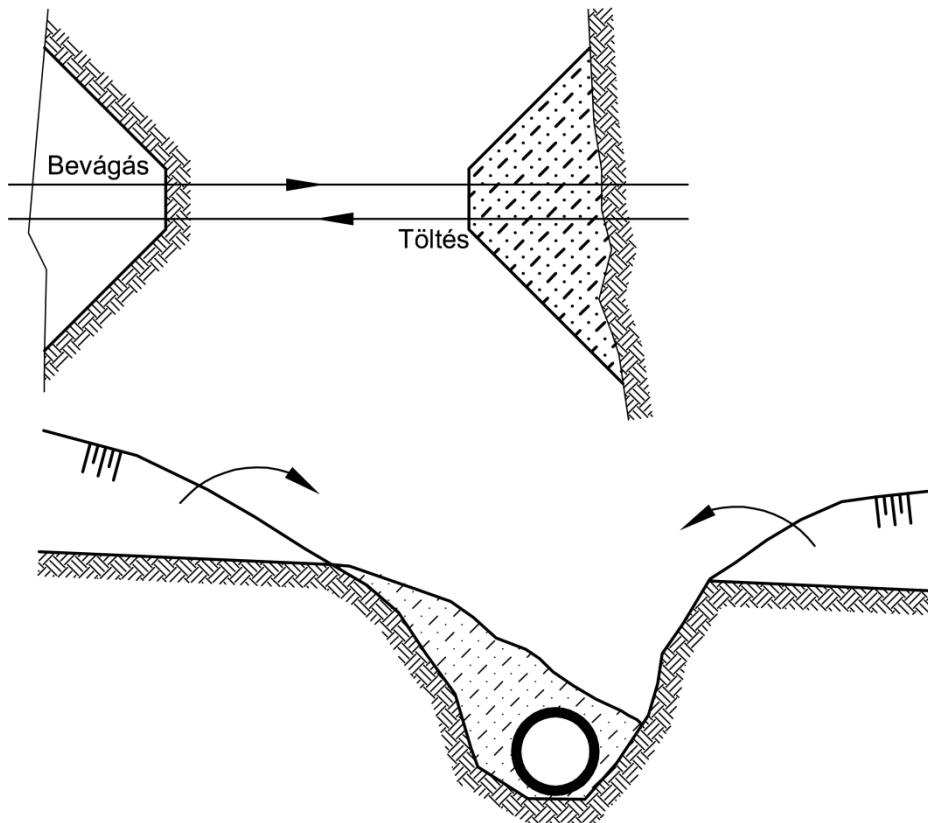
- a talaj fejtési osztályától;
- az emelkedőtől, ezért célszerű lejtő irányába dolgozni;
- a gépkezelő rátermettségétől, gyakorlatától;
- az időjárási viszonyoktól;
- a szállítási távolságtól.

Tehermenetben a dózer tolólapja előtt mozgó talaj mindkét oldalon fokozatosan elmarad, amit további menetekkel kell összegyűjteni. Ez a dózer teljesítményét csökkenti. A dózer teljesítménye 50 m szállítási távolság körül minimumra csökken. Az optimális szállítási távolság 30 m.

Erdészeti utak építésénél a dózerek általában háromféle munkamódszer szerint dolgoznak.

Ingamozgás

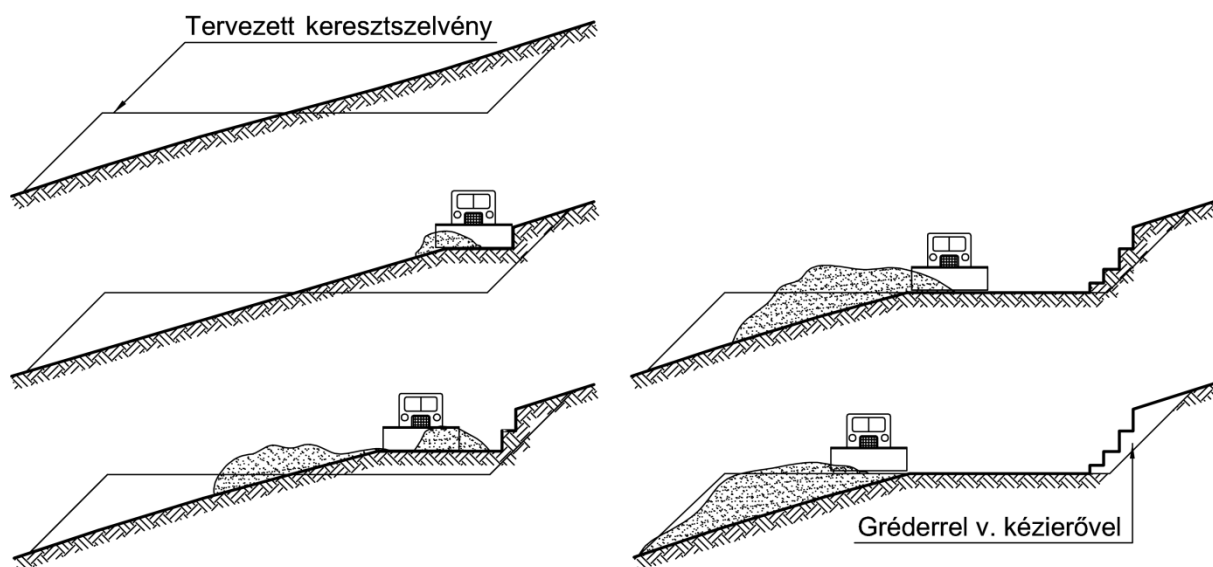
A dózer ingamozgást végez, ugyanazon a pályán halad előre és hátra, az úttengellyel párhuzamosan, így a bevágásból kitermelt talajt a töltésbe tolja. Ez a módszer a teljes bevágást követő teljes töltések építésére alkalmas, amikor pl. mélyebb mellékvölgyet kell betölteni egy teljes bevágás talajának felhasználásával. A dózer a talajt ilyenkor is szabályosan terítse el és az elterített rétegre járjon rá, mert ezzel a töltés alját kissé megtömöríti akkor is, ha a szűk völgyben vagy árokban nem lehet a tömörítőgépet munkába állítani.



Mellékvölgy áttöltése ingamozgással

Vegyesszelvény építése

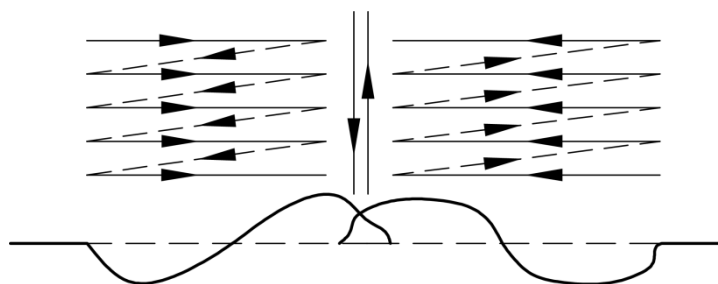
A domboldalban, vegyesszelvényben kialakított keresztmetszvények építésekor a bulldózer a bevágási oldalon a tengellyel közel párhuzamosan halad, majd a töltés felé kifordul, és a tolt talajt a töltésbe elteríti. A földmű építését a bevágás körömpontjától kell kezdeni és több menetben kell a végső szelvényt kialakítani.



Bulldózer oldalazó mozgása vegyesszelvény építésekor

Síkvidéki utak földművének építése

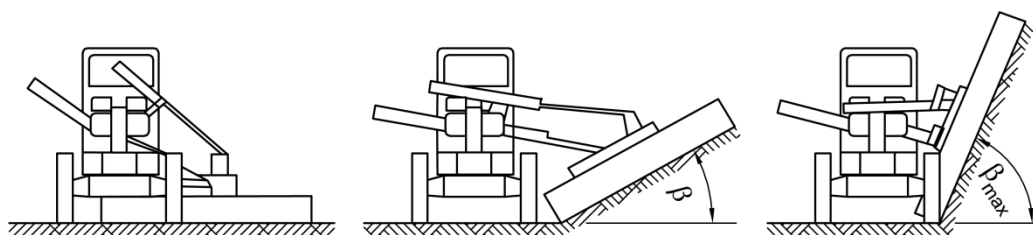
A síkvidéki utakat víztelenítési okok miatt kis töltésekben kell megépíteni, amelyeknek anyaga az út mellett húzódó anyagárból kerül ki. A dózer ekkor a földművet két oldalról, az út tengelyére merőleges irányban építi, mellékműveletként pedig a tengely irányába mozogva a töltés anyagát elegyengeti, elrendezi.



Síkvidéki utak kiemelése anyagárból nyert talajból

Földgyluk vagy gréderek

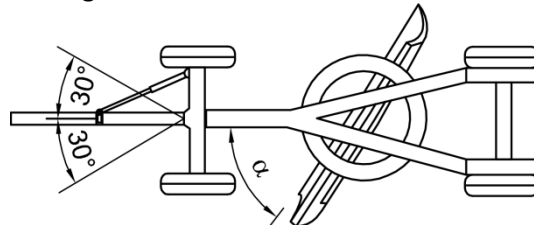
A finom földmunka eszközei a földgyluk, amelyeknél a kést a két tengely közé függesztik fel, így az egyenetlenséget arányosan csökkenti. A földgylu kése íves felületű, hossza 3–4 m, magassága 40–60 cm. Az egy menetben lefejtett talajréteg vastagsága (a fogás mélysége) 20–30 cm. A földgylu kése keresztirányba mindkét oldalra elmozdítható és különböző tengelyek mentén elfordítható. Keresztirányba a gyalulemezt általában úgy ki lehet tolni annyira, hogy vele a keréknyomon kívül eső felületek is megmunkálhatók.



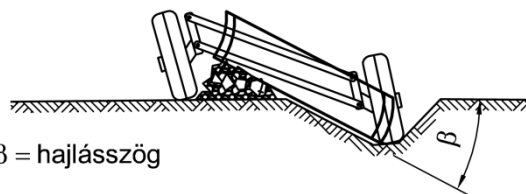
Földgylu késének oldalirányú mozgása

A különféle tengelyek körüli elfordításokkal a kés helyzetének jellemzésére használt három szöget lehet beállítani a talaj típusának és a végzett munkának megfelelően:

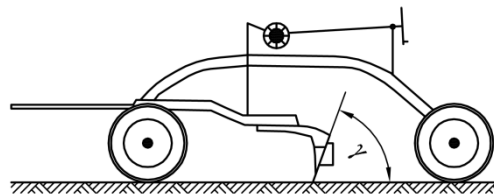
- a fogásszög vagy oldalszög (α) a kés vízszintes vetülete és a gréder hossz tengelye által bezárt szög,
- a hajlásszög vagy rézsűszög (β) a kés élének vízszintessel bezárt szöge,
- a vágószög vagy nyesőszög (γ) a kés függőleges metszetében az éltől húzott érintő és a vízszintes által bezárt szög.



α = fogásszög



β = hajlásszög



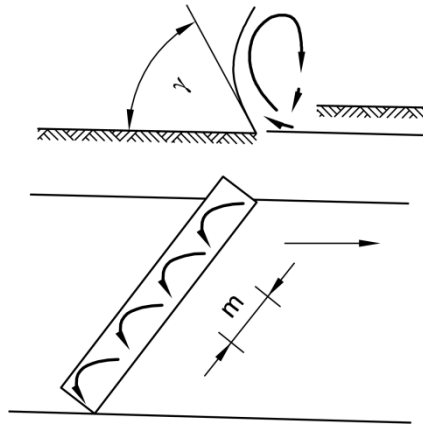
γ = nyeső szög

Földgyalu késének állását jellemző szögek

A földgyalu íves kiképzésű kése előtt a talaj 90° -os fogásszög mellett hengerpalást mentén mozdul el. Amennyiben az α kisebb, vagy nagyobb mint 90° , a talaj csavarvonal mentén keresztirányba is elmozdul és a gréder késének elmaradó végén szalagprizmában halmozódik fel.

A földgyalu kerekei típustól függően dönthetők, ami a könnyebb kormányzást és iránytartást segíti elő akkor, amikor a munkagép egyik keréksora pl. az árokban halad. A földgyaluk lehetnek önjáró, vagy vontatott kialakításúak.

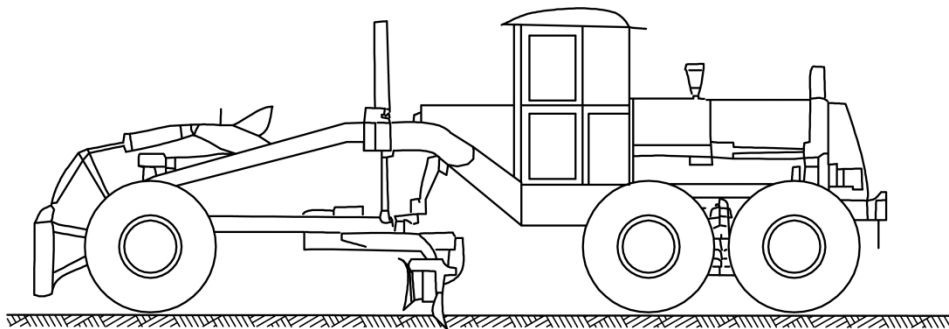
A földgyaluk talajszaggató adapterrel és tolólappal is felszerelhetők.



Talajszemcsék mozgása a földgyalu kése előtt

Önjáró földgyaluk

Az önjáró földgyaluk (más néven autó- vagy motorgrederek) hátsó egy vagy két tengelyük 50–80 kW (70–110 LE) teljesítményű motorral hajtott. A gyalukést a tengelytávolság felének közelében függesztik fel. A kés minden irányba elmozdítható és elfordítható, hidraulikusan mozgatható. Futóműve gumiabroncsos, az első, kormányzott kerekek dönthetők. Nagy teljesítményű, könnyen használható munkagép, amellyel a finom földmunka bármely feladata elvégezhető.



Önjáró földgyalu jellegrajza

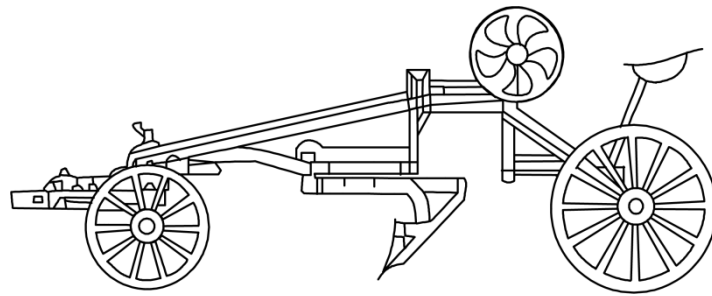
Vontatott földgyaluk

A vontatott földgyalukat 35–50 kW (50–60 LE) teljesítményű vontatók mozgatják. A merev, hegesztett keretbe a tengelytáv felében elhelyezett gyalukés mechanikus vezérléssel minden irányba állítható. A földgyalu kése keresztirányba mindkét oldalra elmozdítható és különböző tengelyek mentén elfordítható. Keresztirányba a gyalulemezt általában úgy ki lehet tolni, hogy vele a keréknyomon kívül eső felületek is megmunkálhatók.

A vontatott gréder függesztő szerkezete is kifordítható az alváz alól, ezáltal az árok kialakíthatók, a bevágási rézsűk felülete rendezhető. A vontató ilyenkor az elkészült földművön mozog, ezért ezeknél a műveleteknél (árokészítés, rézsűnyesés stb.) a gréder nem halad a vontató nyomán. A vontatást ekkor hosszú, vagy ferde helyzetben rögzíthető vonórúddal kell megvalósítani. A gréder kerekei dönthetők. A kerekek így akkor is függőlegesen állhatnak, ha a földnyeső egyik keréksora árokban, másik a koronán halad. Ez a helyzet jelentősen könnyíti a kormányzást és a vágóél finom vezetését.

A vontatott gréderek fordulása nehézkes (nagyobb helyigény, lassú stb.) ezért hosszú útszakaszok munkába vételénél, földutak karbantartásánál használható előnyösen. A nagy földúthálózattal rendelkező erdészetek ezeket a gépeket jól kihasználhatják földútjaik fenntartására, mert:

- használaton kívül erőgépet nem kötnek le,
- kihasználásukról a kis amortizációs költségek miatt nem kell gondoskodni, tehát munkán kívül is az erdészetnél várakozhatnak. Ez a készenlét lehetővé teszi a gréder használatát akkor, amikor a földút talaja a karbantartás szempontjából kedvező nedvességi állapotú.



Vontatott földgyalu jellegrajza

Földgyaluk munkája

Földgyaluvál a következő munkaműveletek végezhetőek el:

- humuszréteg eltávolítása az előkészítő munkák idején,
- egyszerű lépcsők kialakítása töltésalapozásokhoz,
- a pályaszerkezet elhelyezésére szolgáló tükör kialakítása,
- a tükörbe szállított anyag elterítése,
- két vagy több anyag (talaj) összekeverése,
- rézsúk felületének rendezése,
- árkok készítése,
- sík vagy enyhe lejtésű terepen a teljes műszelvény kialakítása,
- elhanyagolt vagy természetesen kialakult földutak (csapák) profiljának rendezése,
- padkanyesés, ároktisztítás és a rézsú karbantartása,
- földutak és mechanikai stabilizációs burkolatok karbantartása, a felület kiegyenlítése (púpok lenyesése és mélyedések betöltése), valamint a felületre hordott anyag elterítése.

Keverés és terítés gréderrel

A talajok összekeverésekor és egyéb anyagok talajba keverésekor a kés fogásszögét úgy kell beállítani, hogy a keverendő anyagok csavarvonal mentén mozduljanak el. A vágásszöget meredeken célszerű beállítani, hogy az anyag a magasból visszahullva megfelelően keveredjen. A tökéletes keveréket többszöri átforgatással érjük el, miközben az anyag a pályán keresztirányba egyik oldalról a másikra gördül át. Az utolsó menetben kialakuló szalagprizmát végül egyenletes rétegben el kell teríteni.

Az egyszerű szögárok a rézsúval együtt készül. A trapézárak durva szelvényét a rézsú elkészítése után kell kialakítani. Az árokból kikerülő földet külön menetben kell eltávolítani.

Kis földművek vegyes szelvényének építésekor a kés a földet lenyesi és keresztirányba eltolja a tárolás vagy végleges elhelyezés céljából. A kívánt keresztmetszetet a földgyalu több menetben alakítja ki.

Kotrós földmunka

A kotróval végzett földmunka eddig nem vált általánossá a hazai erdészeti útépítésnél. Ennek oka az lehet, hogy a földfelesleggel tervezett utaknál a depóniákat a töltések mellett közvetlenül alakították ki. A szállítási távolságok ezért a dózer optimális szállítási távolságán belül estek. A természet- és környezetvédelem igényeinek megfelelően törekedni kell a depóniák csökkentésére, a földtömeg szigorúbb kiegyenlítésére, ami a szállítási távolságok növekedéséhez vezet. A nagyobb távolságú földmozgatást tehergépkocsival lehet elvégezni, amelyre a rakodást célszerű a fejtést végző géppel – a kotróval - megoldani.

Kotróval végezhető műveletek:

- Kiemelhetők a kisebb tuskók, lefejthető a humusz;
- Elkészíthetők a töltésalapozást jelentő lépcsők és fogak;
- Megoldható a keresztirányú földmozgatás, tehát vegyes szelvények kialakíthatók, a felesleges talaj szállítójárműre rakható.

A kotrós földmunka hátránya az, hogy a töltések tömörítése elmarad, ezért a töltések tömörítésére megfelelő hengert kell munkába állítani.

A kotrók és a rakodólapátok nagyobb anyagnyerőhelyeken és kőbányákban is használhatók.

Tömörítőgépek munkája és az eszközök kiválasztása

Az utak állékonyságát a kellő víztelenítés mellett a megfelelő tömörség biztosítja. Az erdészeti utakon keletkező hibák és a pályaszerkezetek korai tönkremenetele leggyakrabban a tömörítetlenséggel magyarázható.

A tömörítést és a tömörséget befolyásolják:

- a talaj szilárd részének fizikai tulajdonságai,
- a talaj víztartalma,
- a tömörítőmunka nagysága,
- a tömörítés módja.

Tömörítési talajosztályok

A talaj szilárd részének fizikai tulajdonságai és a talaj víztartalmának függvényében a talajok tömörítési osztályokba sorolhatók:

- Jól tömöríthető talajosztály (J): $U > 7,0$ kavics, homokos kavics, kavicsos homok, homok, homokliszt talajok;
- Közepesen tömöríthető talajosztály (K): $U = 3-7$, Kötött talajok, ha az $I_p = 7-25\%$ között mozog víztartalma a w_{opt} -tól legfeljebb 3%-kal tér el;
- Nehezen tömöríthető talajosztály (N): $U < 3$ Kötött talajok, ha az $I_p = 7-25\%$ között mozog víztartalma a w_{opt} -tól 3,1-5,5%.

Nem tömöríthetők a kötött talajok, ha $I_c > 1,25$ és $I_c < 0,9$ és ez kezeléssel sem javítható, valamint ha a talaj a választott rétegvastagsághoz képest túlzottan nagy méretű szemcséket tartalmaz.

Tömörítőgépek

A tömörítés módját a talaj fizikai tulajdonságai határozzák meg. A tömörítő eszközt ezért úgy kell megválasztani, hogy annak tömörítési módszere megfeleljen a talaj által megkövetelt módszernek. Általános irányelvként elfogadható, hogy:

- a kötött talajokat gyúró hatással;
- szemcsés talajokat vibrációval;
- a köves sziklás talajokat döngölővel kell tömöríteni.

Gumiabroncsos hengerek: általánosan használt hatékony tömörítő eszközök. Optimálisan iszapos talajokon használhatók. Vontatott és önjáró kivitelben készülnek.

Vibrációs hengerek: főként a homokos kavics, durva homok talajok tömörítésére használják.

Juhláb- vagy fogashengerek kizárólag erősen kötött talajok tömörítésére használatosak.

Vibrációs juhlábhenger: vibrálva az iszapos homok és kavicsos homok, vibráció nélkül a kötött agyagtalajok tömörítésére alkalmas.

Sima acélhengerlőjű hengerek: önsúlyukkal tömörítenek, főként felületi hatást fejtenek ki, ezért simításra használhatók.

Vibrációs lapok: általában kis felületen, vagy szűk munkagödörben célszerű tömöríteni a futóhomok jellegű talajokat.

Döngölőlapok vagy döngölőbékák: kis magas-ságból leesve, gyors ütésekkel tömörítenek. Köves, sziklás talajok tömörítésére használhatók.

Kombinált henger: két különböző módon dolgozó henger összekapcsolásából kialakított tandem henger.

Tömörségi előírások

Az utak földműveire vonatkozó hazai tömörségi előírások alapja a módosított Proctor-vizsgálat.

Az útpályaszerkezet alatt 0,50 m vastag talajréteget különös gonddal kell tömöríteni:

- hajlékony pályaszerkezet (aszfalt) alatt: 90%,
- merev pályaszerkezet (beton) alatt: 95% tömörségi fokig.

A földmű alsóbb rétegében megkövetelendő a 85% tömörségi fok.

Célszerű, ha tömörségi fok változása 5%-on belül marad.

Földmű szükséges teherbírása

A földmű felső 0,50m vastag rétegétől megkövetelt E_2 teherbíró-képesség ($T_{rp}=90\%$ és $w_{opt}=\pm 3\%$):

- szemcsés talajok: 55-60 MN/m²,
- átmeneti talajok: 30-40 MN/m²,
- kötött talajok: 30 MN/m².

ERDÉSZETI UTAK MŰTÁRGYAI

Műtárgyaknak nevezzük az út alépítményének nem földből készülő létesítményeit, amelyek rendeltetésük szerint lehetnek:

- Támasztófalak: töltések vagy bevágások földanyagát támasztják meg;
- Hidak, illetve áteresztők: vízfolyások fölötti átvezetésre szolgálnak;
- Alul-, illetve felüljárók: két közlekedési pálya külön szintű keresztezését biztosítják;
- Alagutak: a térszín alatti zárt vonalvezetést teszik lehetővé.

Az erdészeti útépités szempontjából a támasztófalak és a hidak, illetve az áteresztők fontosak, mert a forgalom nem igényli a keresztező közlekedési pályák forgalmának külön szintű átvezetését, a terepviszonyok pedig nem indokolják a terep alatti zárt vonalvezetés megvalósítását.

A műtárgyak létesítése erősen megnöveli az alépítmény költségeit, ezért törekedni kell arra, hogy a műtárgyak számát megfelelő vonalvezetéssel csökkentjük (pl.: hossz-szelvény tervezésekor a nagy keresztmetszésű terepen a teljes koronaszélességet termelt talajra tesszük, csökkentve ezzel a támfalak számát.)

A műtárgyak létesítésénél fontos szempont, hogy azokat az erdőben haladó út környezetébe illesszük. A műtárgyak formája, vonalai simuljanak a környezetbe, építőanyaguk pedig legyen jellemző a tájra, így azok nem hatnak idegenül, megjelenésüket a természetes környezethez tartozónak érezzük. A műtárgyak formai kialakításakor mindig törekedni kell arra, hogy az anyag, a szerkezet és a forma egységét megteremtsük, mert ezzel már eleve biztosítható az építmény harmonikus megjelenése.

TÁMASZTÓFALAK

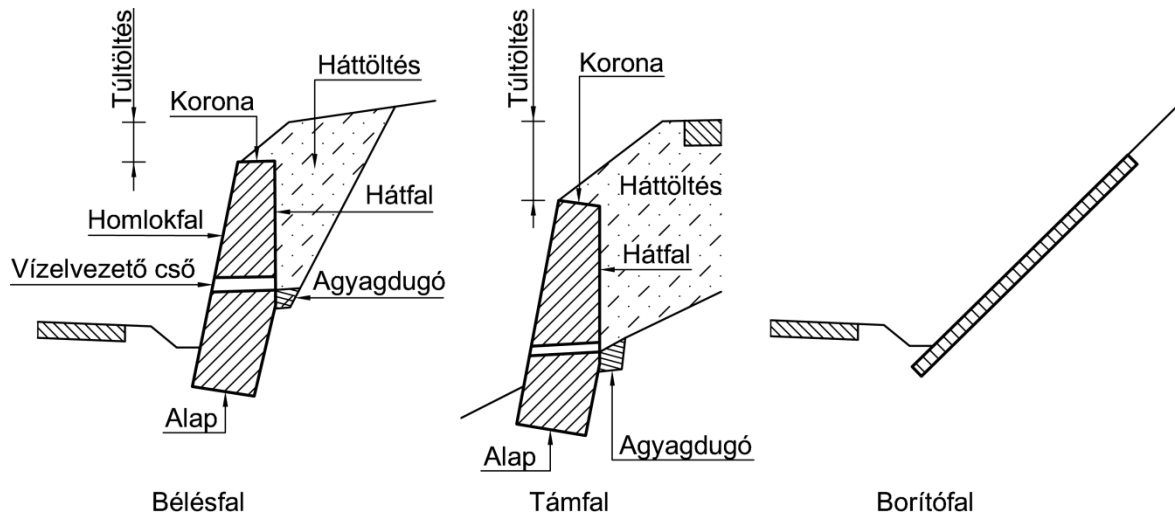
A földtömegek állékonyságát biztosító műtárgyak a támasztófalak. Ezeket akkor kell építeni, amikor a földmű belső ellenállásai által megengedett rézsűknél meredekebb rézsűkkel kellene a földművet határolni.

Támasztófalak csoportosítása és fő szerkezeti részei

Feladatuk szerint a támasztófalak lehetnek:

- Bélésfalak: a bevágások állékonyságát biztosítják;
- Támfalak: a töltési földtömeget támasztják meg;
- Borítófalak: védik a bevágási vagy töltési rézsűk felületét.

A támasztófalakat felülről a korona zárja le, külső – levegővel érintkező – fala a homokfal, talajjal érintkező felülete a hátfal. A támasztófalak hátfalához a háttöltés csatlakozik.



Támasztófalak részei

Támasztófalak kialakítása

A támasztófalak szerkezeti kialakításuk szerint lehetnek:

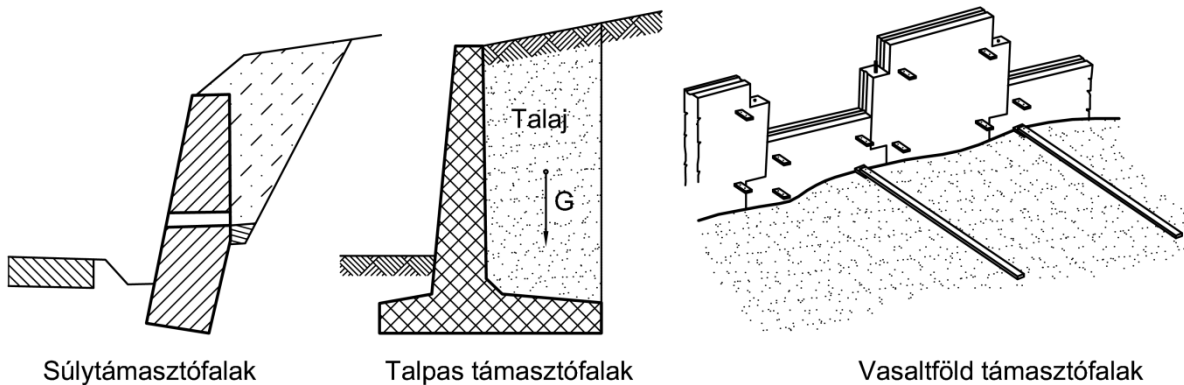
- súlytámasztófalak,
- talpas támasztófalak,
- vasalt földtámfalak.

Ezek a háttöltésben lévő talajtömeget különböző mértékben vonják be az állékonyság biztosításába.

A *súlytámasztófalak* a megtámasztott földtömeg egyensúlyát saját súlyukkal biztosítják, ezért kialakításuk zömök. Kedvezőtlen, hogy építőanyag-igényük nagy, előnyük, hogy építésük egyszerű. A súlytámasztófalak építőanyaga terméskő vagy beton, amelyhez célszerű a helyi előfordulású anyagot felhasználni. Az erdészeti útépítésben ez a típus terjedt el.

A *talpas támasztófal* az egyensúly biztosításába bevonja a háttöltés földtömegének talplemez fölött elhelyezkedő részét is. Ezáltal a támasztófal önsúlya csökkenthető, kevesebb anyag felhasználásával megépíthető. A talplemezben és a falazatban fellépő jelentős hajlító nyomatékból származó húzó igénybevétel miatt csak vasbetonból építhető, aminek az építési költségei magasabbak. Az összetettebb építési mód, a vonatkozó szigorúbb építési előírások szakképzett munkaerőt igényel. A lakott területektől távoli építési helyen a kivitelezésük is bonyolultabb, ezért az erdészeti útépítésben nem terjedtek el.

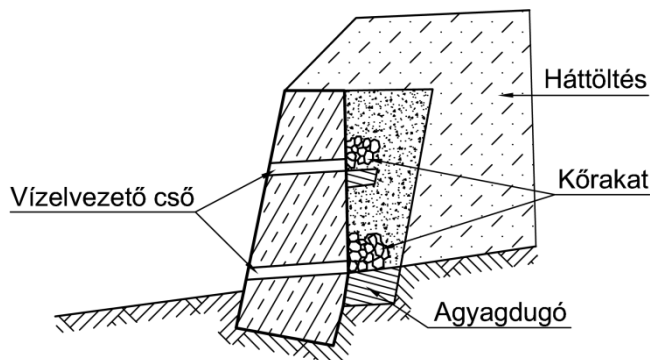
Vasaltföld támasztófal: a háttöltés anyagát teljes mértékben bevonja az állékonyság biztosításába. A háttöltés talajának anyagszerkezeti tulajdonságát ekkor – a vasbeton elvéhez hasonlóan – a talajba beépített, húzószilárdsággal rendelkező anyagból készült szalagokkal javítjuk meg. Ennek hatására a talaj húzószilárdság felvételére lesz képes, nyírószilárdsága megnő, mechanikai tulajdonságai kedvezőbbé válnak. A betétekhez előregyártott homlokfalelemek csatlakoznak, amelyek megakadályozzák a felület leomlását és erózióját. A korrózióálló acélbetétekkel együttlő talajtömeg hagyományos töltésépítési módszerrel megépíthető.



Támasztófalak szerkezeti kialakítása

Háttöltés kialakítása

A támasztófalakra jutó káros többletterhelések megakadályozása érdekében fontos a háttöltés szakszerű kialakítása. Elsőrendű cél az, hogy a háttöltésbe bejutó vizet a lehető leggyorsabban kivezessük. Ennek érdekében a hátfal és a megtámasztott talaj közé homokos kavics háttöltést kell építeni, amelynek alsó része vízzáró agyagdugóra támaszkodik. A szivárgón leszivárgó és az agyagdugó felületén összegyűlő vizet a falba épített 10–15 cm átmérőjű 3–6% eséssel elhelyezett acélcsövekkel kell elvezetni. A cső eltömődését a beömlési nyílásnál elhelyezett kőrakat akadályozza meg. A szivárgót felül vízzáró mag zárja le. Ez megakadályozza, hogy a felszínen lefolyó víz a támfal mögé kerüljön, ami ott káros többletterhelést okozhat.



Háttöltés kialakítása

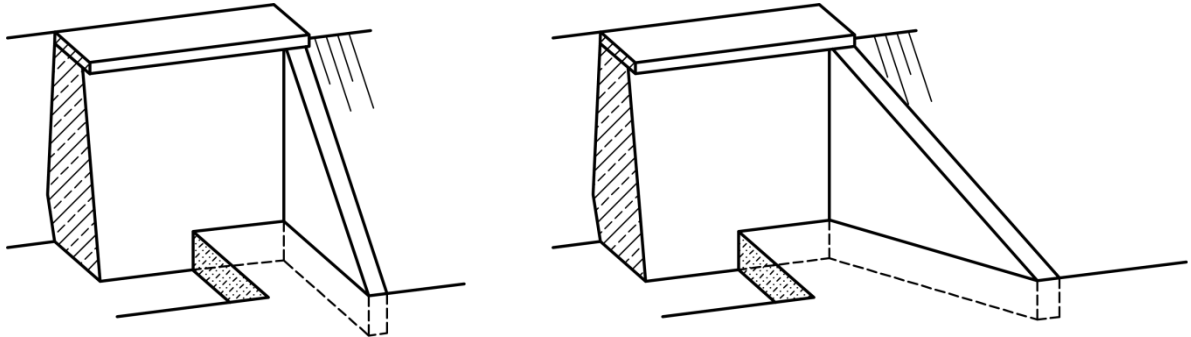
Támasztófalak végeinek csatlakozása a földműhöz

A támasztófalak végeinek csatlakoztatását a földműhöz a támfal magasságának fokozatos csökkentésével, vagy a földmű lezárásával oldhatjuk meg. A földmű lezárására szárnyfalat, vagy töltést lezáró kúpot kell építeni. A szárnyfal anyaga megegyezik a támfal anyagával.

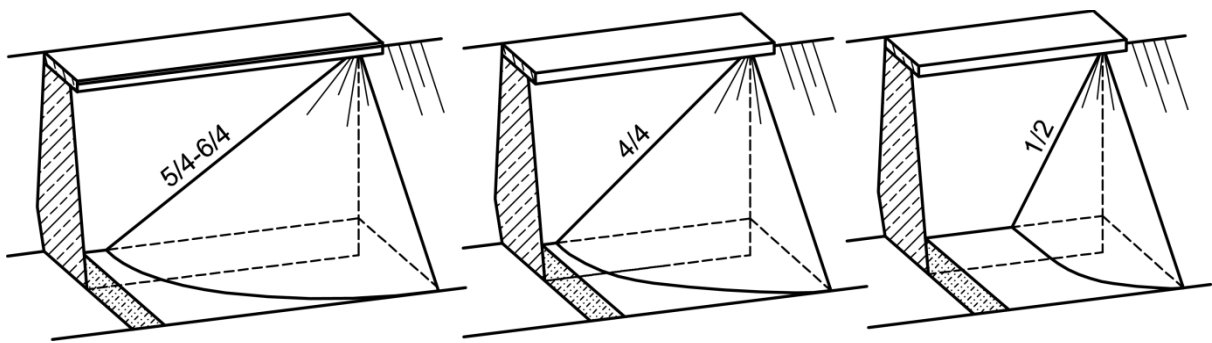
A töltést lezáró kúpok kőből, földből és kővel burkolt földből készülhetnek. A földkúp részűje megegyezik a csatlakozó földmű részűjével. A kőkúp részűje a támfalnál 1/2, a burkolt földkúpé 4/4, ami folyamatosan változik úgy, hogy a földmű részűjéhez csatlakozzon.

A földkúpot jól tömöríthető talajból kell készíteni, 20–25 cm-es rétegekben gondosan tömörítve. A kővel burkolt földkúp burkolata fagyálló kőből készül 25–30 cm vastagságban, 10–15 cm kavics vagy soványbeton ágyazatba rakva. A falazott kőburkolat betonlábazatra támaszkodik, amelyet úgy kell kialakítani, hogy a rézsűben csúszólap ne alakulhasson ki és az alapozási sík a fagyhatár alá kerüljön.

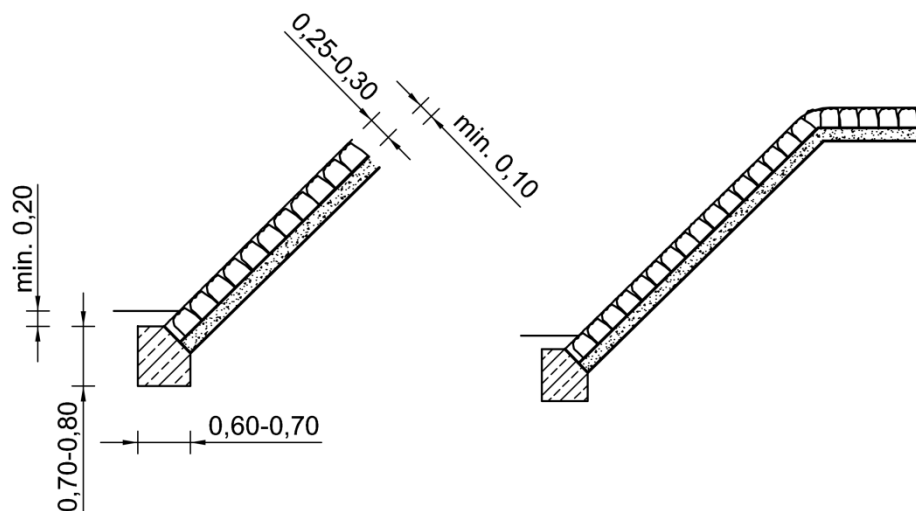
A szárazon rakott kőkúp beton vagy falazott kő alapon nyugszik, felülete gondosan hézagolt. Csak kemény, fagyálló kőből készíthető. Patakmederbe épített támfalak környezetében a megváltozott áramlási viszonyok (nagyobb vízsebesség) kimosást idézhetnek elő. Ennek megakadályozására a vízzel érintkező felületet durvább kövekből kell kiképezni.



Támfal és földmű csatlakozása szárnyfallal



Töltést lezáró kúpok



Kőburkolatok megtámasztása

Súlytámasztófalak tervezése

A támasztófalak tervezésének lépései az alábbiak:

- kijelöljük a támasztófal helyét, kiválasztjuk anyagát és szerkezetét,
- meghatározzuk a támasztófal méreteit,

- megállapítjuk a támasztófalra ható erőket,
- ellenőrizzük a támasztófal állékonyságát.

Támasztófal helye anyaga és szerkezete

A támasztófal helyét az útépítés műszaki terve jelöli ki, megadva a támasztófal hosszát, magasságát és az esetleg előforduló egyéb előírásokat, feltételeket.

A súlytámasztófal falazata általában kavicsbeton vagy kőbeton falazat. A kőbeton készítésekor a betonba a szerkezet méretének 2/3-ánál kisebb, gondosan letisztított követ – úgynevezett úsztatott követ – ágyazunk be. A felhasznált beton az alapban C4–C6, a falazatban C6–C8 minőségű legyen. A terméskő falazat cementhabarcsba szabálytalanul vagy rétegesen rakott terméskőből épül, amelynek a felületét ki kell hézagolni.

A súlytámasztófalakhoz sorolhatók a máglyafalak, vagy kőszekrényművek. Kialakításuk úgy történik, hogy fából, vagy vasbetonból készített rudakból kaloda épül, amelyet terméskővel töltenek ki.

Támasztófal méretei és a támasztófalra ható erők

A súlytámasztófalak koronaszélessége (v) a falazat (h) és a túltöltés (t) magasságának ismeretében táblázatból választható ki. A támasztófal homlokfalának dőlése 1/5. A hátfal szokásos kialakítása törtvonalú: a koronától induló felső, $0,7h$ magasságú szakaszon függőleges, ez alatt párhuzamos a homlokfallal. A támasztófal alapsíkját minimálisan a fagyhatár alá kell helyezni, vízszintesen vagy a homlokfalra merőlegesen. A korona síkja a támfalnál merőleges a homlokfalra, bélésfalnál vízszintes.

A támasztófalra ható erők:

- falazat önsúlya (G),
- aktív földnyomás (E_a),
- állandó és esetleges hasznos terhelések: (pályaszerkezet, gépjármű, stb. súlya) az adott esetnek megfelelően,
- járulékos hatásokból származó erők.

Az ellenőrzéskor az erőknek az 1 folyóméter hosszú falazatsávra eső részét vesszük figyelembe.

A falazat önsúlyát a geometriai méretek és a falazat anyagára vonatkozó halomsűrűségek alapján számíthatjuk ki. A falazatra ható aktív földnyomás nagyságát a talajmechanikából ismert módon határozzuk meg. Az állandó és esetleges hasznos terheléseket (pályaszerkezet, gépjármű, stb. súlya) az adott esetnek megfelelően kell figyelembe venni.

Támasztófal állékonyságának ellenőrzése

Vizsgálni kell, hogy a falazat stabilitása megfelelő-e, és sem a falazatban, sem az alaptest alatt a megengedettnél nagyobb feszültségek nem lépnek-e fel. Ezek alapján ellenőrizni kell:

- billenésre,
- elcsúszásra,
- kifordulásra,
- falazatban és az alap alatt ébredő feszültségekre.

Ellenőrzés billenésre

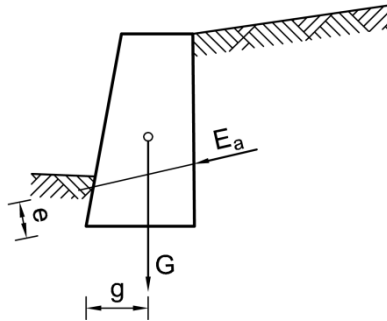
A támasztófal billenése az első sarokpont körül következik be. Az egyensúly feltétele, hogy a falazatra ható erők erre a pontra számított forgatónyomatékainak összege zérus legyen. A biztonság:

$$\beta = \frac{G \cdot g}{E_a \cdot e}$$

ahol:

- g = önsúly erőkarja (m),
- e = aktív földnyomás erőkarja (m),
- G = önsúly (kN),
- E_a = aktív földnyomás (kN).

A biztonság megfelelő, ha $\beta \geq 2,0$.



Stabilitási vizsgálat billenésre

Ellenőrzés elcsúszásra

A támasztófal elcsúszása az alapsíkon következik be. Az egyensúly feltétele, hogy a súrlódó erő egyenlő legyen az eredő erő csúszási síkkal párhuzamos komponensével.

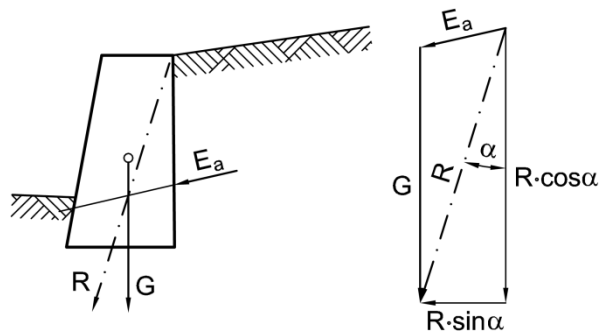
A biztonság:

$$\beta = \frac{R \cdot \cos \alpha \cdot f}{R \cdot \sin \alpha}$$

ahol:

- f = súrlódási együttható ($\operatorname{tg} \varphi$),
- $\varphi = 26^\circ \approx 30^\circ$ terméskőfalazaton belül,
- $\varphi = 22^\circ$ falazat és homok között,
- $\varphi = 11^\circ$ falazat és nedves agyag között.

A falazat elcsúszás szempontjából megfelel, ha $\beta > 1,5$.



Stabilitási vizsgálat elcsúszásra

A megfelelő biztonság elérhető ferde alapozási sík, vagy fogazás kialakításával.

A fog az alapsíkra szimmetrikus, a fogak oldalai egymásra merőlegesek legyenek, a maximális fogmagasság 1,0 m lehet. A fog hosszabb oldala a vízszintessel legfeljebb ε_{\max} szöget zárhat be. Ekkor a hosszabb oldal merőleges az eredőre.

$$\operatorname{tg} \varepsilon_{\max} = \frac{R_v}{R_f}$$

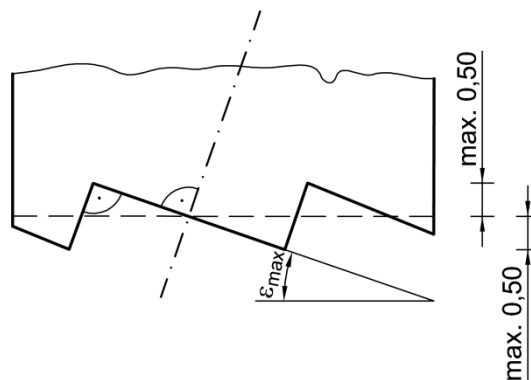
A fogazásból adódó új súrlódási együttható (μ'):

$$\mu' = \frac{\mu + \operatorname{tg} \varepsilon}{1 - \mu \cdot \operatorname{tg} \varepsilon}$$

ahol:

μ = eredeti súrlódási együttható.

Az új súrlódási együtthatóval az ellenőrzést újra el kell végezni, de 1,0-nél nagyobb értéket nem szabad figyelembe venni.



Fogazás kialakítása

Ellenőrzés kifordulásra

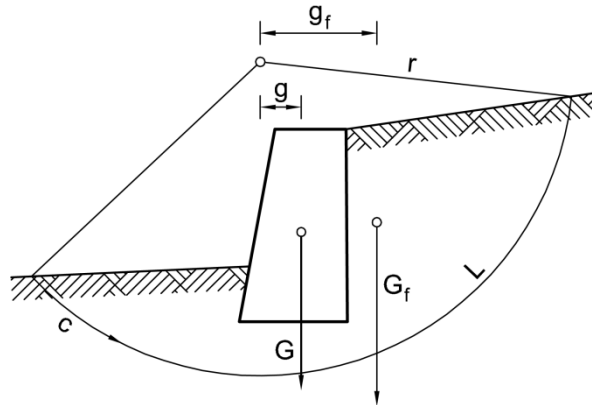
A támasztófal kifordulása akkor következik be, amikor a falazat a földmű egy részével együtt a falazat alatt kialakuló csúszólapon lecsúszik. Az egyensúly feltétele, hogy a csúszólapon középpontjára számított nyomatékok összege zérus legyen. A biztonság:

$$\beta = \frac{c \cdot L \cdot r}{G \cdot g + G_f \cdot g_f}$$

ahol:

- c = kohézió (kN/m),
- L = csúszólap hossza (m),
- r = kör csúszólap sugara (m).

A biztonság megfelel, ha $\beta > 1,5$.



Stabilitási vizsgálat kifordításra

Ellenőrzés az ébredő feszültségekre

Meg kell vizsgálni, hogy a falazatban és a talajban nem lép-e fel a megengedett feszültségnél nagyobb feszültség. A súlytámfalak anyaga húzófeszültség felvételére alkalmatlan, ezért húzófeszültség nem léphet fel az alapsíkon és a falazat különböző szelvényeiben. A feszültségek ellenőrzéséhez a falazatot szelvényekre kell bontani és minden szelvényre a vizsgálatot el kell végezni.

A falazatra ható erők eredője ferde terhelésként jelentkezik, dőféspontja az alapsíkon külpontosan hat.

Az excentricitás növelésével σ_1 értéke nő, σ_2 értéke csökken. Elérhetünk egy olyan határállapotot, mikor σ_2 értéke zérus lesz. A maximális külpontosság feltétele:

$$\sigma_2 = 0 = \frac{R \cdot \cos \alpha}{s} \left(1 - \frac{6 \cdot e_{\max}}{s}\right)$$

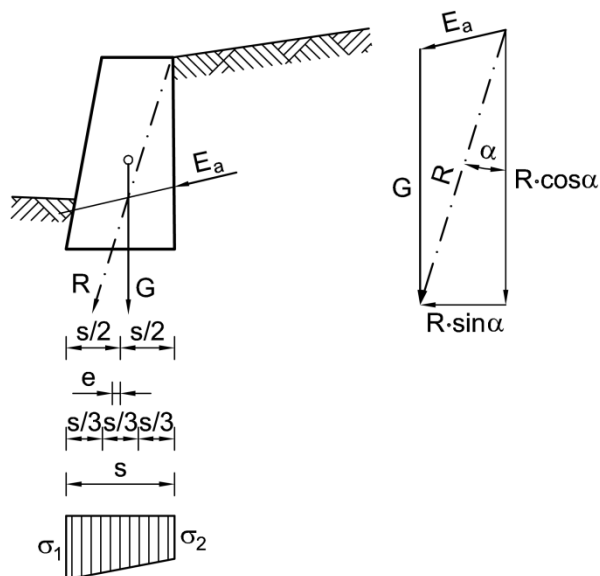
amelyből kifejezhető a maximális külpontosság (e_{\max}):

$$e_{\max} = \pm \frac{s}{6}$$

ahol:

- s = alaptest szélessége (m).

ami azt jelenti, hogy az eredő dőféspontjának a belső harmadba, a magszelvénybe kell esni.



Feszültségek ellenőrzése

Vasalt talajtámfal építőanyagai és tervezése

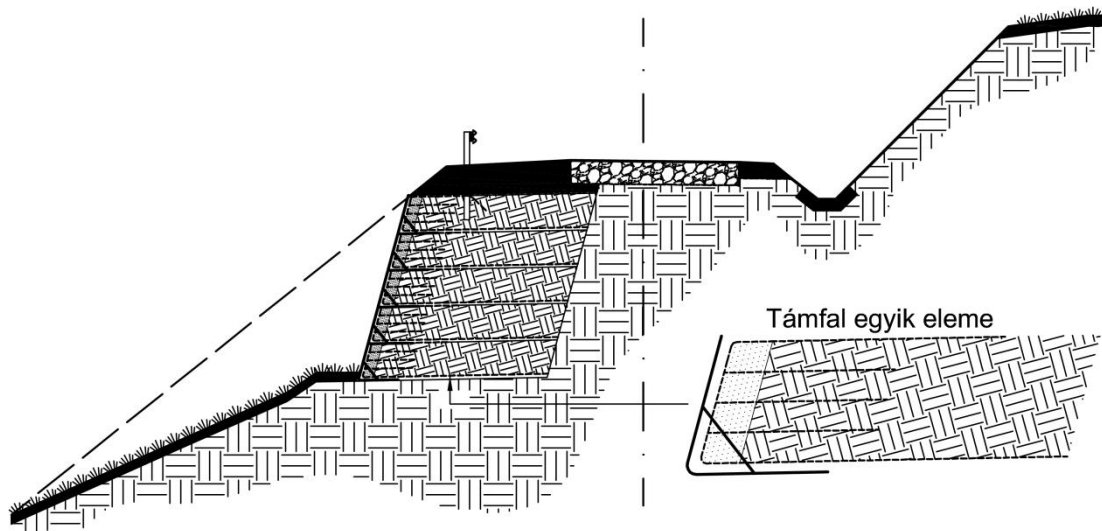
A vasalt talajtámfalakat az előregyártásból, az egyszerű építési módból és a rugalmasságból, valamint ebből adódóan a környezethez és a természethez való jó illeszthetőségből származó előnyök miatt, célszerűen lehet alkalmazni erdészeti utaknál. A tervezés menete a súlytámfalaknál megismertekhez hasonló, mert ez a szerkezet is az önsúlyával támasztja meg a háttöltés földtömegét.

Vasalt talajtámfal építőanyagai

A támfal homlokfalát általában előregyártott vasbeton elemek zárják le. A homlokfalhoz csatlakozó betétek korrózióálló vagy korrózióállóvá tett acélból, alumíniumból, vagy üvegszövettel erősített műanyagszalagból készíthetők, de beépíthetők különböző típusú georácsok is. A szalagok szélessége 80–150 mm, vastagsága 1–5 mm között változhat.

Georáccsal erősített falazat

A természetbe jól illeszkedő, növényzettel könnyen betelepíthető felületeket kapunk, ha a támasztófalat georáccsal erősített falazatként alakítjuk ki. A szerkezet homlokfalának váza egy 60°–80°-ban felhajlított 0,80–1,00 m magas és ugyanilyen széles acélháló, amelyhez georácsot rögzítenek. A georács alul a támfal szélességéig hátranyúlik, elől felvezetik az acélhálón és ott visszahajtják a következő réteg alján. Az így kialakított homlokfal növényekkel betelepíthető.

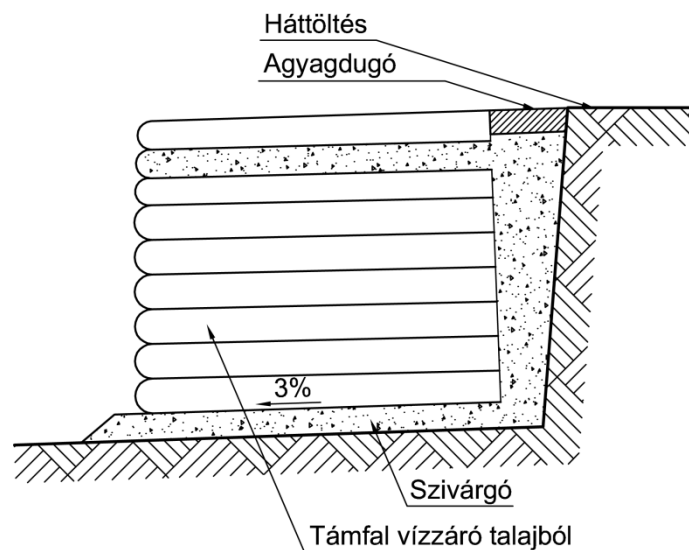


Georáccsal erősített falazat

Vasalt talajtámfal és háttöltés vízvezetése

A hátfal kialakítására vonatkozó különös előírások nincsenek. Ha a támasztófal és a háttöltés a vizet rosszul vezető talajból készül, akkor függőleges és vízszintes szivárgópaplan beépítésével kell a víz beszivárgását megakadályozni, vagy az esetleg beszivárgó vizet elvezetni.

A vasalt talajtámfal építéséhez azok a talajok használhatók fel, melyek töltés építésére is megfelelnek.



Szivárgó kialakítása

Vasalt talajtámfal méretei

A támasztófal hossza és magassága az útépítési terv alapján határozható meg. A támasztófal szélessége (mélysége) a talajba benyúló betétek hosszától függ. Ezek nem lehetnek rövidebbek a 20%-kal növelt támasztófal magasságnál:

$$l=1,2H$$

ahol:

- l = betét hossza (m),
- H = homlokfal magassága (m).

Vasalt talajtámfal állékonyságának ellenőrzése

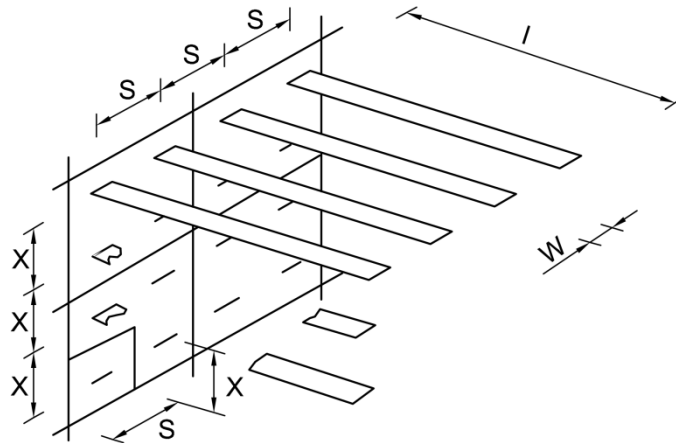
A vasalt talajtámfalra ható erőket és a külső állékonysági vizsgálatokat a súlytámasztófalaknál leírtak szerint kell figyelembe venni és meghatározni.

A belső állékonysági vizsgálattal a támasztófal, illetve a betétek méreteit kell meghatározni. Az egy betétre ható erő (P) nagysága a támasztófal alsó síkjában:

$$P = K_a \cdot H \cdot \gamma \cdot x \cdot s$$

ahol:

- K_a = aktív földnyomás tényezője,
- H = támfal magassága (m),
- γ = háttöltés anyagának térfogatsúlya (kN/m^3),
- x, s = vasbetétek távolsága ($x \cdot s$ az egy betéhez tartozó homloklap felület) (m).



Vasalt talajtámfal jellemző méretei

A betét szélességét (w) kihúzódnak ellen kell méretezni:

$$w = \mu_f \frac{P}{2 \cdot H \cdot \gamma \cdot f \cdot l}$$

ahol:

- μ_f = kihúzódnak elleni biztonsági tényező (1,2),
- f = acél és talaj közötti súrlódási tényező.

A betétek vastagságát (d) szakadásra méretezzük:

$$d = \mu_a \cdot \frac{P}{w \cdot \sigma_{aH}}$$

ahol:

- μ_a = szakadás elleni biztonsági tényező (1,2),
- σ_{aH} = betét anyagára megadott határfeszültség (N/mm²).

Nem korrózióálló anyag esetében az így kapott vastagságot korróziós taggal kell növelni. A szükséges betétvastagság (d_{sz}):

$$d_{sz} = d + t \cdot d_t$$

ahol:

- t = támfal élettartama (általában 50 évre tehető),
- d_t = évenkénti korróziós veszteség (acélnál 0,15–0,20) (mm/év).

HIDAK

Kishidak csoportosítása

Azokat a műtárgyakat, amelyek utat, vasutat, csatornát vagy vezetéket vezetnek át valamilyen akadály felett, hidaknak nevezzük. A hidaknak azt a csoportját, amelyek nyílása 2 m-nél kisebb, vagy helyszínen csömöszölt, illetve előre gyártott csövekből készülnek, szélességük pedig nagyobb az áthidalt nyílásnál, átereszeknek nevezzük.

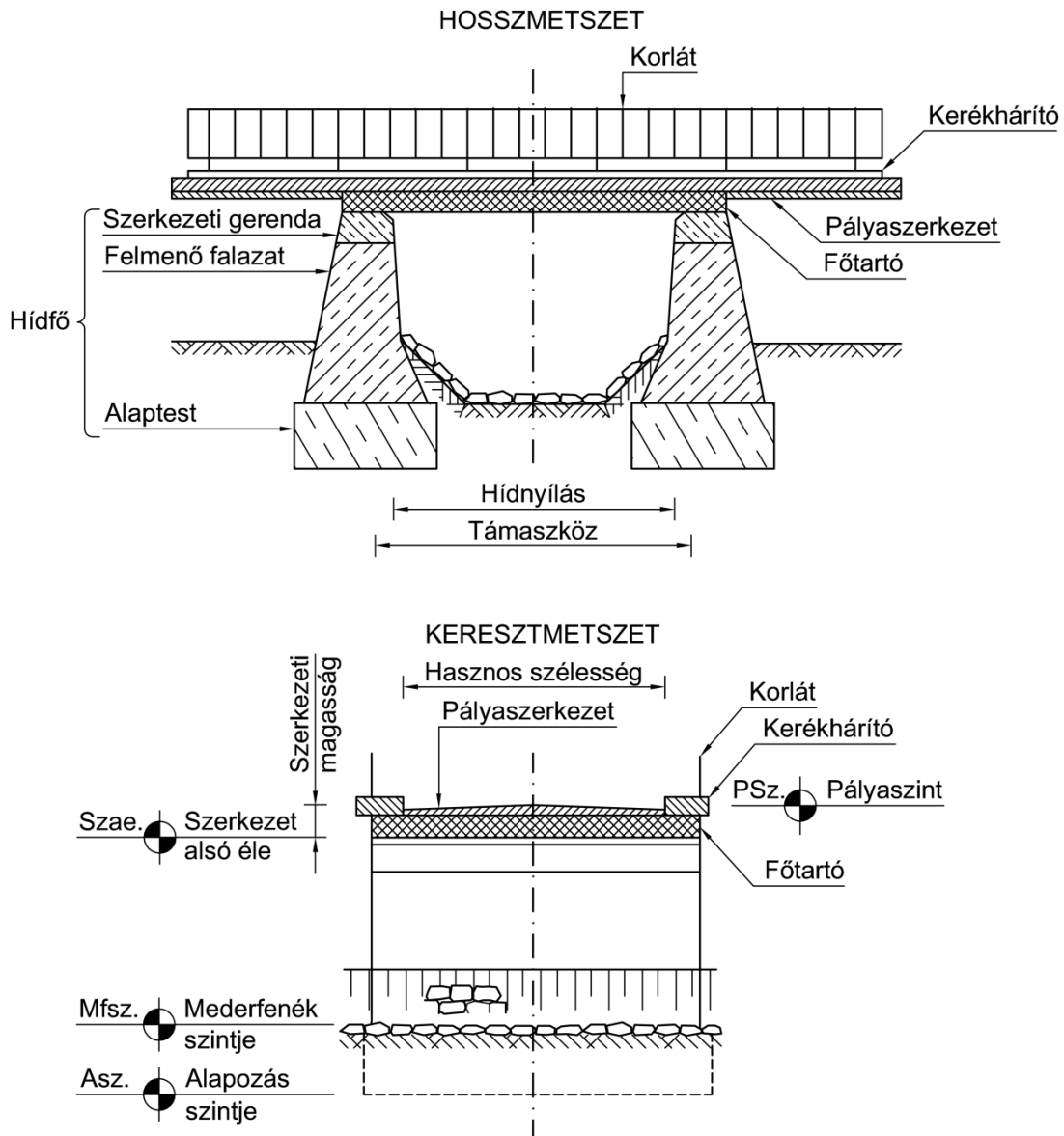
Hidak csoportosítása:

- Rendeltetés szerint: közúti, vasúti, egyéb;
- Terhelési fokozat szerint: A, B, C;
- Tervezett életkor szerint: állandó és ideiglenes;
- A főtartó statikai rendszere szerint: gerendahidak, lemezhidak, ívhidak, kerethidak stb.;
- Építőanyag szerint: fa, acél, vasbeton, kő.

Hidak fő szerkezeti egységei

- *Alépitmény:* hídfők és pillérek: a felszerkezet terheit továbbítja a talajra; a hídfő az előbbieken kívül biztosítja a csatlakozó töltés lezárását is;
- *Felszerkezet:* pályaszerkezet és főtartó: a pályaszerkezet a tulajdonképpeni hídpálya a felépitményekkel és a burkolatokkal, a pályatartók a pályaszerkezet és a főtartó közötti kapcsolatot biztosítják. A főtartószerkezet maga a főtartó, a csatlakozó és egyéb merevítésre szolgáló segédszerkezetekkel (szélrács, keresztkötések stb.) együtt;
- *Alátámasztások:* saruk, csuklók, ingák: a felszerkezetre ható terhelőerőket közvetítik az alépitményre és lehetővé teszik a főtartó szabad elfordulását, illetve hosszirányú méretváltozását;
- *Hídtartozékok:* szegélyezési, pályalezárási, víztelenítési és védelmi feladatot látnak el (korlátokat, kerékhárítókat, víznyelőket stb.).

A hídfő részei: alaptest, felmenőfalazat a szerkezeti gerendával és a szárnyfalakkal, amelyekhez töltést lezáró kúpok csatlakoznak.

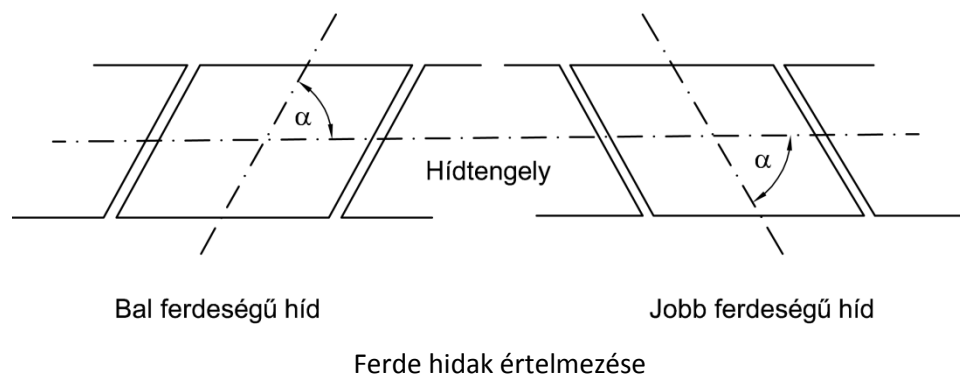


Monolit vasbeton hidak szerkezeti részei és jellemző adatai

Híd jellemző adatok

- *Hídnyílás* vagy szabad nyílás (l): a hídfők homloklapjai, illetve a pillérek oldalfelületei között, közvetlenül az alátámasztások alatt mért hossz.
- *Támaszköz* (l_x): a saruk elméleti támaszpontjai között mért hossz. Lemezhidaknál, ahol a főtartó közvetlenül a hídfőre fekszik az 5%-kal növelt hídnyílás, amelybe a lesarkítást is be kell számítani.
- *Hasznos szélesség* (l_h): a kiemelt szegélyek, vagy ha ilyen nincs, a korlátok közötti távolság. Ha nincs korlát a hídon, akkor a híd 50-50 cm-rel csökkentett szélessége tekinthető hasznos szélességnek.
- *Pályaszint*: a hídpálya tengelyének hídközépen mért abszolút magassága.
- *Szerkezeti magasság*: az a függőleges távolság, amelyet a pályaszint és a szerkezet alsó éle között mérhetünk.

- *Hídtengely és az áthidalt akadály tengelye által bezárt szög (α):* ez alapján megkülönböztetünk merőleges hidat ($\alpha = 90^\circ$) és ferde hidat. (A ferdeségre jellemző hegyesszög $\alpha < 90^\circ$). A ferde hidak lehetnek jobb és bal ferdeségűek, aszerint, hogy a hídtengely irányába nézve a híd jobb, illetve bal oldala van előretolva. Ferde hidaknál a hídníllást az akadály tengelyére merőlegesen mérjük. A támaszközre két értéket szokás megadni. Ferde támaszköz a híd hossz tengelye irányában mért támaszköz, merőleges támaszköz az alátámasztásra merőlegesen mért támaszköz.
- *Alaprajzi elrendezés* szempontjából megkülönböztetünk egyenes tengelyű és íves hidakat. Íves hidaknál az ív vízszintes síkú görbületi sugarát meg kell adni.
- *Híd neve:* község, útnév, a híd középpontjának szelvényezési értéke és az áthidalt akadály neve.
- *Híd tengelyei* közül az átvezetett létesítmény tengelyével egybeeső az x, a másik az y tengely.

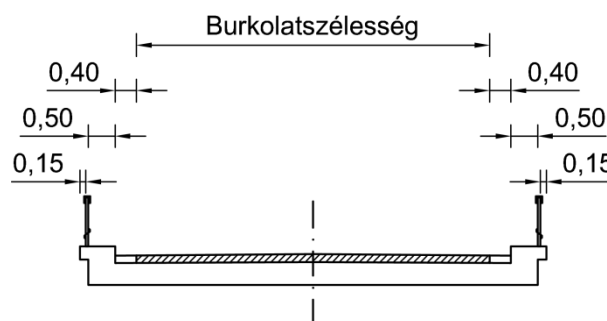


Hídpályák kialakítása

A hídpályák méretei és vonalvezetése alkalmazkodik a csatlakozó út méreteihez, magassági és vízszintes vonalvezetéséhez.

A hídpálya szélességét a csatlakozó út szélessége határozza meg. Arra kell törekedni, hogy a híd kocspálya szélessége a csatlakozó út burkolatszélességénél nagyobb legyen (0,40-0,40m). A főtartó szélessége minimálisan a csatlakozó út koronaszélességével egyezzen meg.

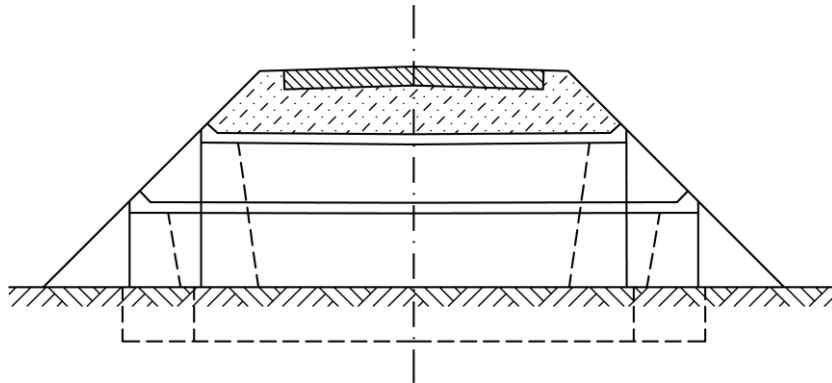
$$l_{y\min} = K$$



Erdészeti utak hídjainak keresztmetszete

A hídon és átereszen átvezethető az út burkolata önmagában, vagy a burkolat a töltés egy részével együtt. Az átvezetett töltésrészt túltöltésnek nevezzük, amely lehetővé teszi, hogy keskenyebb, de magas, vagy szélesebb, de alacsony szerkezetet hozunk létre. A két megoldás közül azt célszerű

megvalósítani, amelyik kisebb falazatmennyiséggel biztosítja a szükséges vízátbocsátó keresztmetszetet.



Túltöltés

Az íves útszakaszra kerülő hidakat célszerű egyenes tengellyel kialakítani. Ekkor a híd szélességét úgy kell megállapítani, hogy az ívdarab – a koronaszélesség, sugár és szélesítés figyelembevételével – a hídon elférjen. Ha a hídfő koronaszélessége K_0 és a hídnívó l , akkor a hídpálya hossza (l'):

$$l' = l + 2K_0.$$

Ez alapján az ív húrmagassága (F) számítható, ha a szélesített belső burkolatszél sugara R_b :

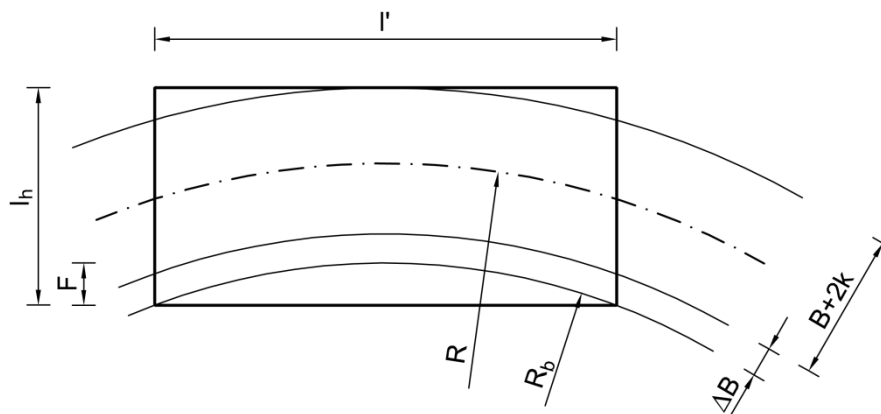
$$F = R_b - \sqrt{R_b^2 - 0,25 \cdot l'^2}.$$

Az ívben fekvő híd minimális hasznos szélessége (l_h):

$$l_h = B + 2 \cdot k + \Delta B + F$$

ahol:

- B = az út burkolatszélessége egyenesben (m),
- k = kiegészítő sáv szélessége, ami erdészeti utak hídjainál 0,40 m.
- ΔB = szélesítés (m).



Ívben fekvő híd szélessége

A *hídpálya* burkolata a csatlakozó út *keresztmetszeti kialakításának* megfelelően lehet tetőszelvény formájú, vagy egyirányú keresztdőléssel rendelkező. Fontos, hogy a csatlakozó út és a hídpálya burkolata illeszkedjen egymáshoz. A keresztdőlések a védő, vagy kiegyenlítő beton, illetve a burkolati rétegek kiképzésével alakíthatók ki. Az egyirányú keresztdőlés létrehozható a hídfők koronájának megdöntésével is.

A *híd hosszirányú lejtése* a csatlakozó út hossz-szelvényébe illeszkedjen. Az út hosszirányú lejtése változatlanul átvezethető a boltozott hidakon, illetve akkor, ha a túltöltés kellő magasságú. A pálya hosszúságát egyébként 3,0-3,5%-ra kell mérsékelni, megakadályozva ezzel a hosszirányú erők túlzott növekedését. Függőleges lekerekítőívek beiktatásával elkerülhető, hogy az út magassági vonalvezetésében hirtelen törés keletkezzen.

A jó *vízvezetés* érdekében célszerű bizonyos hosszirányú esést kialakítani. Vízszintes útszakaszokon a tetőszelvény és a víznyelők elhelyezése is biztosítja a megfelelő vízvezetést.

A *hídon elhelyezett burkolat* fajtáját is a csatlakozó út pályaszerkezete határozza meg. Az út forgalmi sávjainak burkolatát a hídon lehetőleg változatlanul kell átvezetni. Amennyiben az úton nincs burkolat (földút) vagy az nem felel meg az úttervezési előírásoknak, a hídon akkor is megfelelő burkolatot kell elhelyezni. Az eltérő anyagú burkolatok jó csatlakoztatásáról gondoskodni kell. A burkolat rétegeit olyan vastagra kell tervezni, hogy a legvékonyabb részen se legyen a minimális építhető vastagságnál vékonyabb.

Hídtartozékok

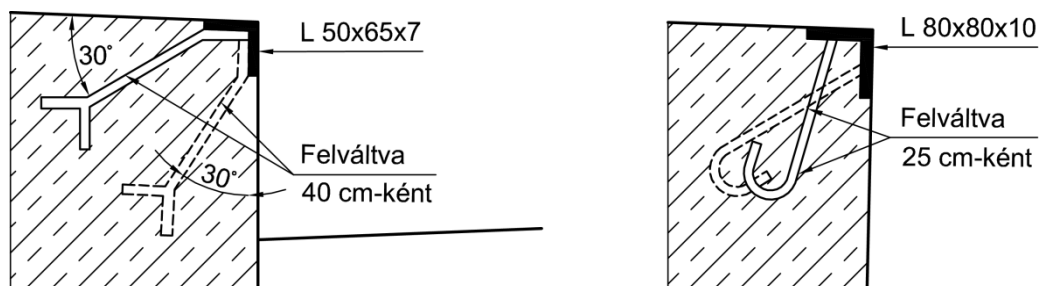
A hídtartozékok védelmi, lezárási és szegélyezési feladatokat látnak el. Ezek közé tartoznak:

- hidak víztelenítésére és a víz elleni szigetelésre használt szerkezeti elemek,
- szegélyezést és pályalezárást biztosító eszközök,
- korlátok és a kerékhárítók.

Pályaszegélyezés és pályacsatlakozás

A gyalogjárdák és kerékhárítók belső, megvédendő élét *élvédő idomacél* zárja le, amely általában L alakú, 50x65x7 mm minimális méretű idomacél. Ezt a kerékhárítóhoz kampóban végződő, 20–25 cm hosszú, 12–14 mm átmérőjű köracélok kötik. Ezeket az idomacél száraitra 40 cm-ként váltakozva kell felhegeszteni, majd betonozáskor a védendő élen elhelyezni.

A pályacsatlakozásnál akkor kell *lezáró idomacélt* elhelyezni, amikor a hídpálya és a csatlakozó út burkolata különböző. A lezáró idomacél L 80–80–10 vagy ehhez közelálló méretű. Beépítése az élvédő idomacélhoz hasonlóan történik.



Élvédő idomacél és lezáró idomacél elhelyezése

Hidak víztelenítése és szigetelése

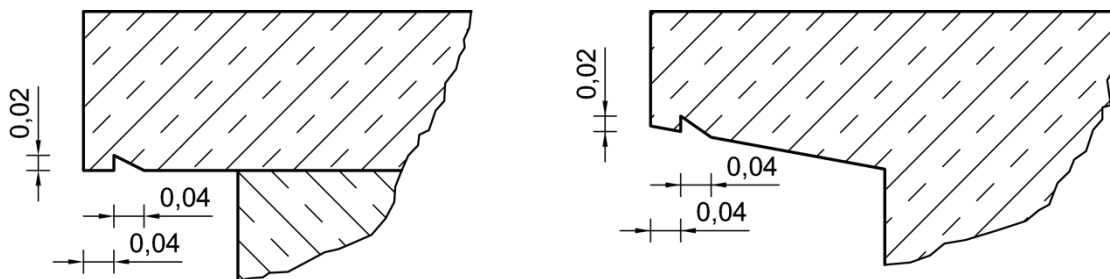
A híd szerkezeti elemeit a víz káros hatásától meg kell védeni. A víz egyrészt az acél korrózióját idézi elő, másrészt a repedésekben megfagyva repesztő hatást fejt ki. Ezek a káros jelenségek a híd élettartamát csökkentik. A nedves felületeken kialakuló mészkiválások, rozsdafoltok esztétikai hatása kedvezőtlen.

A betonszerkezetek víz elleni védelmének alapja az, hogy a szerkezeteket önmagukban vízzáróvá építjük. A vízzáróságot kellően tömör, repedésmentes beton előállításával érhetjük el. Ez az adalékanyag jó minőségével, a hézagminimumot kielégítő szemszerkezettel, gondos betonozással és utókezeléssel valósítható meg. Teljes repedésmentesség csak a szerkezeti elemek feszítésével érhető el. Minden esetben, ha a szerkezet feszítés nélkül készül, szabályos szigetelőréteget kell a betonra fektetni, majd a felületeket minden esetben úgy kialakítani, hogy rajtuk a víz ne állhasson meg, elvezetésükről pedig vízvezető berendezéssel kell gondoskodni. Vízvezető berendezés

- a csepegő (vízorr),
- a víznyelő,
- a vízvezető cső és a folyóka.

Csepegő vagy vízorr

Csepegőt vagy más néven vízorrot azokon a szerkezeti részeken kell kialakítani, ahol a függőleges felülethez vízszintes vagy közel vízszintes felület csatlakozik és a felületeken víz folyásával számolhatunk (kerékhárítók vagy a pályatábla aljának szélén). Ezzel megakadályozzuk, hogy a függőleges felületekről lefolyó víz a teherhordó szerkezeti részeket elérje. Csepegőt a felület visszaugratásával vagy mélyedés készítésével alakíthatunk ki.

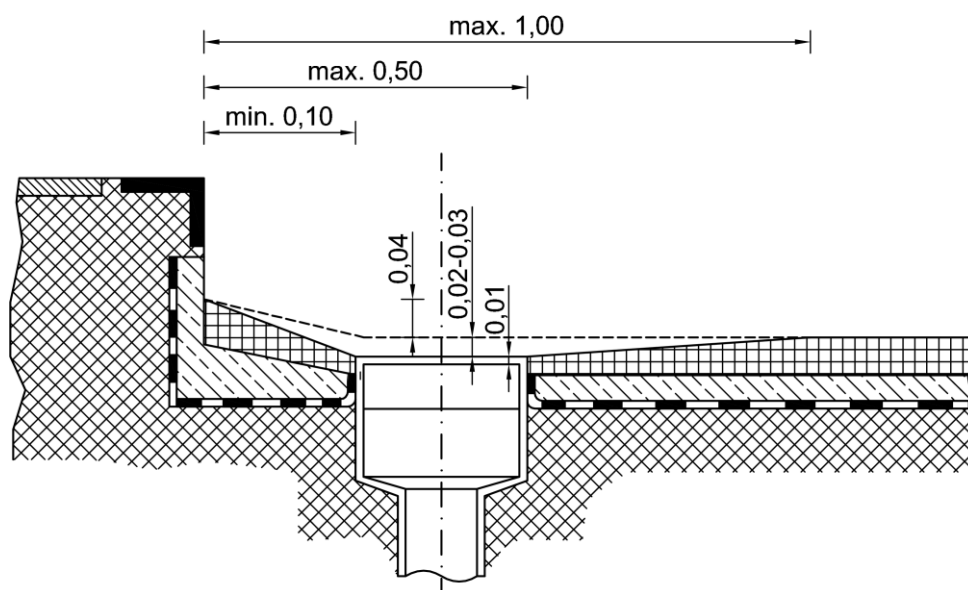


Csepegő vagy vízorr

Víznyelő

Közel vízszintes hosszsesű pályán a kiemelt szegély mentén a hídpályáról összegyűlő vizet víznyelő vezeti el. A víznyelőt a kiemelt szegélytől 0,50 m széles sávban kell elhelyezni úgy, hogy a kiemelt szegélyt 0,10 m-nél jobban ne közelítse meg. Ügyelni kell lenni arra is, hogy a víznyelőből kifolyó vizet a szél ne csapja a szerkezetre (a visszaesés szöge a függőlegeshez 45°-nak vehető) és a kicsurgó víz se kerüljön burkolatlan földfelületre.

A víznyelőt vasráccsal kell ellátni, amelynek nyílása 2,5–3,5 cm nagyságú lehet. A víznyelőrács teljes felületét úgy kell megállapítani, hogy a vízgyűjtőterület minden m²-re 1,5 cm² hasznos rácsfelület jusson. A víznyelő tengelyének iránya függőleges vagy ferde, alakja a könnyű tisztíthatóság érdekében lehetőleg mindig egyenes.

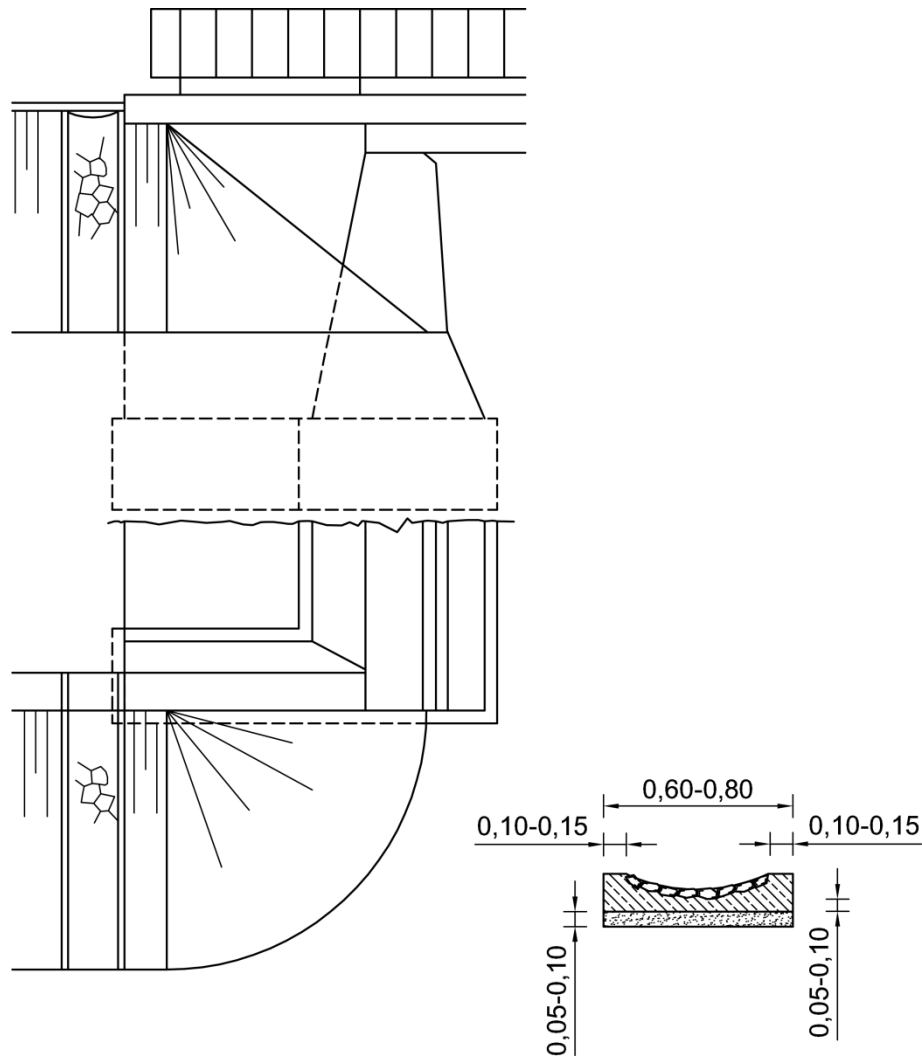


Víznyelőék elhelyezése és kialakítása

Háttöltés víztelenítése és a folyóka

A hídfő mögé jutó víz elvezetéséről a hídfőben elhelyezett 10–15 cm átmérőjű 5–10% lejtésű acélcső gondoskodik. A cső a hátfal mögött elhelyezett agyagdugó fölött helyezkedik el, és kőrakat védi az eltömődéstől a támasztófalak háttöltésének víztelenítéséhez hasonlóan.

A hídpálya és a csatlakozó út felületéről lefolyó vizet a rézsún kialakított folyóka vezeti el. A folyóka kialakítható helyszíni betontól, előregyártott betonelemekből vagy nagyszilárdságú fagyálló kőből.



Folyóka

Víz elleni szigetelés

A víz elleni szigetelést a pályalemezen, és a hídfők és szárnyfalak hátfalán kell elhelyezni. A szigeteléssel ellátott felületeket 1–2% eséssel kell kialakítani. Mázás szigetelésnél a hideg alaplátra két réteg forró fedőmáz kerül (0,5 mm). A ragasztott lemezszigetelésnél a hideg alap-látra felváltva a forró ragasztómáz és a szigetelő lemez, végül forró fedőmáz kerül (1cm).

A szigeteléseket a sérülésektől, a vízzel való közvetlen érintkezéstől védőréteg óvja meg. A védőréteg finom szerkezetű beton, amely vékony kiegyenlítő betonrétegen fekszik. A függőleges vagy ehhez közelálló felületeken célszerű, illetve szükséges a védőrétegbe egy kb. 3 mm vastag huzalból készült hálót elhelyezni. A cementadagolás ilyenkor min. 250 kg/m³ legyen. A védőréteg szokásos vastagsága 4 cm.

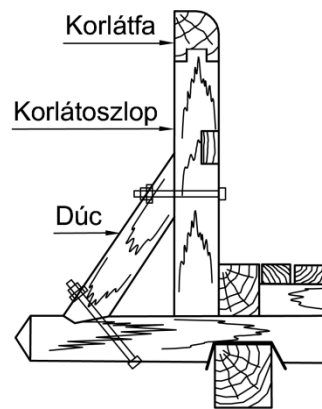
Korlátok

Nincs külön hídkorlátra szükség, ha a híd szerkezeti hossza kisebb 3 m-nél, az áthidalt akadály legmélyebb pontja feletti magasság kisebb 2 m-nél, és a csatlakozó út vízszintes sugara nagyobb 200 m-nél.

A kiemelt szegélyszávon vagy gyalogjárdán acél hídkorlátot célszerű elhelyezni. Az acél hídkorlát magassága a kiemelt szegélyszáv felső síkja felett 0,90 m, a gyalogjárda felső síkja felett 1,00 m. A függőleges osztólécek közei maximum 15 cm, a vízszintes osztólécek közei maximum 20 cm távolságra lehetnek. A lakott területtől távol eső erdészeti hidaknál a vízszintes és függőleges osztólécek távolságát 30 cm-re is tervezhetjük. Üzemi korlátot ideiglenes hidaknál használunk, amely 90 cm magas és 2 db, egymástól 45 cm-re elhelyezett vízszintes tagból áll.

A korlát végét falazott terméskő oszlop vagy km kő zárja le, ami az esetleges ütközéseknél megvédi a korlátot a tönkremeneteltől. Vasbeton lemezhidak korlátai idomacélból és vasbetonból készülhetnek. Az idomacél korlátokat legalább 3,00 m-ként rögzíteni kell idomacél lábakkal, amelyeket a kerékhárítóba betonoznak, vagy a kerékhárító külső oldalába betonozott acélkengyelre (15–20 mm) csavaroznak utólag. A kötések hegesztéssel vagy szegecseléssel készülhetnek.

Az egyszerű gerendatartós hidak korlátai készülhetnek fából. A fakorlát részei a korlátoszlop, a korlátfa, és a korlát alap. A korlátoszlopot a dúc támasztja meg. A balesetek megelőzése érdekében a korlátfát le kell gömbölyíteni.

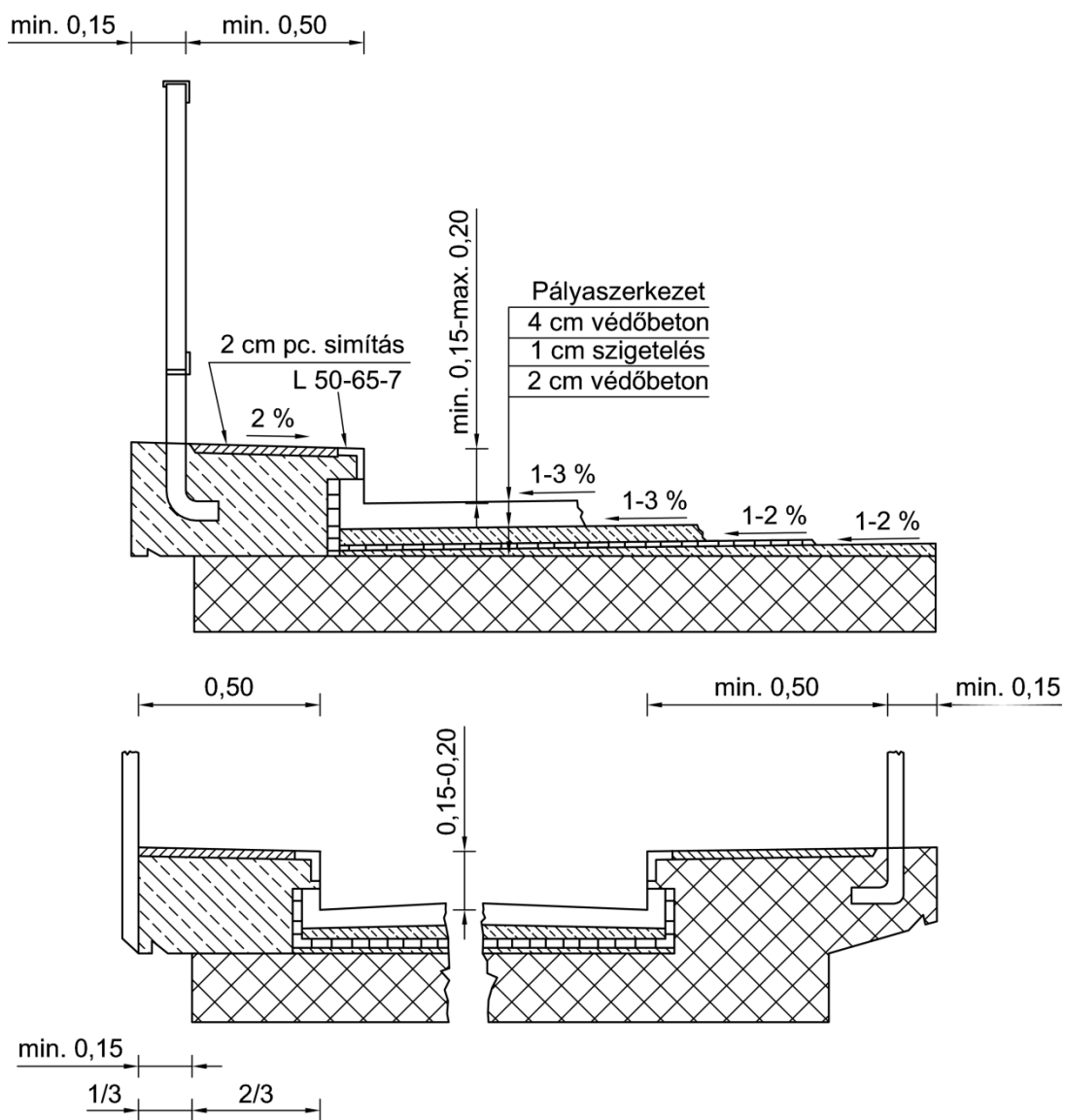


Fakorlát részei

Kerékhárítók és gyalogjárdák

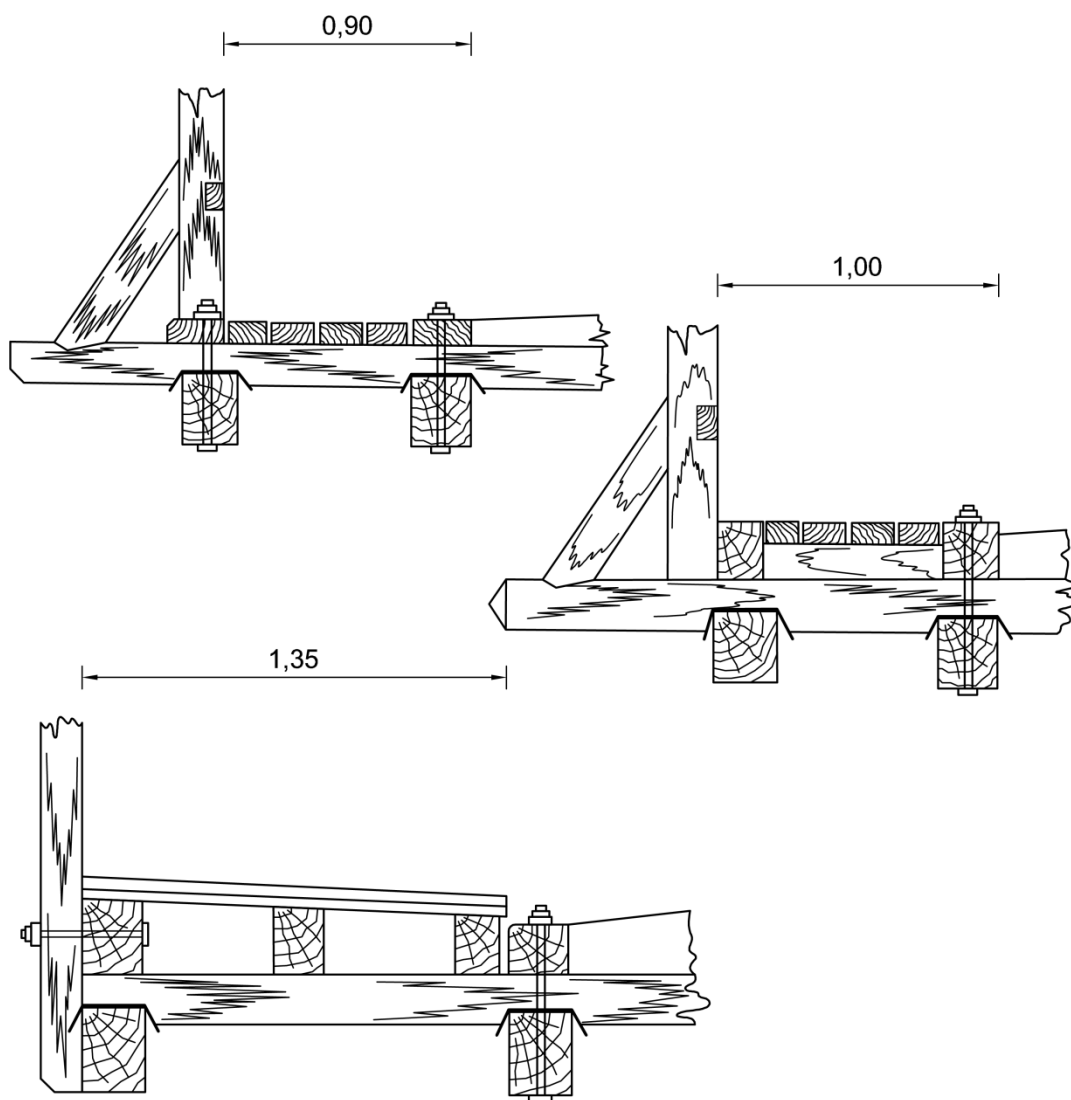
Állandó jellegű hidakon a korlát belső élétől mérve min. 0,50 m széles kerékhárítót kell elhelyezni. A kerékhárító magassága a kocsipálya felső szintjétől legalább 0,15 m, legfeljebb 0,20 m legyen. A kerékhárító végigfut a felszerkezeten, a párhuzamos szárnyfalakon a szárnyfal végéig tart.

Vasbeton lemezhidaknál a kerékhárító 2/3 részének a lemezen kell lennie. A túlnyúló rész alsó szélén csepegőt kell kialakítani. A kerékhárító felső síkja 1–2%-kal a pálya felé lejtessen, és 2 cm portlandcement simítással kell ellátni. A kerékhárító betonból készül, amelynek anyaga vagy megegyezik a lemez anyagának minőségével, vagy C8–C12 minőségű. A kerékhárító végét 0,50 m sugarú, vízszintes negyed körrel kell befejezni, hogy a nekiütköző kerék gumiabroncsát a sérüléstől megvédjük.



Vasbeton lemezhídon kialakítható kerékhárítók

Egyszerű gerendatartós hidakon kerékhárító és gyalogjáró elhelyezése a kis áthidalt nyílás miatt általában nem szükséges. Fahidakon a gyalogjárók és kerékhárítók kialakítása többféle lehet.



Gyalogjárók és kerékhárítók kialakítása fahidakon

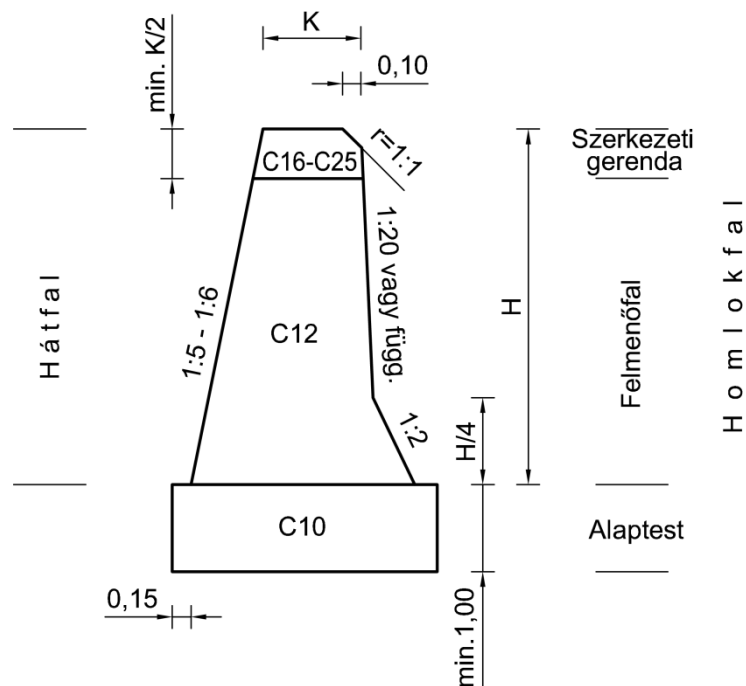
Hídfők

A hídfő feladata a tartószerkezet alátámasztása és a csatlakozó töltés megtámasztása. Ezeket a feladatokat a hídfő a szárnyfalakkal együtt látja el. Az erdészeti gyakorlatban alkalmazott monolit vasbeton lemezhidaknál a súlytámfalszerű elrendezéssel kialakított hídfők terjedtek el, amelyek anyaga beton vagy vasbeton. Az ilyen hídfő részei:

- alaptest,
- felmenőfal a szerkezeti gerendával,
- szárnyfalak.

A hátfal rézsúje $1/5$, $1/6$, a homlokfalé $1/20$. Három méter magasságig a homlokfal függőleges kialakítású is lehet. A homlokfal alsó negyede $1/2$ rézsúvvel is kialakítható, ha a méretezésnél erre az erősítésre szükség van. A szerkezeti gerenda minimális magassága a hídfő koronaszélességének fele. Azoknál a hidaknál, ahol a főtartó közvetlenül a szerkezeti gerendán nyugszik, annak meder felőli élét 10 cm mélységben $1:1$ rézsúvvel lesarkítják a szegély letöredésének megakadályozása érdekében.

A hídfő felmenőfala az alaptesten nyugszik. Anyaga úsztatott beton, amelyet C6 minőségű betonból és max. 30% kőből készítünk. Az alaptest magassága legalább 1,00 m, szélessége a felmenőfal alsó méretét min. 15–15 cm-rel haladja meg. Az alaptestet úgy kell elhelyezni, hogy annak alsó síkja az alapozási előírásoknak megfelelő alapozási síkon, de feltétlenül a fagyhatár alatt legyen.

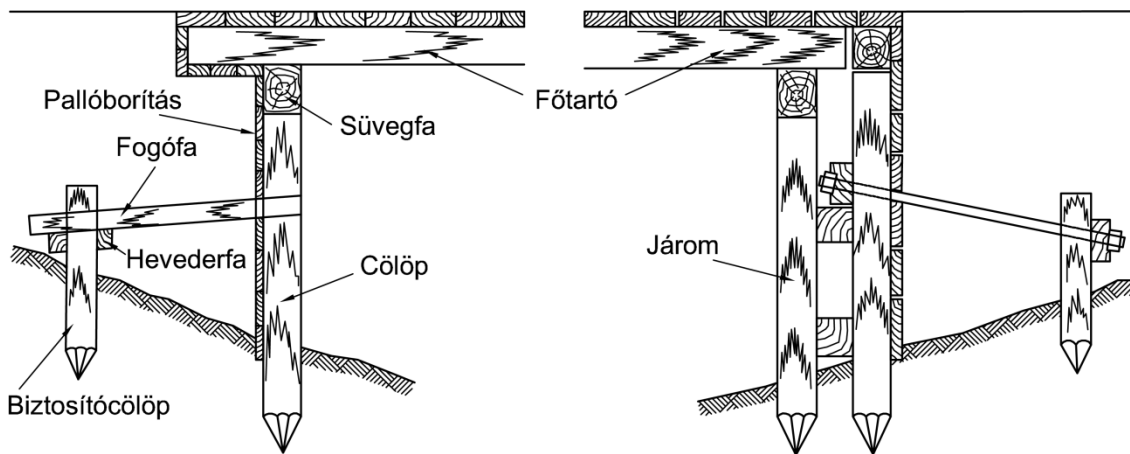


Súlytámfalszerűen kialakított hídfő

Fahidak hídfői

Ideiglenes jelleggel épülő fahidak hídfői fából is készülhetnek. A hídfő ekkor egyszerű függőleges helyzetű földbe vert cölöpsorból áll, amelyet felül *süvegfa* zár le. A cölöpöket úgy kell kiosztani, hogy minden tartógerenda alá egy-egy cölöp kerüljön. A cölöpöket a teherbíró talajba 0,50 m mélyen kell leverni. A földnyomás kifordító hatása ellen hátsó kihorgonyzással kell védekezni úgy, hogy a földmű csúszólapja mögé biztosítócölöpöket verünk le, amelyekhez cimborakötőként kialakított fogófák kötik a főtartót alátámasztó cölöpöket. A biztosítócölöpöket az együttműködés érdekében hevederfával is össze szokás kötni. A cölöpök mögé pallóborítás kerül, amely megakadályozza a talaj beömlését a híd nyílásába.

Nagyobb terheléseknél két párhuzamos cölöpsort kell építeni. Ezek közül a hátsó, pallóval borított cölöpsor a csatlakozó földmű nyomását, az első pedig a tartók terhelését veszik fel. Az első cölöpsort járomnak nevezik.

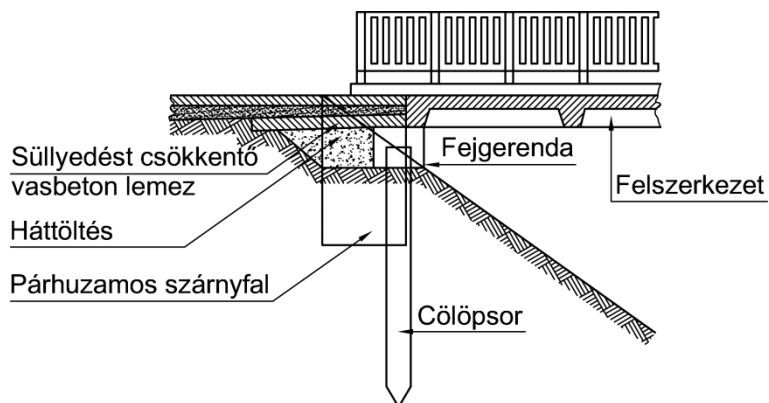


Fahidak hídfői

Rejtett hídfő

A hídfők töltést lezáró szerepétől eltekinthetünk, amikor a csatlakozó pályát homlokrézsúval zárjuk le. Ilyenkor a híd végeit pillérszerű megtámasztással támasztjuk alá (cölöpözött hídfő, rejtett hídfő). A megoldás hátránya, hogy a felszerkezet hossza jelentősen megnő, esetleg közbelső alátámasztásra – pillérekre – is szükség lehet. Előnye ennek a megoldásnak, hogy a nagy tömegű helyszínen készülő alépítmény helyett egy előregyártott elemekből felépíthető, földművel takart szerkezet valósítható meg.

A pillérszerűen kialakított hídfő végeredményben cölöpökre épített *fejgerenda*. Ezek hasonlítanak a fahidak cölöpözött hídfőjéhez. A talajba kerülő cölöpök az előregyártott vagy monolit alap (talpgerenda) kehelyfészkeibe befogott előregyártott vasbeton oszlopok. Felső végüket vasbeton fejgerenda zárja le, amely monolit szerkezet, vagy előregyártott elem lehet. A főtartó erre a fejgerendára támaszkodik.

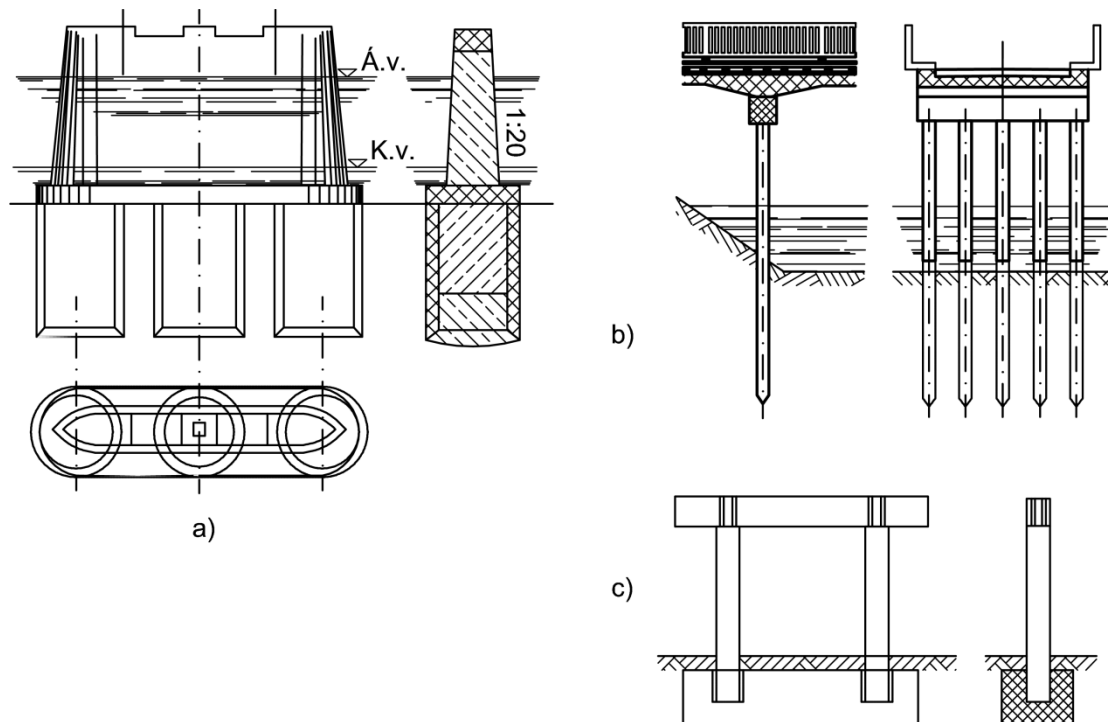


Rejtett hídfő

Pillérek

A hídfők közötti alátámasztás a pillér. Ezek csak a felszerkezet terheit hordozzák, földnyomás nem hat rájuk. Kialakításukat célszerű a hídfővel összehangolni. Súlytámfalszerű hídfők közé, hozzájuk hasonló *masszív pillérek*et építünk, a hídfő anyagával azonos anyagból. A hídfőhöz hasonlóan a pilléreket is felül szerkezeti gerenda zárja le. A pillérek szelvényét úgy kell kialakítani, hogy az a legcsekélyebb duzzasztást idézze elő a vízfolyásban. A pillér első sodorirányú élét fagyálló terméskőből kell építeni,

vagy élvédő szögacéllal kell lezárni, megakadályozva ezzel a mechanikai sérüléseket. A rejtett hídfők között – különösen, ha jégjárástól nem kell tartani – célszerű cölöpjárom pillérek építeni. Ezek a mederbe levert cölöpök, vagy talpgerendába befogott előregyártott oszlopok, amelyek felső végét előregyártott vagy monolit fejgerenda zárja le.



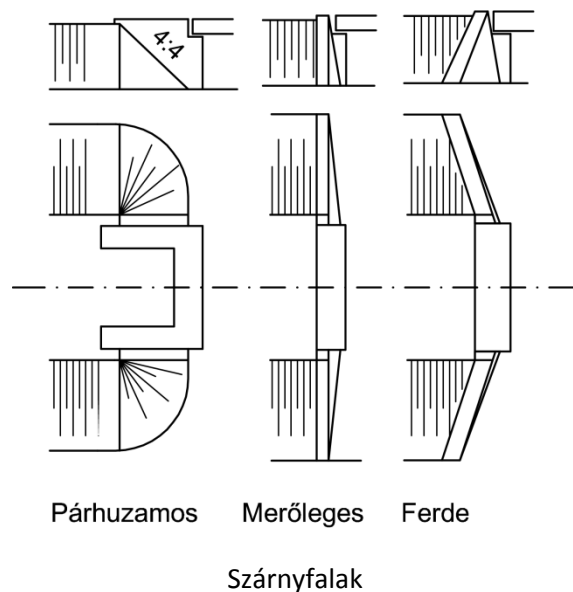
Pillérek: a) masszív pillér, b) cölöpjármos pillér, c) előregyártott vasbeton pillér

Szárnyfalak, töltéscsatlakozás

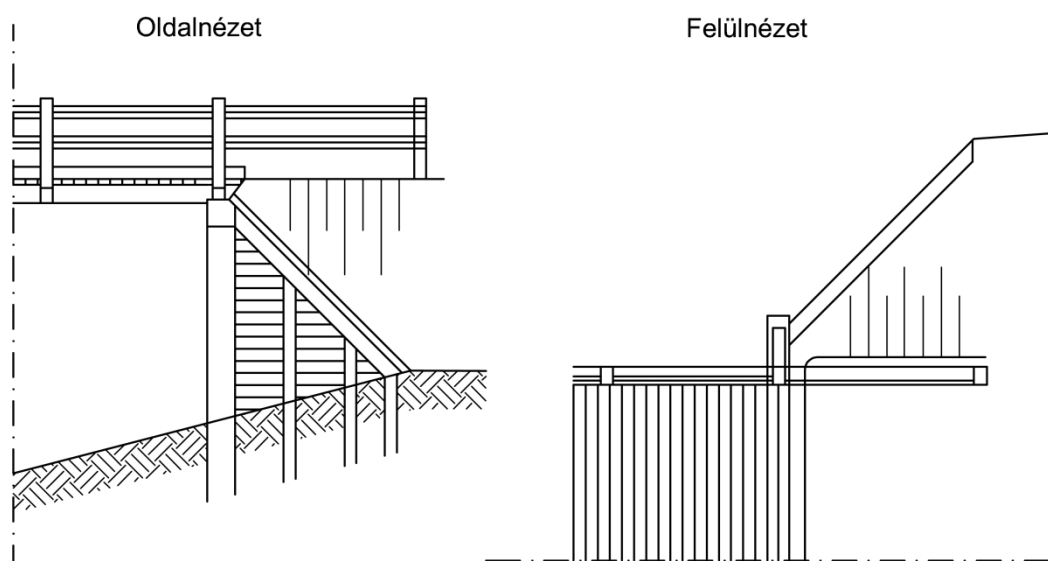
A szárnyfalak az út töltését és annak részsűjét zárják le, illetve támasztják meg. Anyaguk a hídfők felmenőfalának anyagával egyezik meg. Építhetők az úttengellyel párhuzamosan, arra merőlegesen vagy ferdén. Így beszélünk párhuzamos, merőleges és ferde szárnyfalról.

A *párhuzamos szárnyfalak* a töltést közrefogják, koronájuk az út tengelyével párhuzamos. A töltési részsűt önállóan nem támasztják meg, ezért külön *lezáró kúpokkal* kell kiegészíteni. A párhuzamos szárnyfalak jól hangsúlyozzák a hídfő jellegét és esztétikai szempontból is megfelelőbbek, mint a ferde vagy merőleges szárnyfalak. A párhuzamos szárnyfalak legkisebb koronaszélessége betonból 0,50 m természetesen 0,60 m. A párhuzamos szárnyfal hossza a csatlakozó töltés, valamint a lezáró kúp részsűitől függ. Lényeges, hogy a szárnyfal a kúp csúcspontjánál legalább 0,50 m-rel mélyebbre nyúljon a töltésbe.

A *merőleges és ferde szárnyfalak* a töltési részsűket önmagukban le tudják zárni. A ferde és merőleges szárnyfalak közül esztétikai szempontból előnyösebb a ferde szárnyfal. A ferde szárnyfal és a hídfő koronája által bezárt szög a vízszintes vetületben 20° – 40° között változhat.



Az ideiglenes fahidak cölöpözött hídfőjéhez ferde szárnyfalat célszerű csatlakoztatni. A szárnyfal egy cölöpsorból áll, amelyre a töltés felőli oldalon pallóborítást helyezünk, ezzel megakadályozva a talaj behullását a hídníválásba. A cölöpök és a pallóborítás magassága megegyezik a töltési rézsű síkjának magasságával. A földnyomás kifordító hatása ellen ugyanúgy védekezünk, mint ahogy azt a facölöpös hídfőknél tesszük.



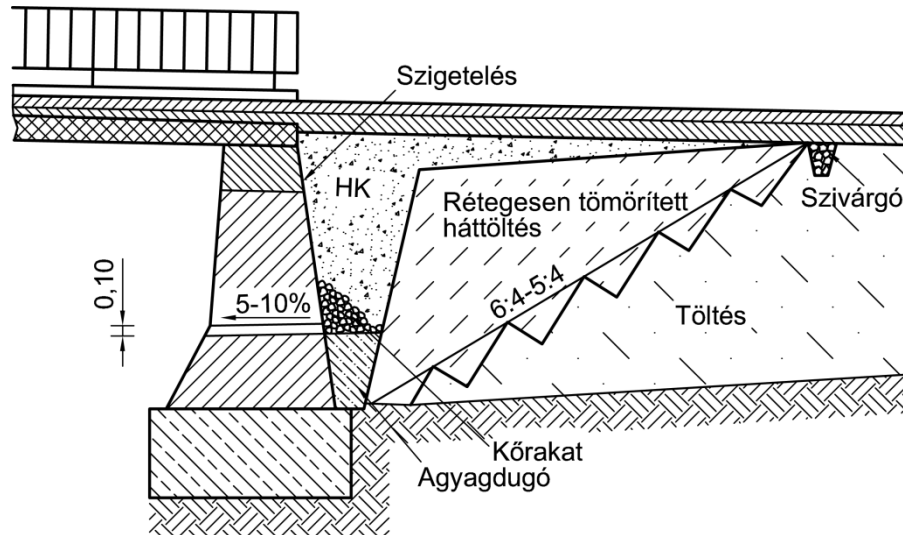
Fahidak ferde szárnyfala

Háttöltés kialakítása

A hídfő és az út töltése alatti talaj különböző mértékű összenyomódása, valamint a töltés utólagos tömörödése miatt a burkolaton a forgalomra káros bukkánók, lépcsők keletkeznek. Ezt teljesen megszüntetni nem lehet, de csökkentésükre törekedni kell. A gondos tömörítésen kívül meg kell akadályozni, hogy a háttöltésbe víz kerüljön, ezért a hídpálya felületéről és a csatlakozó úttestről lefolyó vizet gyorsan el kell vezetni (víznyelők, folyókák).

Gondoskodni kell a háttöltésbe szivárgó víz elvezetéséről, amely az altalaj átázását, illetve a víznyomásból származó többletterhelés kialakulását akadályozza meg. Ezeket a feladatokat a

szakszerűen kialakított háttöltés oldja meg. A háttöltés aljára, a *vízvezető cső* magasságáig *agyagdugót* kell készíteni, melynek felső szintje a cső felé lejt. Erre egy egyenletes szemnagyságú durvább anyagból álló – szűrőként szereplő – réteget kell teríteni, vagy *kőrakatot* elhelyezni. A háttöltés többi részét célszerű jól tömöríthető homokos kavicsból készíteni, gondos, rétegenkénti tömörítéssel.



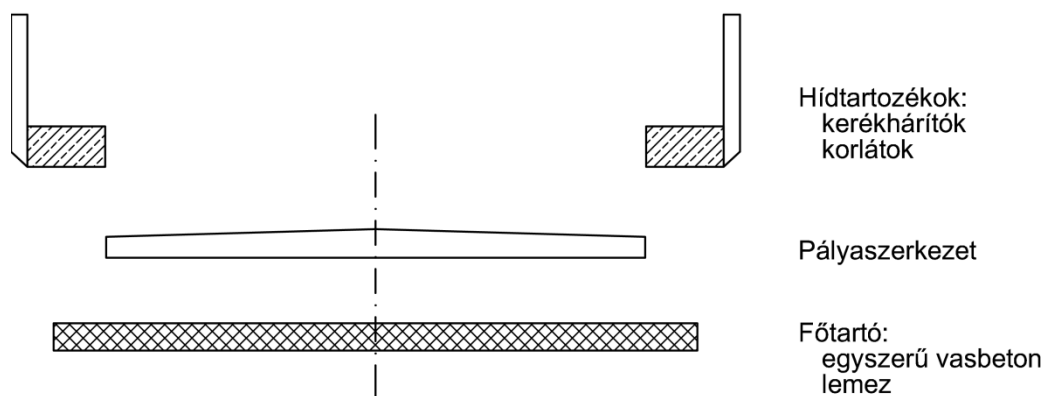
Háttöltés kialakítása

Vasbeton lemezhidak

A vasbeton lemezhidak főtartója *egyszerű* vagy *szegélybordás vasbeton lemez*, amely az erdészeti kishidaknál a szerkezeti gerendán nyugszik. A híd szerkezet hosszváltozásainak megkönnyítésére az alépítmény és a felszerkezet lesimított érintkező felületeit súrlódást csökkentő grafit bevonattal, vagy a meder felé növelhető vastagságú bitumenes papírlemezzel látják el.

Egyszerű vasbeton lemezhid

Az egyszerű vasbeton lemezhid főtartója *merevítés nélküli vasbeton lemez*, amelynek széleit utólag készített soványbeton kerékhárító zárja le, így ez nem vesz részt a teherviselésben. A kerékhárítót, amelyet részletekben építünk meg ezért csak kiállványozás után szabad a lemezre helyezni. A szakaszok határait bitumenes lemez ragasztással látjuk el. A kerékhárítót betonacél tüskék kötik a lemezhez, amelyeket mintegy 0,50 m-enként betonozzuk a lemezbe.



Egyszerű vasbeton lemezhid felszerkezete

Egyszerű vasbeton lemez méretei

Az egyszerű vasbeton lemez minimális szélességét a következő két méret közül a nagyobb határozza meg:

$$l_{y\min} = l_h + 2 \cdot t$$

ahol:

- $l_{y\min}$ = vasbeton lemez minimális szélessége (m),
- l_h = hasznos szélesség (m),
- t = hídtartozékok elhelyezésére szolgáló többlet szélesség (m).

illetve:

$$l_{y\min} = K$$

ahol:

- K = a csatlakozó út koronaszélessége (m).

A vasbeton lemez a hídfő koronaszélességére végig felfekszik, ezért teljes hossza egyenlő a hídnívó és a két hídfő koronaszélességének összegével.

A lemez minimális vastagsága, ha l_x a támaszköz:

$$v = \frac{l_x}{30}$$

de legalább 12 cm.

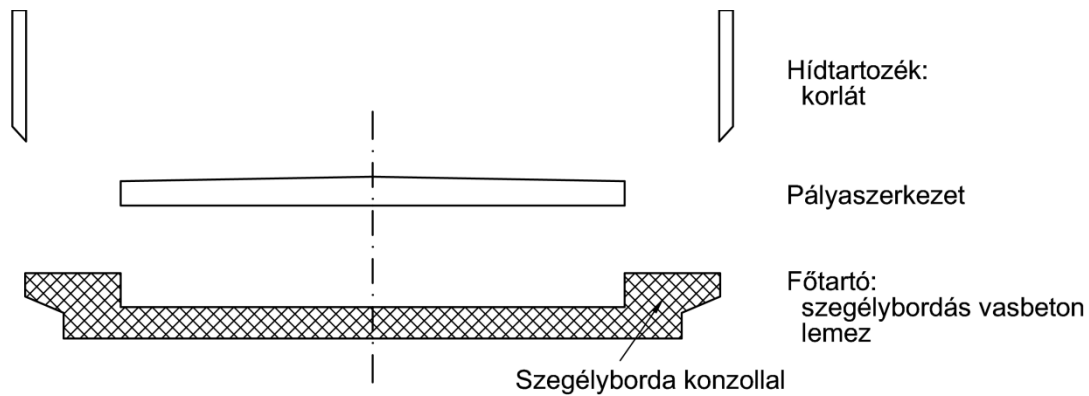
Az ajánlott lemeztvastagság:

$$\frac{l_x}{11} > v > \frac{l_x}{17}$$

Szegélybordás vasbeton lemezhid

A szegélybordás vasbeton lemezhidak hídtengellyel párhuzamos, alá nem támasztott szélein egy borda – az ún. *szegélyborda* – fut végig. A lemez a szegélybordával együtt viseli a terheket, tehát két irányban teherviselő. A gyakorlatunkban alkalmazott hidaknál a lemezzel együtt vasalt és betonozott vasbeton kerékhárító, illetve gyalogjárda a szegélyborda. A szerkezeten elhelyezett terhek egy része a hídtengellyel párhuzamosan közvetlenül az alátámasztásra jutnak, másik részét a lemez keresztirányban a szegélybordára juttatja.

A szegélybordás lemezhidak méretei megegyeznek az egyszerű lemezhid méreteivel. A szegélyborda mérete a kerékhárító méreteivel egyezzen meg.



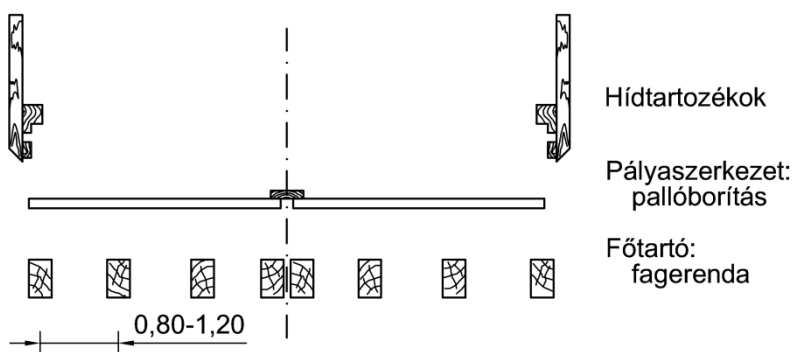
Szegélybordás vasbeton lemezhid felszerkezete

Egyszerű gerendatartós hidak

Az egyszerű gerendatartós fahidak főtartói gömbölyű, kétoldalt bárdolt, tompa élű vagy éles élű, jó minőségű, első osztályú anyagból készített fa gerendák, amelyeket a hídfőknél 0,80-1,20 m távolságra helyeznek el egymástól.

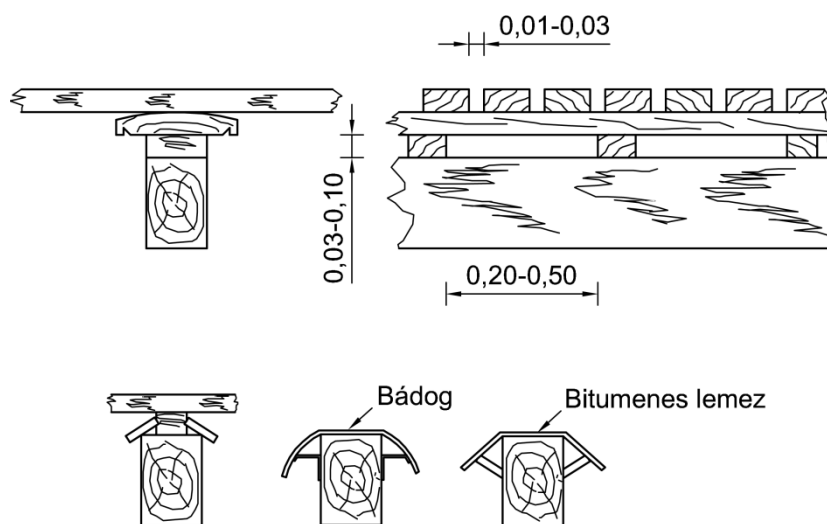
Cölöpözött hídfőknél a gerendák *süvegfák*on nyugszanak. Ezeket célszerű úgy kialakítani, hogy magasságuk közepétől a szélek felé csökkenjen. A hídpálya 2–3%-os esése így könnyen kialakítható, biztosítva a gyors vízvezetést. A tartógerendák bütüjére léceket szegezünk, ezekre pallóborítás kerül. A pallóborítás vagy deszkázás a gerendák alatt is folytatódik és a hídfő mögötti pallóborításhoz csatlakozik. Ez az elrendezés lehetővé teszi, hogy a gerendákat minél kevesebb nedvesség érje, valamint biztosítja a bütük szellőzését, így lassítva a korhadást. A gerendák elcsúszását a süvegfán a tartógerendára szegezett deszkával kell megakadályozni.

Kő vagy beton hídfőknél a főtartók ászokgerendán nyugszanak. Az *ászokgerendák* mérete 20/20 vagy 26/26 cm és a hídfők szélétől min. 10 cm-re fekszenek. Nagyobb terhelés átadásakor két, ritkán három-négy ászokgerenda is elhelyezhető. A tartógerendák az ászokfák mögé legalább 30 cm-rel nyúljanak túl. A nedves talaj ellen ugyanúgy kell védekezni, mint a cölöpözött hídfőknél.



Egyszerű gerendatartós fahíd szerkezete

A gerendákat a víztől óvni kell. A védőberendezés lehet pallóborítás, amely legalább 5 cm-rel a gerenda szélén túlnyúlik, felfekhet a gerendán közvetlenül vagy lécek közbeiktatásával. A védelmet elláthatja még bádoggal vagy bitumenes papírborítás is. Mindkét esetben ügyelni kell arra, hogy a védőlemezek ne legyenek szegezve mert a szeglyukon beszivárgó víz, – mivel nem tud eltávozni – a gombásodás kiindulópontja lehet. A szélső tartók oldalfelületeit deszkázni szokták.

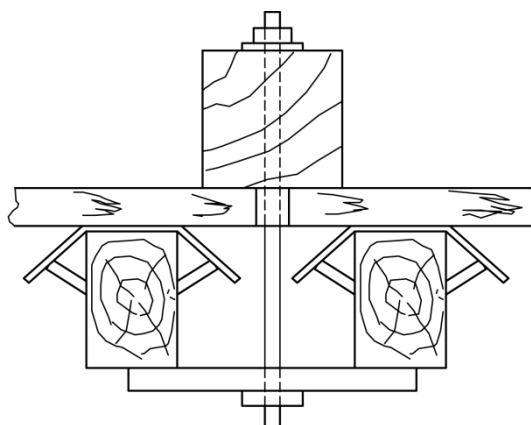


Fatartók védelme víz ellen

Egyszerű gerendatartós fahidak pályája

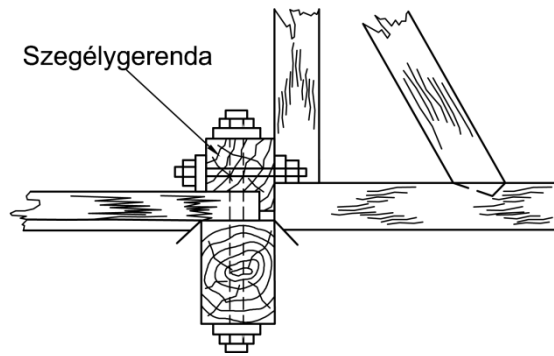
Az egyszerű gerendatartós fahidak pályája *dobogóból* és *borításból* áll. A dobogó fekszik fel a tartószerkezeten és viseli a terheket, a borítás a kopórétegnek felel meg.

Kis forgalmú hidakon a híd borítása és a dobogó nem különül el, hanem mindkettő szerepét az ún. *egyszerű pallóborítás* látja el. A pallókat a híd hossz tengelyére merőlegesen a víztelenítés céljából kis eséssel (2–5%) vagy 1–3 cm-es hézagokkal kell a főtartóra erősíteni kovácsszeggel vagy csavarokkal. Szélesebb hídon a híd tengelyében célszerű két gerendát egymáshoz közel elhelyezni. A pallókat ekkor középen *lefogófa*val rögzítjük úgy, hogy a gerendák között lenyúló csavarokat acéllemezzel erősítjük a gerendákhoz.



Lefogófa

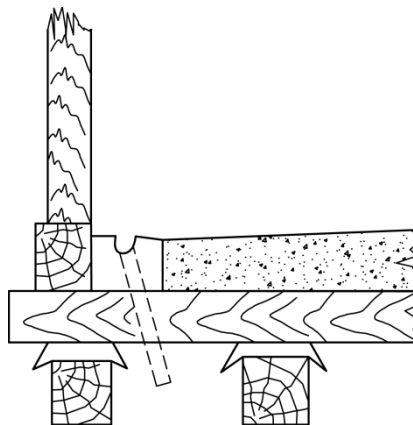
A hídpálya szélén a pallókat *szegélygerenda* fogja le, amely a palló bütüjének egy részét is letakarhatja. A gyalogjárót a szegélygerenda felső élével egy magasságban helyezük el.



Szegélygerenda

Nagyobb igénybevételnek kitett hidakon *kettős pallóborítást* szoktak alkalmazni. Az alsó a teherviselő, a felső a koptató réteg. A teherviselő réteget a híd tengelyére merőlegesen 1–2 cm-es közők beiktatásával, a koptatóréteget ezzel párhuzamosan, hézag nélkül, fél pallószélességgel eltolva kell elhelyezni. Ennek a rétegnek a vastagsága 4–6 cm.

A dobogón közvetlenül elhelyezhető a terheket egyenletesebben elosztó kavicsolás is. Hátránya a nagy önsúly és a víztelenítés nehézkes megoldása. A hídpálya két szélét szegélygerendák zárják le, amelyekbe 2–4 m távolságban 20 cm hosszú kivágásokat vagy vajt csatornát kell kialakítani.

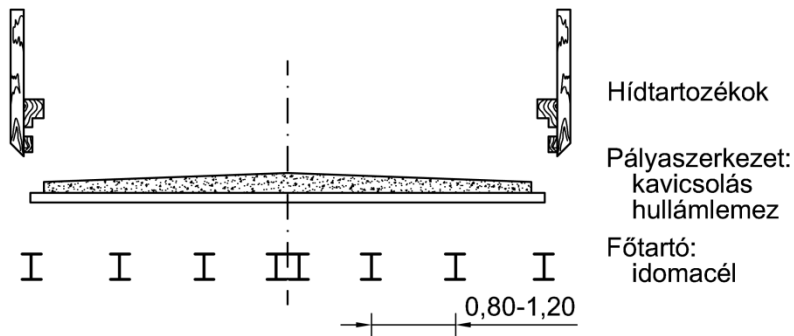


Kavicsolt pálya

Egyszerű acél gerendatartós hidak

Az egyszerű acél gerendatartós hidak 10 m támaszközig használhatók. Ennek főtartói *hengerelt idomacél gerendák*, általában „I” vagy „U” profillal. A főtartók távolsága 0,80–1,20 m.

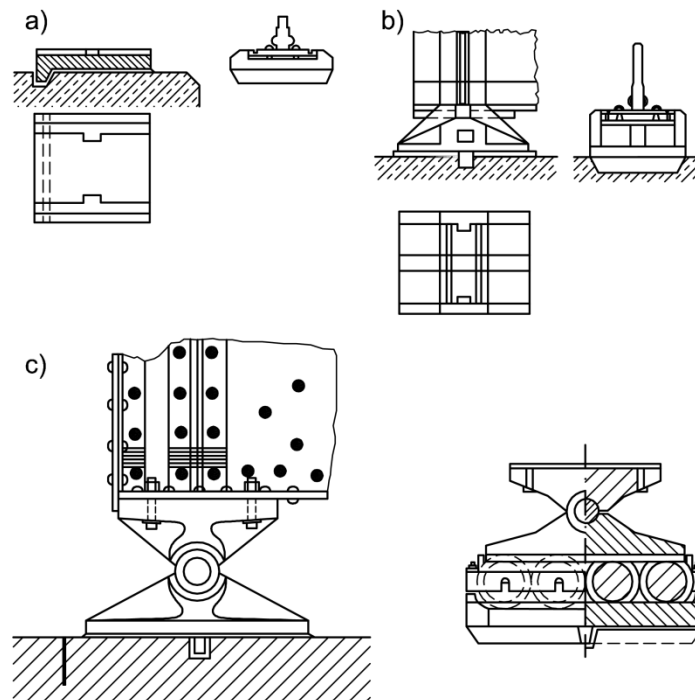
Kis terhelésnél a főtartók közvetlenül a hídfőre fekkhetnek fel, ekkor a hídfőre ólom- vagy vaslemez alátéteket kell elhelyezni, amelyek vastagsága 15–30 mm. A felfekvés hossza a tartómagasság másfélszerese. A főtartók ászokgerendára is felfekhetnek. A főtartók keresztirányú elmozdulását közbefalazással lehet megakadályozni. A befalazást úgy kell elkészíteni, hogy az ne minősüljön merev befogásnak, ezért azt a méretezéskor is szabadon elfordulónak kell tekinteni. Az ászokgerendára fekvő főtartók keresztirányú elcsúszását sínszeg, vagy az ászokgerendára erősített deszka gátolja meg.



Egyszerű gerendatartós híd felszerkezete idomacél főtartóval

Saruk

Nagyobb tartók felfekvésénél a pontosan meghatározott helyen történő alátámasztást, a hő okozta hosszváltozás felvételét, valamint a felfekvési él körüli szabad elfordulást saruk biztosítják. A legegyszerűbb szerkezetű saru az egyik oldalán hengeresen kiképzett öntvény, amelyen a tartó mindig csak egy alkotó mentén fekszik fel. A tartó lecsúszását a saruról perem akadályozza meg. A saru elmozdulását a hídfőn a saru alján keresztirányban elhelyezett 50–60 mm magas borda gátolja meg, ezt köldöknek nevezzük. Az így kialakított talpsarun a hő okozta alakváltozás következtében a tartó elmozdulhat, ezért a másik alátámasztásnál összekapcsoljuk a sarut és a főtartót úgy, hogy a szabad elfordulás biztosított legyen.



Saruk: a) fix saru, b) mozgósaru, c) billenő és gördülő saru

Az acél főtartós hidak pályája a fahidakhoz hasonló pallóborítás lehet. A csatlakozó út kavicspályáját a főtartókon keresztben elhelyezett idomacéloból kialakított pályatartón lehet átvezetni. A korlátok acélból vagy fából készülhetnek.

Előregyártott elemek felhasználásával készülő felszerkezet

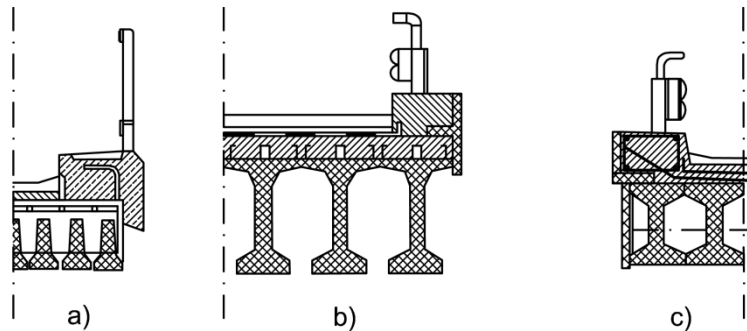
A gyakorlatban előforduló kis hídnívások áthidalására az előregyártott gerendák felhasználásával készülő lemezhidak felelnek meg. Ezeknél az egymás mellé elhelyezett gerendák a helyszíni vasalással és betonozással együttesen alkotják a felszerkezetet. A gerendák szerepe kettős:

- vasalásuk a szerkezet alsó fővasalását adják,
- helyettesítik a drága és munkaigényes zsaluzatot.

Az előregyártott gerendák vasbetonból és feszített vasbetonból készülhetnek, a hídnívást kéttámaszú tartóként hidalják át. Az áthidalt nyílástartomány 2-30 m.

A teherhordó felszerkezet kialakítása háromféle lehet:

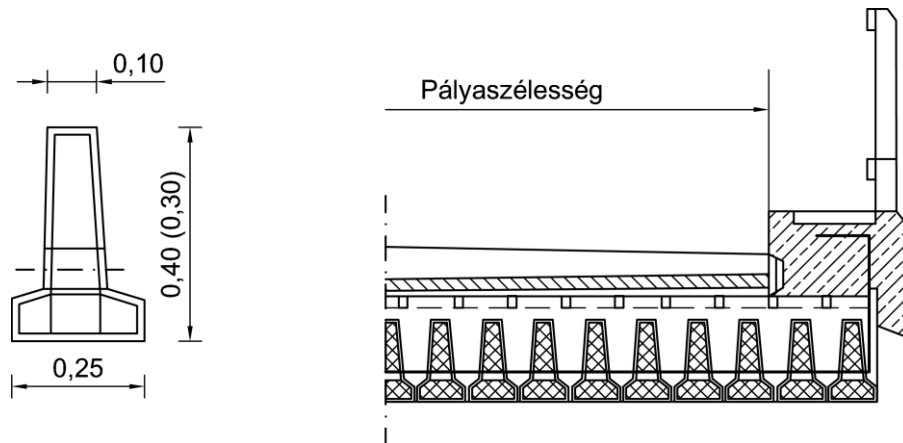
- *gerendabetétes lemezhid:* a szorosan egymás mellé helyezett gerendák közeit kibetonozzuk;
- *együttdolgozó szerkezet:* a gerendák fölé együttdolgozó vasbeton lemezt készítünk;
- *keresztirányú feszítés:* a szorosan egymás mellé helyezett gerendákat keresztirányba összefeszítjük.



Előregyártott gerendás hídszerkezetek: a) gerendabetétes, b) együttdolgozó, c) keresztirányú feszítéssel

Gerendabetétes lemez

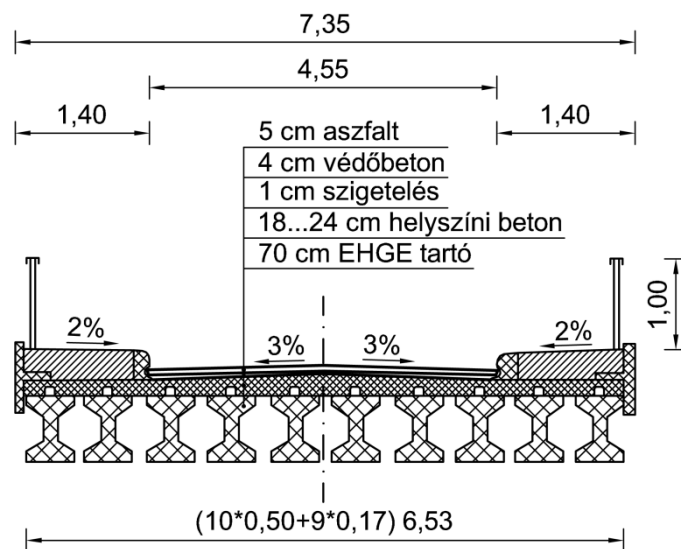
A gerendabetétes lemez kialakításához előregyártott fordított T keresztmetszetű gerendát használunk. Ezek a 2–10 m-es nyílástartományban használhatók célszerűen. Az alépítményre közvetlenül felfekvő, szorosan egymás mellé fektetett gerendákat kereszt irányba acélbetétrel kötjük össze. A gerendák anyaga C25-ös beton. A gerendák közötti részeket és a rábetonozást C12–C16-os betonból kell készíteni. Ide kerül a felső acélháló is. Az így kialakított lemez a továbbiakban az egyszerű monolit vasbeton-lemezhez hasonlóan kezelhető.



Gerendabetétes lemezhíd

Együttdolgozó szerkezet

Az együttdolgozó szerkezetek azonos, vagy különböző anyagú gerendatartóból és pályalemezből állhatnak. Ezek elmozdulásmentesen vannak összekapcsolva, így az igénybevételeket együttesen veszik fel. Az erdészeti gyakorlatban a feszített gerendával együttdolgozó monolit vasbetonlemez a célszerű a 10–30 m nyílástartományban beépíteni. Ezeknél az együttdolgozást a gerendák fejlemezeiből kiálló tüskék biztosítják.



Példa az előregyártott feszített hídgerendás együttdolgozó szerkezetre

Hidak méretezésének alapelvei

A hidak tervezésekor igazolni kell, hogy a szerkesztési szabályok betartásával kialakított szerkezet minden eleme:

- teherbírás,
- fáradás,
- repedéskorlátozás,
- állékonyság,
- alakváltozás

tekintetében megfelel a műszaki előírásokban meghatározott terhelőerőknek és mozgásoknak. Ezek a műszaki előírások rendelkeznek arról is, hogy az építőanyag és szerkezet függvényében mely követelményeket kell vizsgálni. Amennyiben kétségtelen, hogy a követelmények teljesítettek, azokat külön igazolni nem kell.

Az erőtani számítás során figyelembe veendő terhelő erők és mozgások

Az erőtani számításokban figyelembe veendő terhelőerőket és mozgásokat állandó, illetve tartós jellegű, valamint esetleges jellegű terhelőerőkre és mozgásokra osztjuk.

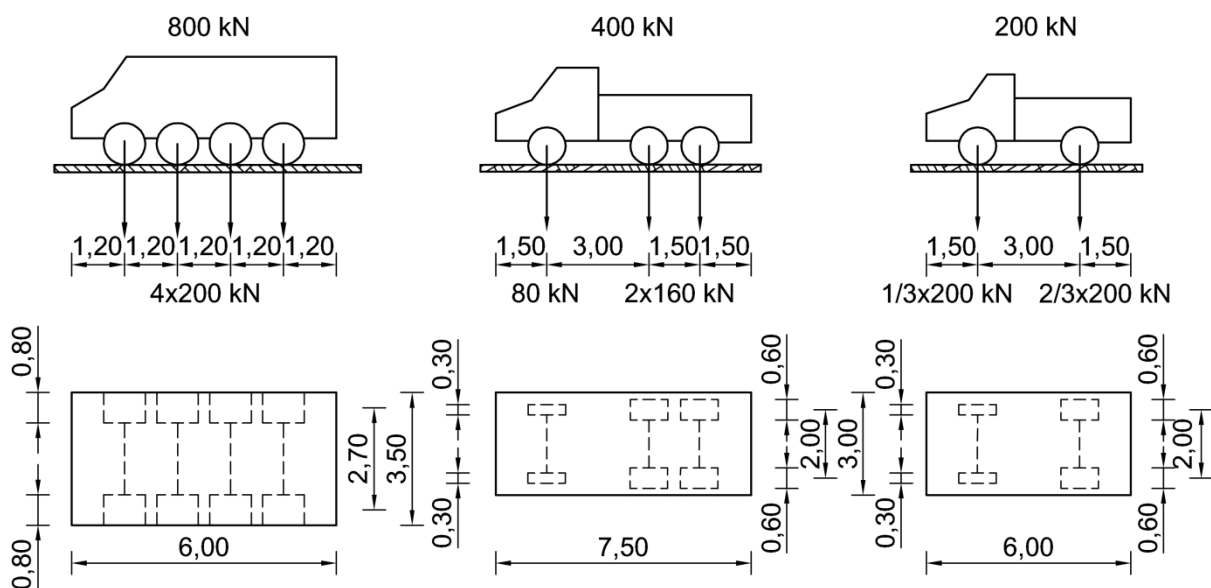
Az állandó, illetve tartós jellegű terhelőerők és mozgások közé soroljuk:

- Az *önsúlyt*, amelyet a műszaki terv alapján kell meghatározni. Ide tartozik a szerkezet saját súlya, valamint a szerkezeten tartósan vagy állandóan elhelyezett egyéb terhek súlya. A terheket úgy kell elhelyezni, ahogy azok a valóságban megjelennek. A súly a geometriai méretek és a halomsűrűségek alapján számítható.
- A *földnyomást* és földterheket a talajfeltárás laboratóriumi eredményeinek figyelembevételével kell meghatározni. A földnyomás kiszámításánál a féltér véges kiterjedése csak akkor vehető figyelembe (pl. párhuzamos szárnyfalak között), ha a falak magassága legalább 4 m és a fal alsó síkjától indított csúszólapok a térszín alatt metszik egymást.

Esetleges jellegű terhelő erők és mozgások: a hasznos terhek és a dinamikus hatás. Hasznos teherként vesszük figyelembe az erőtani számítás során:

- a kocsipálya terheit,
- a járdák, kiemelt szegélyszávok terheit és
- a hídfők mögötti útpálya terheit.

A műszaki előírások a kocsipálya terhei szerint A, B és C terhelési osztályú hidakat különböztetnek meg. A kocsipálya teher a híd terhelési osztálya szerint meghatározott egyetlen jármű terhe és a vele egy időben a kocsipálya teljes felületén – a jármű által elfoglalt területen is – elhelyezett 4 kN/m^2 megoszló terhelés. Az egyes hídosztályok járműterheit műszaki előírások tartalmazzák.



Osztály	Jármű összsúlya (kN)	Első tengely		Többi tengely	
		Keréksúly (kN)	Kerék felfekvési szélessége (m)	Keréksúly (kN)	Kerék felfekvési szélessége (m)
A	800	100	0,80	100	0,80
B	400	40	0,30	80	0,60
C	200	100/3	0,30	200/3	0,60
A kerék felfekvése a haladás irányában: 0,20 m					

Szabvány közúti járműterhek

A járműveket a pályán úgy kell elhelyezni, hogy

- a vizsgálat szempontjából mértékadó helyen álljon,
- hossz tengelye a hídtengellyel párhuzamos legyen.

Keresztirányba a jármű addig tolható el, amíg kerekei a kiemelt szegélysvot, ennek hiányában a kocsiszokrénnyel érinti a korlátot. A járműterhet, illetve a megoszló teher azon részeit, amelyek tehermentesítően hatnak, el kell hagyni.

A járművek keréksúlyát általában teherelosztó réteg viszi át a tartószerkezetre. A kerékterhet ezért olyan egyenletesen megoszló terhelésnek kell tekinteni, amely derékszögű négyszög alakú területen hat. Ennek méretei a jármű haladási irányába (a_1):

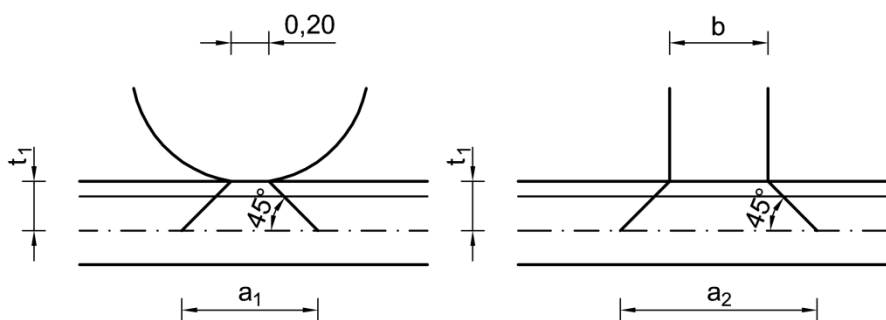
$$a_1 = 0,20 + 2 \cdot t_1$$

erre merőlegesen pedig (a_2):

$$a_2 = b + 2 \cdot t_1$$

ahol:

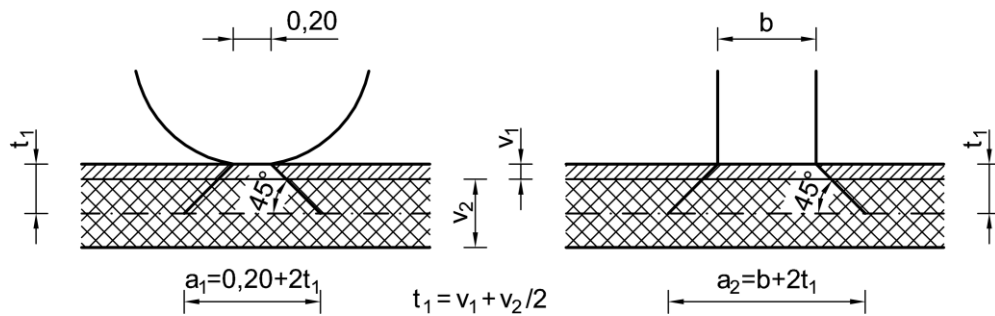
- b = a kerék felfekvési szélessége (m),
- t_1 = a teherelosztó réteg számításba vehető vastagsága (m).



Tehereosztó négyszög méretei

A *teherelosztó réteg vastagságába* a kő és fakocka burkolat magassága fél értékkel, a többi burkolat teljes értékkel vehető számításba. A vasbeton lemez vagy teherhordó fapalló vastagságának fele a t_1 értékbe beszámítható. Fapalló szerkezetnél azonban – ha teherhordó pallót nem használunk vagy az párhuzamos a teherelosztó pallóval – a terhelő négyszögnek a palló irányára merőleges mérete nem

lehet nagyobb a teherhordó palló szélességénél. A hullámlemezről kialakított pályaszerkezeti részek magasságát átlagértékükkel kell figyelembe venni a t_1 meghatározásakor.



Teherelosztó négyszög méretei vasbeton lemeznél

A járda és kiemelt szegélyszávok terheit 5 kN/m^2 egyenletesen megoszló terhelésként kell figyelembe venni. A szolgálati és üzemi gyalogjárdák hasznos terhe $2,5 \text{ kN/m}^2$ lehet.

A hídfő mögötti útpálya terheként a hídfők mögötti útpályán elhelyezett, az út teljes szélességén ható 24 (C osztályban: 12) kN/m^2 , egyenletesen megoszló járműterhet helyettesítő terhelést kell alkalmazni. A híd ilyenkor terheletlen, vagy rajta csak a 4 kN/m^2 egyenletesen megoszló terhelés található attól függően, hogy melyik a kedvezőtlenebb.

A dinamikus hatást a kocsi pályá terheinél, valamint a kiemelt szegélyszáv terheinél a *dinamikus tényező*vel való szorzással kell figyelembe venni. A dinamikus tényező értéke:

$$\mu = 1,05 + \frac{5}{L+5}, \text{ de legfeljebb } 1,50$$

ahol: L = a kéttámaszú tartó támasztóköze (m).

A dinamikus tényező értékét a teherelosztóréteg vastagságának függvényében a következő értékekkel kell számításba venni:

- $0,50$ m-es teherelosztó réteg vastagságig a dinamikus tényező teljes értékével
- $2,0$ m-nél vastagabb teherelosztó réteg esetén $1,00$ értékű dinamikus tényezővel kell számolni. Közbenes vastagságoknál a dinamikus tényezőt lineáris interpolálással kapjuk meg.

Az erőtani számítással szemben támasztott követelmények

Az erőtani számítás során igazolni kell, hogy a szerkesztési szabályok betartásával megtervezett szerkezetek teherbírása, stabilitása az előírt terhelésekre megfelel-e.

Az előbb felsorolt terhek és hatások:

- alapértékét,
- szélső értékét általában,
- a hasznos terhelés esetében annak üzemi értékét kell megkülönböztetni az erőtani számításokban.

A teherbírás igazolható:

- határállapot alapján,
- megengedett feszültségek alapján.

A *határállapot alapján végzett vizsgálat* során ellenőrizni kell, hogy a terhek szélsőértékű tehercsoportosításának megfelelő F_{sd} teherből számított S_d (mértékadó) igénybevétel nem nagyobb-e, mint az R_d határteherbírás. A teherbírás megfelelő, ha

$$S_d \leq R_d$$

A teher szélsőértékű csoportosításának megfelelő terhet az

$$F_{sd} = \gamma_g \sum_{i=1}^m G_i + \gamma_q \cdot \left(Q_1 + \sum_{i=2}^n \psi_i \cdot Q_i \right)$$

illetve

$$F_{sd} = 1,3 \sum_{i=1}^m G_i$$

számítási képletek közül azt kell figyelembe venni, amely a kedvezőtlenebb eredményt adja.

A képletekben:

- $\gamma_g = 0,9$ illetve $1,1$ az állandó terhek biztonsági tényezője (a két érték közül a tehercsoportosítás szempontjából mértékadó veendő figyelembe);
- $\sum_{i=1}^m G_i$ = az összes állandó, illetve tartós jellegű terhelőerők és hatások alapértéke – azok legkedvezőtlenebb, de a valóságban lehetséges összeállításban;
- Q_1 = az esetleges terhelőerőkből egy kiemelt (pl. a járművet és járműsört helyettesítő egyenletesen megoszló teher) alapértéke;
- $\sum Q_i$ = az összes többi esetleges jellegű terhelőerő és hatás alapértéke;
- γ_q = az esetleges terhek biztonsági tényezője, amelynek értéke $1,3$;
- ψ_i = az egyidejűségi tényező, amelynek értéke egyetlen további Q_i teher esetében $0,80$ több további Q_i esetében $0,60$.

Az R_d határteherbírást a szerkezet anyagától függően kell meghatározni. A megengedett feszültségek alapján történő erőtanai számításokban meg kell vizsgálni, hogy a teher alapértékű csoportosításának megfelelő:

$$F_{ser} = \sum_{i=1}^m G_i + Q_1 + \sum_{i=2}^n \psi_i \cdot Q_i$$

teher figyelembevételével számított σ_{max} feszültségek nem nagyobbak-e az előírt σ_e megengedett feszültségnél. A teherbírás megfelelő, ha a

$$\sigma_{max} \leq \sigma_e$$

feltétel teljesül.

Az állékonyság igazolásakor vizsgálni kell, hogy a szerkezet az előzőekben felsorolt erőkkel terhelve vagy terheletlenül felborulással, kibillenéssel, felemelkedéssel, eldőléssel vagy elcsúszással nem fenyeget-e, vagyis, hogy a szerkezet állékony.

Az aléptítmény és alapozás állékonyságát a MSZ 15002 szerint a következő képlettel kell számolni:

$$\sum n_a Y_a + \sum n_e Y_e + \sum Y_j \leq \sum \alpha Y_s$$

ahol:

- Y_a Y_e Y_j = az állandó, esetleges és járulékos terhelőerőkből és mozgásokból számított igénybevételek a vizsgálat szerint legkedvezőtlenebb csoportosításban;
- Y_s = az állandó, esetleges és járulékos terhelőerőkből és mozgásokból számított hatások, amelyek az előző igénybevételekkel egyidejűleg, de ellentétes értelemben hatnak;
- $n_a = 1,0$
- $n_e = 1,2$
- α = biztonsági (csökkentő) tényező.

A biztonsági tényező α aktív földnyomásból, önsúlyból és egyéb állandó terhekből származó erők esetében 1/1,5–1/2, vagyis a biztonság 1,5–2.

CSŐÁTERESZTŐK ÉS EGYÉB VÍZÁTVEZETŐ LÉTESÍTMÉNYEK

Mellékvölgyek időszakos vízfolyásait, valamint az oldalárkok vízének pálya alatti keresztirányú átvezetésére előregyártott elemekből készülő csőáteresztőket építünk.

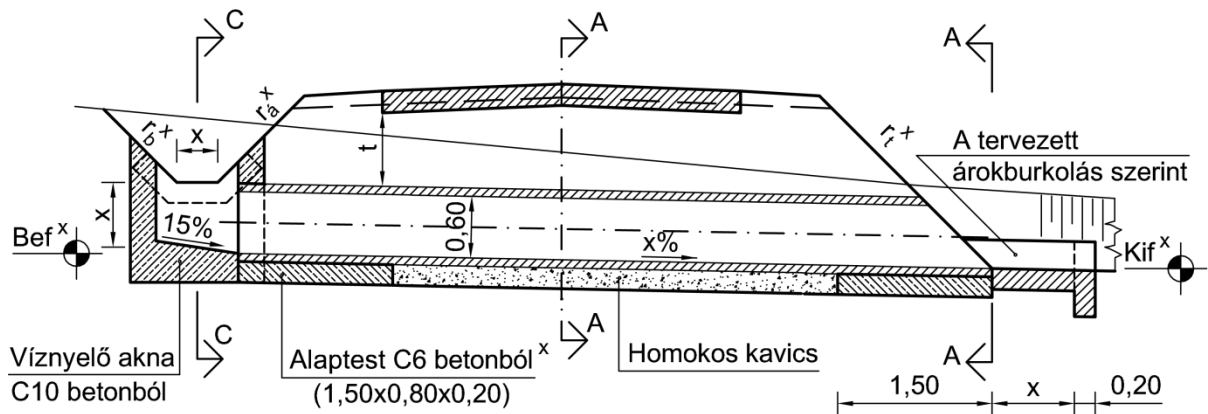
Az oldalárkok vízének átvezetésére leggyakrabban 0,60 m átmérőjű, 1,00 m hosszú talpas csőelemekből összeállított csőáteresztőket építünk. A 0,40 m átmérőjű talpas csöveket általában az oldalárok lejárók alatti átvezetésénél építjük be.

Betoncső áteresztők

A betoncsövek fölött minimálisan az átmérővel megegyező vastagságú teherelosztó *takarást* kell biztosítani. Ha ez a takarás nem biztosítható, a csövet min. 0,10 m vastag betontól készített köpennyel kell körben megerősíteni.

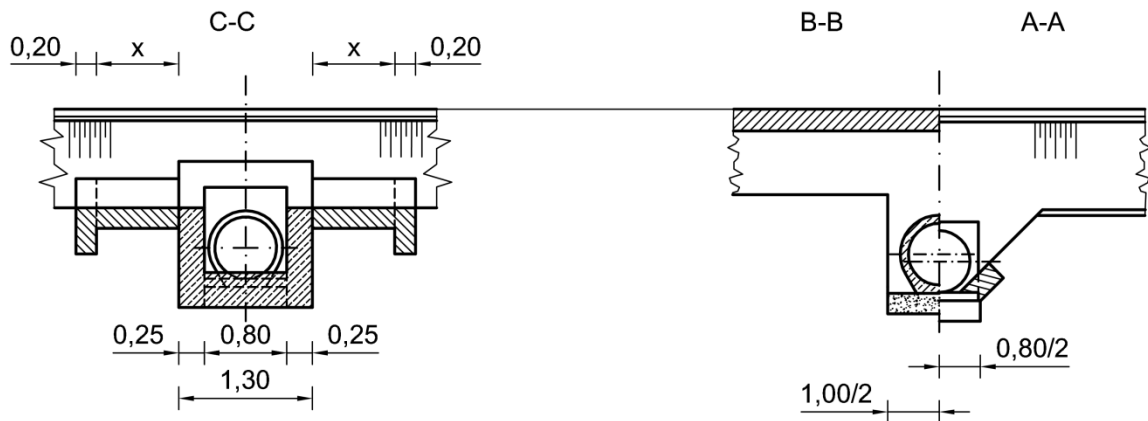
A csőáteresztő alapozásáról gondoskodni kell. Kohézió nélküli szemcsés talajon elég a cső elejét és végét egy-egy alaptesttel alátámasztani. Kötött talajon a két alaptest közé 0,15 ill. 0,20 m vastag, tömör homokos-kavics réteget kell beépíteni.

HOSSZMETSZET



Az x-szel jelzett értékek a Mintakeresztelvények és a Keresztelvények című munkarészek szerint.

METSZETEK



Talpas betoncső átteresztő

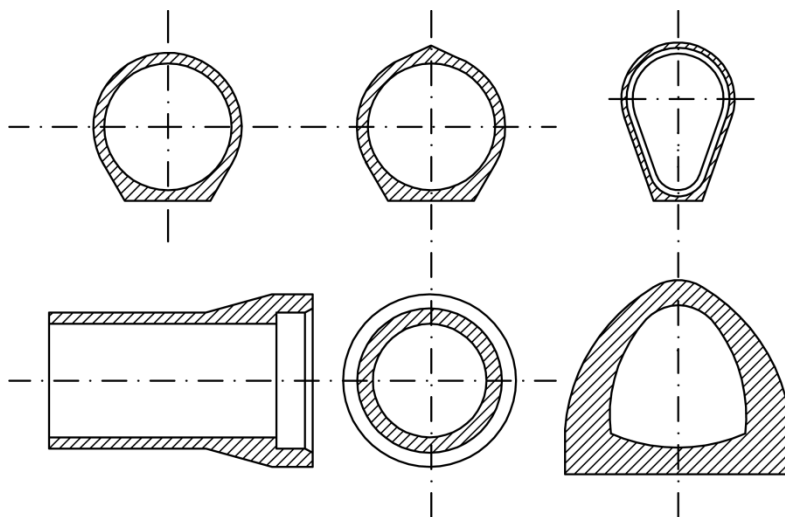
Kis teherbírású talajon, vagy nagyobb terhelések várható fellépésénél a cső alatt *végigfutó alaptest* is kialakítható. Magas töltések alá beépített csőátteresztőket vasalt beton alaptestre kell fektetni.

A csőátteresztőt az öntisztulás elősegítése érdekében 2–5% hosszésszel kell elhelyezni. A cső beömlőnyílás felőli vége az árokhoz *előfejjel* vagy *aknával* csatlakozik. A cső kiömlőnyílása *utófejjel*, *párhuzamos vagy ferde szárnyfallal* csatlakoztatható a töltéshez.

Különbéle kis átmérőű betoncsövek

A csőátteresztők építésénél a talpas kör-szelvényű betoncsövek helyett használható más kialakítású betoncső is:

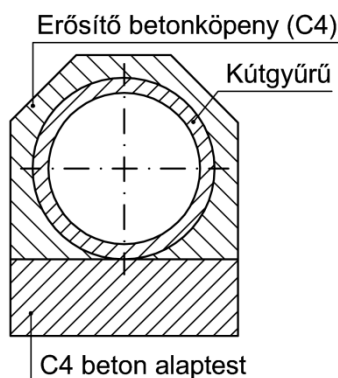
- a *megerősített köpenyű, körszelvényű, talpas betoncső*, amely minimális takarással is beépíthető,
- a nagyobb vízemésztő képességű *tojás-szelvényű, talpas betoncső*,
- *békaszáj nyílású betoncső*,
- *tokos betoncső*.



Különféle kis átmérőjű betoncsövek

Kútgyűrűkből kialakított csőáteresztő

A 0,80–1,00 m belső átmérőjű kútgyűrűket 0,50 m vastag C4 minőségű beton alaptestre helyezzük és 0,10 m vastag betonnál készített *erősítő köpennyel* látjuk el. A csővégek monolit elő- és utófejjel zárhatók le. Két egymás mellé szorosan megépített csőből iker csőáteresztő építhető, amely nagyobb vízhozam átvezetésére alkalmas.



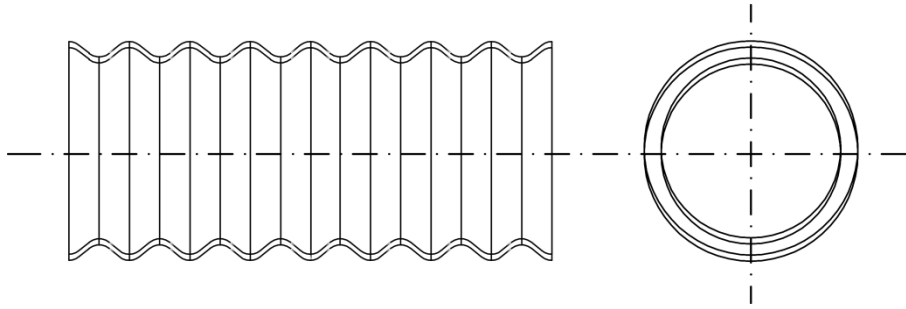
Kútgyűrűkből kialakított csőáteresztő

Nagy szilárdságú vasbeton csövek

A Rocla márkanéven forgalmazott 100–300 cm névleges átmérőjű C40 minőségű pörgetett betonból, kétrétegű vasalással készülő csövek hengeres és tokos kialakítással készülnek. A csöveket szemcsés talajra, homokos-kavics ágyazatra vagy sovány beton alapra kell építeni. A csőbe kerülő acélmennyiséget a cső ágyazásának, túltöltésének és a fellépő egyéb terheléseknek megfelelően számítással a gyártó határozza meg.

Hullámlemez csőáteresztő

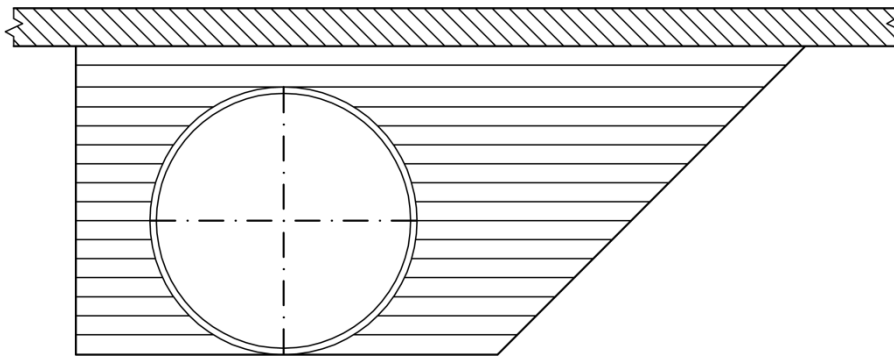
Egyszerű építést és tervezést tesz lehetővé a *hullámosított acéllemez*ből kialakított csőszerkezet (pl.: *TUBOSIDER* márkanéven). Ezek könnyűek, szállításuk olcsó, gyorsan beépíthetők, a beépítés után azonnal terhelhetők és hosszú élettartamúak. A csőelemek 2 mm vastag 600×1480 mm hasznos méretű, a névleges átmérőnek (94,2 és 236,0 cm) megfelelő *dongásítással* kialakított elemekből csavarozással szerelhetők össze.



Hullámlemez csőáteresztő

Hullámlemez csőáteresztő beépítése

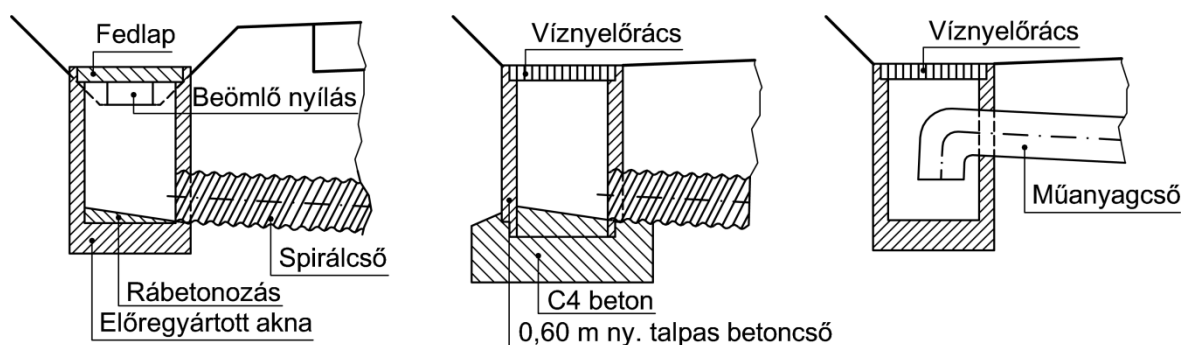
A csövet a névleges átmérőnél 1,5-szer szélesebb alapárokba kell elhelyezni. A túltöltés legkisebb vastagsága 0,30–0,60 m, legnagyobb vastagsága 8,00–2,00 m között változik. A cső névleges átmérőjének alsó harmadában a cső közvetlen környezetében a töltést homokos-kavicsból kell elkészíteni. A cső mellé a talajt két oldalon azonos ütemben, rétegenként gondosan tömörítve kell beépíteni. A töltés tömörségi foka 95%, amit a csőhullámok között is meg kell követelni. A csővéget a hossz tengelyre merőleges síkkal, vagy a rézsú síkjával azonos esésű ferde síkkal kell levágni.



Hullámlemez csőáteresztő beépítése

Kis átmérőjű műanyag és fémcsővek

Ökológiai szempontból kedvező, ha az árokban összegyűlő vizet gyakrabban (10–30 m-ként) vezetjük át a völgy felőli oldalra. A kisebb vízhozam miatt ekkor kisebb átmérőjű *műanyag*, vagy *bordásított alumínium cső*, *spirálcső* építhető be, *kisebb takarással*. Ennek a megoldásnak az is előnye, hogy a terhelés hatására esetleg összenyomódó cső nem roppan össze, ezért vízvezető képességét még deformált állapotban is megtartja. A csövek eltömődését speciálisan kialakított akna-cső kapcsolattal lehet megelőzni. Az előregyártott elemből, vagy függőleges tengellyel C4–C6 betonrétegbe süllyesztett 0,60 m átmérőjű csőáteresztő tagból kialakított aknába a cső a felső harmadban köt be.



Kis átmérőjű műanyagcsövek aknáí

Utófenék kialakítása

A csőáteresztőben felgyorsuló víz a csövet elhagyva eróziót okozhat, ha az utófenék védelméről nem gondoskodunk. Az *utófenék kialakításának módját a kilépő víz sebessége határozza meg:*

- $v < 1,5$ m/sec nem kell különleges védelem,
- $1,5 < v < 2,5$ m/sec utófenék burkolás szükséges,
- $v > 2,5$ m/sec csillapítómedencével ellátott utófenék-burkolás szükséges.

El kell érni, hogy a víz sebessége a kritikus eróziót előidéző sebesség alá csökkenjen. Ezt a lejtés csökkentésével és a felület érdességének növelésével (pl. fogak építésével) érhetjük el. A burkolás anyaga: beton, betonba rakott terméskő, előregyártott betonelemekből készülhet. Az utófenékburkolás felületét célszerű kúppalást formájúra kiképezni. Ezen a felületen a víz szétterül, ami az árokban összegyűjtött víz szétosztását segíti elő.

Mederátjáró

Kisebb vízfolyásokon keresztülvezethetjük az utakat mederátjárókkal („gázlókkal”) is. A mederátjárót úgy kell kialakítani, hogy az a járművekkel zavartalanul járható legyen és a víz akadálytalan áramlását se akadályozza.

Legmélyebb pontja a patakmederrel azonos szintbe kerüljön, a bevezető és kivezető szakasz legfeljebb 8%-kal lejtjen. A csatlakozó szakaszok közötti nagy töréskülönbségeket olyan sugarú ívvel kell lekerekíteni, amelynek húrmagassága a mértékadó gépjármű szabad magasságánál kisebb.

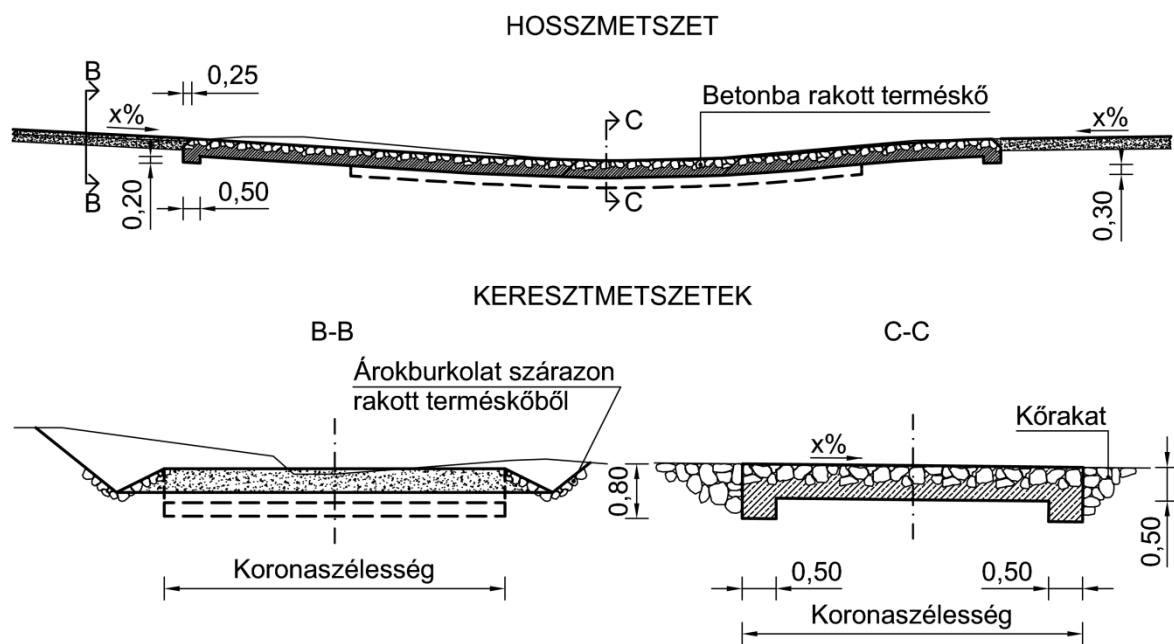
A mederátjáró burkolatát általában *50 cm vastag betonba rakott terméskőből* (30 cm betonba rakott 20 cm vízépítési terméskőből) szokás kialakítani. A burkolat út felőli végeit legalább 50 cm szélességgel és legalább 80 cm mélyen célszerű lemélyíteni. Az útburkolat és a mederátjáró burkolatának jobb csatlakoztatása érdekében a betonba rakott terméskő burkolat végei 45°-os szögben lesarkítva alakítandók ki.

A mederátjáró burkolatának szélessége az út koronaszélességével legyen azonos. Hosszát a csatlakozó útszakaszok emelkedése, illetve lejtése befolyásolja. A mederátjáró előtti és utáni viszonylag nagyobb emelkedő, illetve lejtő kedvezőbb, mint a kisebb. Törekedni kell arra, hogy a közepes vízszint a meder metszésvonalától 5-5 m-nél többel ne nyúljon túl.

A mederátjáró állékonyságára a legfőbb veszélyt a patak jelenti. A patak alávájó, kimosó hatása a felvízi és az alvízi oldalon egyaránt érvényesülhet. Ennek megelőzése érdekében *célszerű a*

mederátjáró meder felőli széleit (legalább 0,50 m szélesen, s legalább 0,80 m mélyre) fogszerűen lemélyíteni, valamint a csatlakozó mederszakaszokat néhány méter hosszon burkolással védeni. A mederátjáróhoz csatlakozó azon árokszakaszokat, amelyeket magasabb vízállások idején a patak vize eláraszthat, burkolattal kell ellátni akkor is, ha a burkolás egyébként nem lenne szükséges.

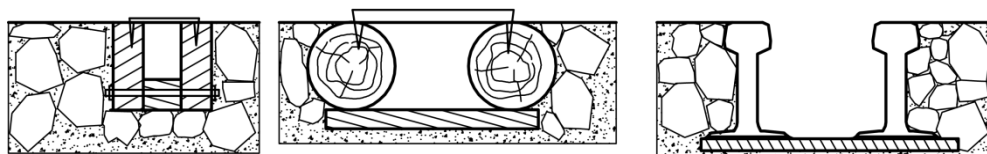
A mederátjáró előnyös megoldásnak csak akkor tekinthető, ha időszakos vagy kis vízfolyásokon való átkelésnél nagy műtárgyat takarítunk meg. Hátránya, hogy „száraz lábbal” nem lehet átkelni rajta. Hirtelen meginduló esőzések zavart, esetenként balesetet is okozhatnak, a téli lefagyás pedig járhatatlanná teheti a mederátjárót. Az olyan mederátjáróknál, ahol az év nagy részében kisvízi állapot jellemző, s így a gyalogos közlekedés akadályoztatott, célszerű a mederátjáró alá kisméretű csőáteresztőt is beépíteni.



Mederátjáró kialakítása

Vízterelő

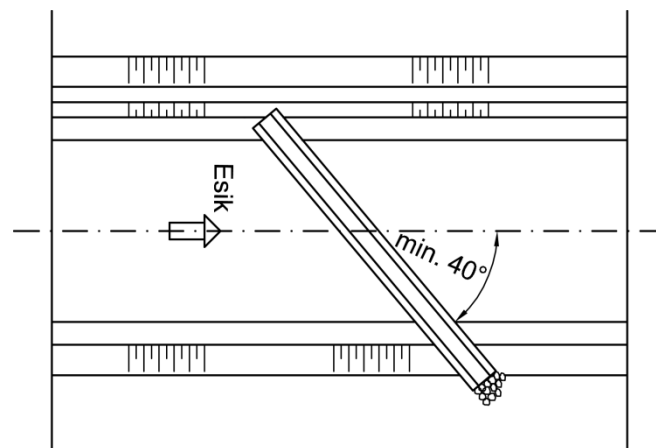
A nagyobb esésű földutak és a kötőanyag nélküli pályaszerkezetek felületi erózióját vízterelő beépítésével lehet megelőzni. Ezek a *felületen lefolyó vizet vezetik el a felületről az oldalárokba*. A vízterelő a járófelületbe keresztirányba elhelyezett, fából vagy acélból kialakított 6–12 cm széles, 12–15 cm mély folyókák. A vízterelő a gépi útfenntartást nehezítik, ezért csak ott alkalmazzuk, ahol feltétlenül szükséges. *Építésük feltétlenül indokolt ott, ahol a merdek földutak burkolt utakhoz csatlakoznak.*



Vízterelő kialakítása

Vízterelőkhelyezése

A vízterelőt ferdén kell elhelyezni úgy, hogy esése legalább 4%-os legyen az öntisztulás elősegítése érdekében. Az út tengelyével bezárt szög azonban ne haladja meg a 40°-t, így a túlzott hossznövekedést kerülhetjük el. A vízterelőket olyan távolságra kell egymástól elhelyezni, hogy a felületen folyó vizet az előtt vezessék el, mielőtt az a felületen eróziót okoz. A vízterelő kiosztását táblázatokból lehet kiválasztani az erdősültség, a csapadék, a záporok és az oldalról folyó víz mennyisége, valamint a helyi tapasztalatok alapján.



Vízterelőkhelyezése

Vízterelőkhelyezése erdészeti utaknál

Pályaesés (%)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Távolság (m)	72	56	48	44	40	36	34	32	30	28	27

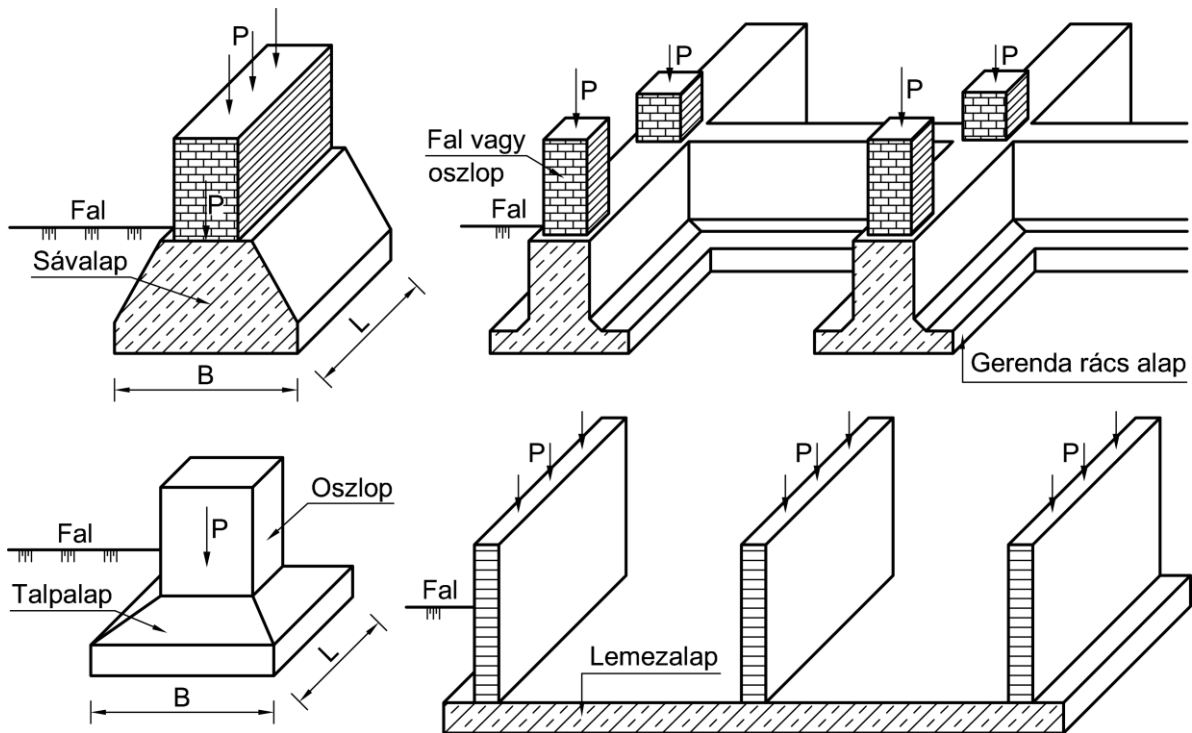
MŰTÁRGYAK ALAPOZÁSA

Az erdészeti utak műtárgyai rendszerint kisméretűek, ezért legtöbbször elég síkalapozást tervezünk. A tervezést talajmechanikai ismeretek alapján, a szabványokban előírt módon kell elvégezni.

Síkalapozás fajtái

A síkalapozás olyan alapozási mód, amelynek az alaptest az építmény terheit alsó támaszkodó felületével adja át a felszínhez közel fekvő talajrétegekre. Az alaptest oldalfelületén átadott terhelés az előbbiekhöz viszonyítva elhanyagolhatóan csekély. A síkalapokat az alaptest alakja szerint csoportosítjuk:

- *Talpalap*: egy – ritkán két – pillért támaszt alá, rövidebb (B) és hosszabb (L) oldal aránya $B : L \geq 1 : 3,5$, alakja négyzet (négyzet, téglalap), sokszög vagy kör;
- *Sávalap*: a végigmenő falazatot folyamatosan támasztja alá, oldalainak aránya $B : L < 1 : 3,5$, a fal anyagára megengedett feszültség jelentősen nagyobb, mint a talaj határfeszültsége, ezért a sávalap konzolszerűen túlnyúlik a falon, de a felmenőfal és a sávalap szélessége meg is egyezhet;
- *Lemezalap*: a lemezalap a teljes építményt vagy annak egy részét (több végigmenő falat, oszlopot) egyetlen összefüggő szerkezetként támasztja alá.



Síkalapozás fajtái

Alapárok készítése

Az alapárok kiemelésére általában hidraulikus árokásó kotrót használhatunk, kisebb munkáknál esetleg kézi földkitermelést is végezhetünk. A kitermelt talajt tehergépkocsival a kijelölt deponálási helyre kell szállítani vagy a helyszínen be kell építeni. Nagyobb alapgödör durva földmunkáit dózerrel is elkészíthetjük, amikor a kitermelt talajt rakodólappal rakjuk a szállítójárműre. A munkagödör oldalfalának kialakítása függ:

- a talaj fizikai jellemzőitől,
- a rendelkezésre álló területtől,
- a talajvíz szintjétől,
- a víztelenítés módjától,
- a gödör nyitva tartásának idejétől,
- a szomszédos épületek talajmozgásra való érzékenységétől.

A munkagödör oldalfala ennek megfelelően kialakítható:

- rézsúsen,
- dúcolva,
- horgonyozva,
- körülzárással.

Munkagödör rézsús kialakítása

A munkagödör oldalfalát legegyszerűbben rézsúsen alakíthatjuk ki. A megengedett rézsúhajlásokat a talajtípus és a rézsúmagasság függvényében táblázat foglalja össze.

A kohézió nélküli szemcsés talajok rézsűhajlását a talaj belső súrlódási szöge határozza meg, amellyel mint természetes rézsűvel a határolás kialakítható. A szemcsés talajok függőleges falban is megállhatnak a telítetlen talajokban ($0 < S < 1$) kialakuló kapilláris kohézió (látszólag kohézió) miatt. Ezt azonban nem szabad kihasználni, mert kiszáradva ($S = 0$), vagy telítődve ($S = 1$) a jelenség megszűnik, és a fal leomlik. Ezekben a talajokban csak rövid ideig szabad kis magasságú (max. 0,80 m) függőleges falat építeni.

A kohéziós talajokban a rézsű hajlása a kohéziótól és a rézsű magasságától függ. Ezek a talajok h_0' magasságig függőleges falban is megállnak, amelynek figyelembe vehető értéke a talajmechanikai ismeretek alapján:

$$h_0' = \frac{2,67c}{\gamma} \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\Phi}{2}\right)$$

ahol:

- c = kohézió (kN/m^2),
- γ = térfogatsúly (kN/m^3),
- Φ = talaj belső súrlódási szöge.

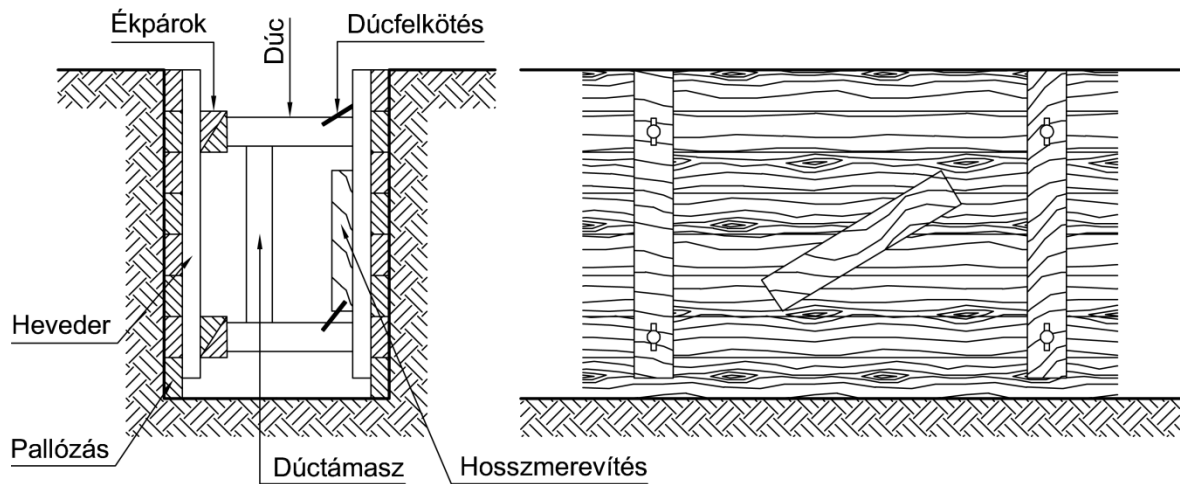
Munkagödör oldalfalának biztosítása dúcolással

Ha a munkagödör oldalfala nem alakítható ki rézsűsen gazdaságossági okok vagy egyéb körülmények miatt, akkor az oldalfalat dúcolással kell biztosítani. A hazai munkavédelmi előírások szerint a talajminőségtől függően dúcolni kell, ha a munkagödör függőleges falának magassága az alábbi értékeket meghaladja:

- iszapos talajban, nedves homokban: 0,80 m,
- gyenge és nem állékony talajokban: 1,00 m,
- közepes tömörségű talajban: 1,20 m,
- tömör talajban: 2,00 m.

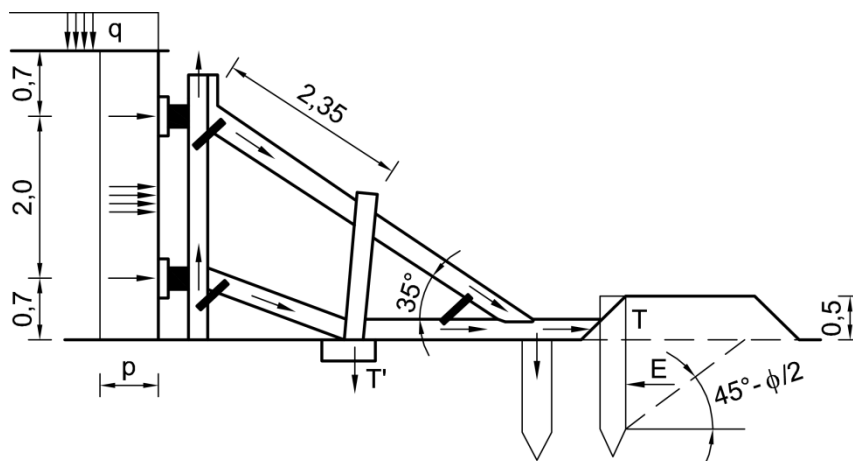
A dúcolatot – amely fogalomba a felületet befedő pallózás is beleértendő – a gödör megnyitása után közvetlenül vagy közben építik be. A dúcolat feladata a talaj megtámasztása, de nem feladata a vízzárás, ezért általában talajvízszint fölött használhatjuk.

A dúcolat talajjal közvetlenül érintkező része a *pallózás*, mely 48 mm vastag szabványos puhafa állványpallóból készül. A pallók iránya folyásra hajlamos talajokban függőleges, folyásra nem hajlamos talajokban vízszintes. A vízszintes pallózat között 10–20 cm széles réseket lehet hagyni. A pallókra jutó terheket a dúcok felé a *hevederek* közvetítik. Ezek iránya a pallóra merőleges és egymástól 1,50–2,50 m távolságra helyezkednek el. A dúcok keskeny munkagödörben vízszintesek és a két átellenes pallózást feszítik szét. A dúcok anyaga általában gömbfa. A dúcokat *ékpár* feszíti meg. Ezek hajlásszöge legyen kisebb, mint a felhasznált faanyagok közötti súrlódási szög (pl.: tölgy-tölgy esetében 15–20°), mert így az ékek önzárása biztosított.

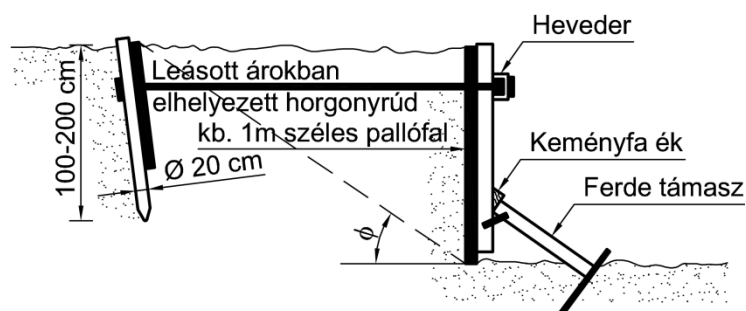


Dúcolat részei

Széles munkagödörben a dúcolat ferde támaszok alkotják. Olyankor, amikor a széles alapgödörben nincs elegendő hely, a dúcolat hátrafelé is kihorgonyozható. A horgonyként szereplő cölöpöt olyan távol kell elhelyezni a zsaluzattól, hogy az a szakadólapon kívülre kerüljön.



Széles munkagödör dúcolata ferde támasszal



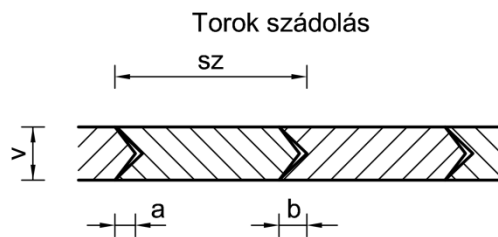
Széles munkagödör dúcolata kihorgonyzással

Munkagödör körülzárása szádfalazással

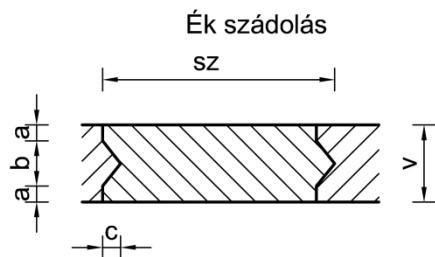
A talajvízszint alá kerülő alapozási sík esetében a munkagödör kerületét szádfalazással zárjuk körül. A szádfalazás lényegében abban különbözik a dúcolástól, hogy az vízzáró megtámasztást biztosít és a munkagödör megnyitása előtt készül. A szádfal anyaga fa, acél vagy vasbeton. A szádpallókat úgy

verik le egymás mellé, hogy azok zárt falat alkossanak és az alapgödör tervezett alsó szintje alá nyúljanak. A szádfal merevítésére szolgáló bordázatot a szádpallók leverése előtt lehajtott *vezércölöpök* képezik. A szádpallók beállítására, a pallók lehajtás közbeni vezetésére, valamint a levert szádfal együttdolgozásának biztosítására vízszintes *fogófákat* (fogóárokat, mellgerendákat) használnak.

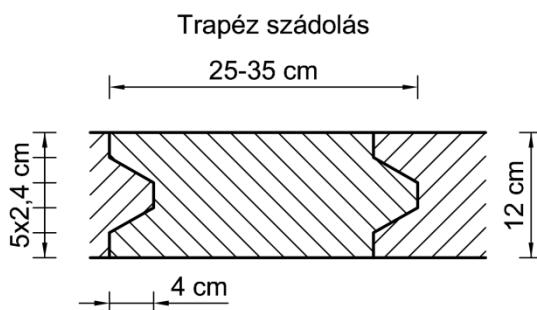
A fa szádfalak fából készített szádpallókból és vezércölöpökből állnak. A pallók horonnyal és eresztékkel kapcsolódnak egymáshoz. A pallók alsó végét élezni kell és az egyik oldalon levő sarkukat 1:3-1:5 rézsúvvel le kell vágni, így leveréskor a palló az előzőleg levert pallóhoz szorul. Kemény talajban a pallók végét megfelelő vastagságú bádoglemezzel lehet a roncsolódástól megvédeni.



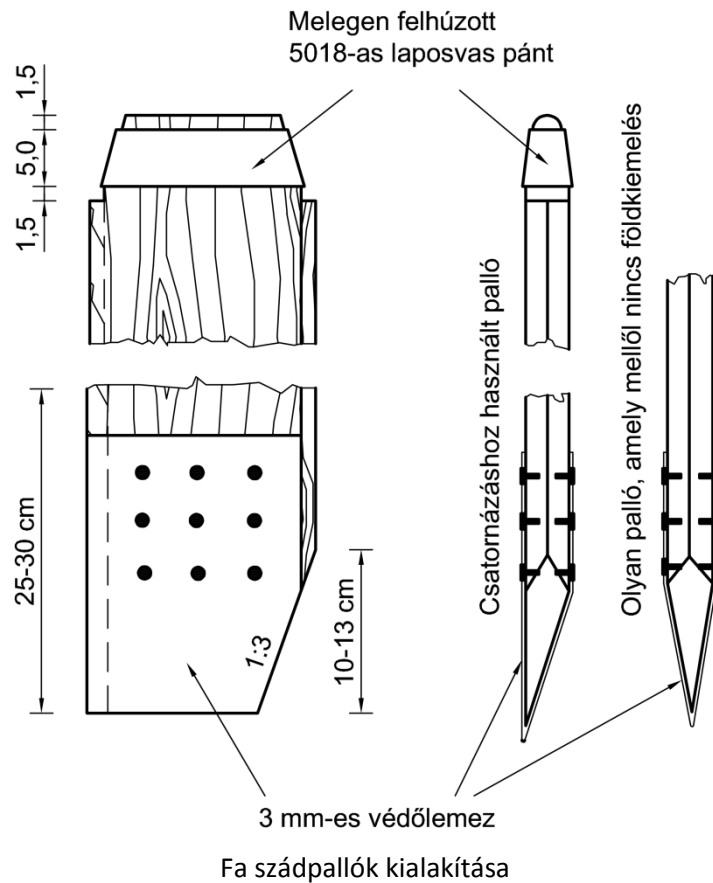
v (cm)	a (cm)	b (cm)	sz (cm)	
			min.	max.
5	1,3	1,7	20	25
8	2,3	2,7	20	30



v (cm)	a (cm)	b (cm)	c (cm)	sz (cm)	
				min.	max.
8	1,5	5	1,7	20	30
10	2,5	5	1,7	20	35
12	2,0	8	2,7	20	35

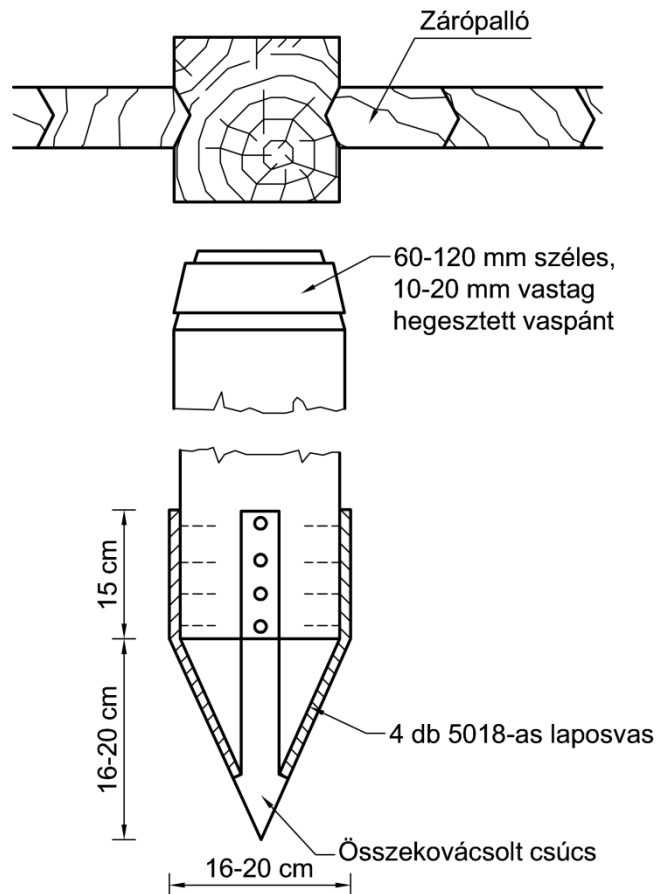


Fa szádpallók hornyolása



Vezércölöp kialakítása

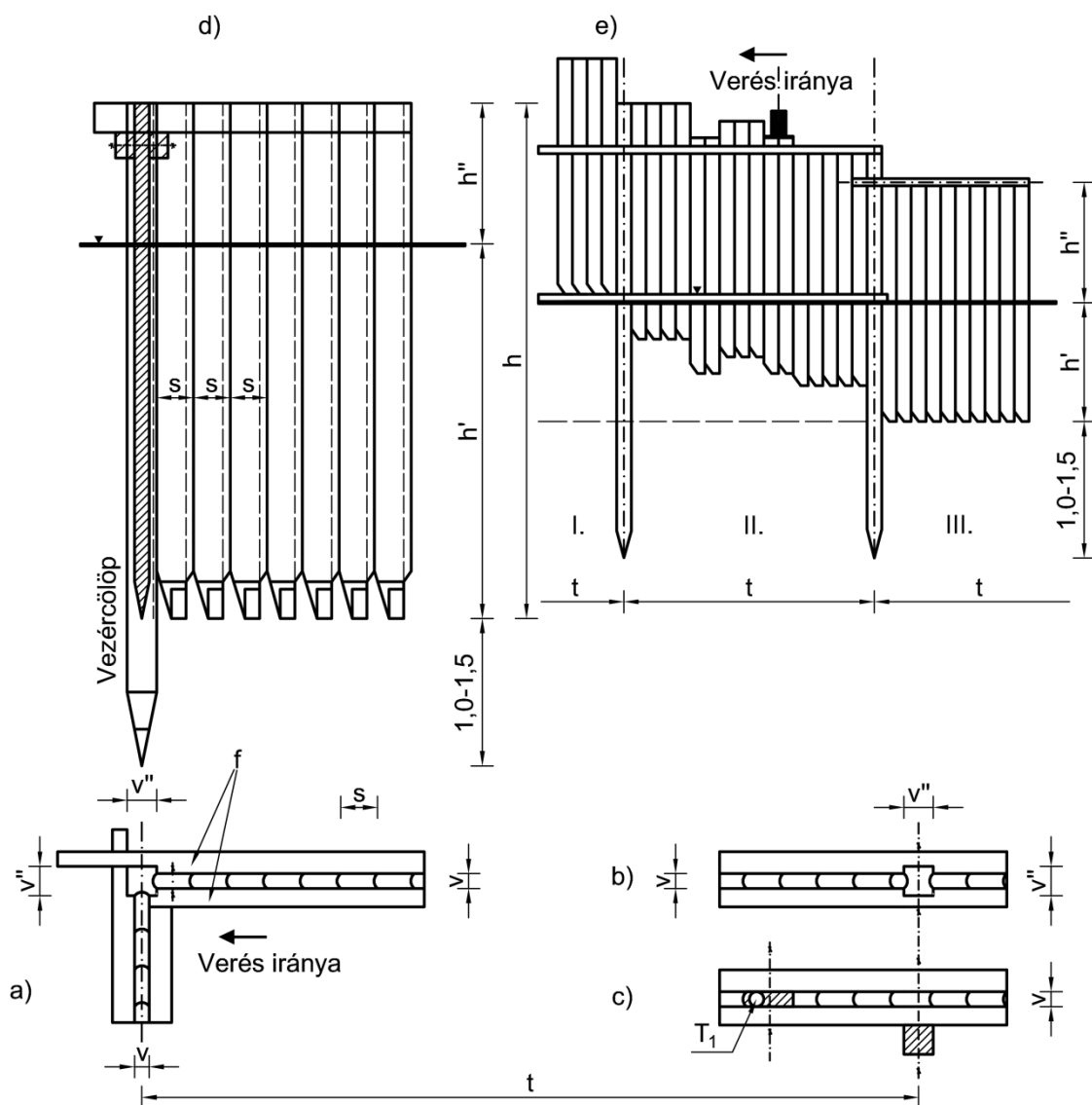
A vezércölöpök 16×16 vagy 20×20 cm keresztmetszetű facölöpök, amelyek általában 1 m-rel hosszabbak a szádpallónál. Alsó végük kovácsoltvas saruval ellátott csúcsban végződik. Felső végüket laposvas gyűrű fogja össze és védi meg a szétforgácsolódástól. A vezércölöpök mindkét oldalon horonnyal vannak ellátva, ezért az egyik oldalról hozzájuk csatlakozó pallót mindkét oldalon eresztékkel kell ellátni. Ez a többi pallótól eltérő kialakítású palló a zárópalló.



Vezércölöp kialakítása

Fa szádfalak építése

A fa szádpallókat kézi vagy gépi működtetésű verőkossal hajtják le. Először a vezércölöpöket kell lehajtani. Ezek egymástól $t = 3\sim 5$ m távolságra, illetve az alapgödör töréspontjára kerülnek. A t távolságot úgy kell megválasztani, hogy az az s pallószélesség egész számú többszöröse legyen. Ezután a fogópárok közé elhelyezzük a szádpallókat és 1,0~1,5 m-es lépcsőkben egyesével vagy párosával leverjük őket. A szádpallók pontosabb elhelyezése és megvezetése érdekében két fogópárt célszerű használni. A felső fogófákat a leverés utolsó szakaszában le kell szerelni, és a leverés utáni végső helyzetben kell visszaszerelni, amikor az alsó fogófákat távolítjuk el.

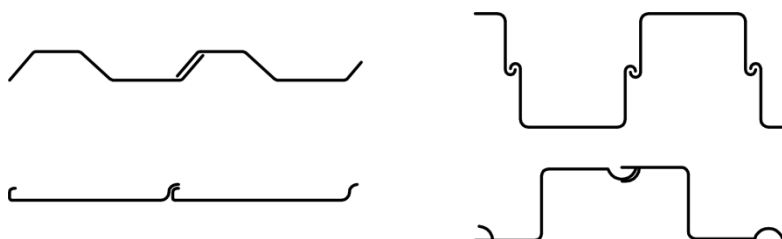


Fa szádfalak építése

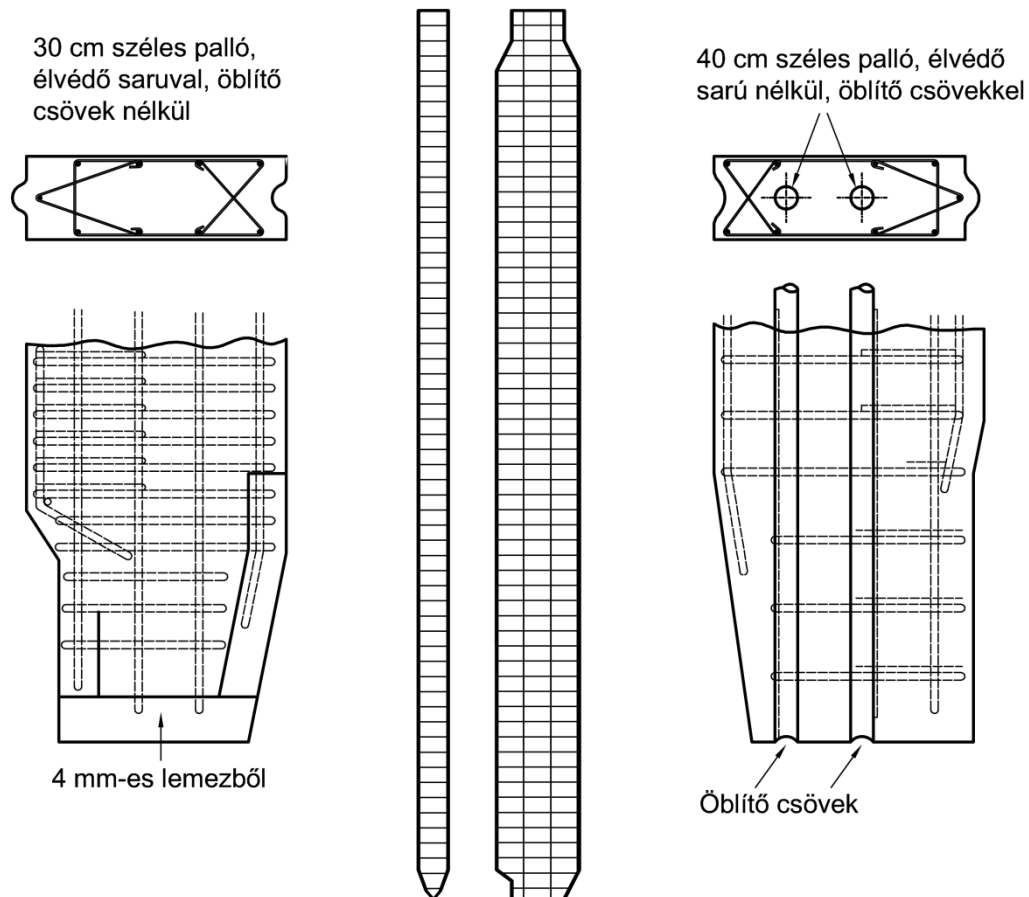
Acél és vasbeton szádpallókból készülő szádfal

Nehéz talajviszonyok között acél szádpallókat célszerű használni. Az acél szádfalak vezércölöp nélkül készülnek, mert a szádpallók horony-eresztékei húzóerő felvételére is képesek, tehát nem szükséges azok összeszorítása.

A szádfal készülhet vasbeton szádpallókból is. Ezek nagy súlyuk miatt nehezen kezelhetők, ezért azokat főként bent maradó szádfalakként használják.



Acél szádpallók kialakítása



Vasbeton szádpalló keresztmetszete

Munkagödör körülzárása gáttal

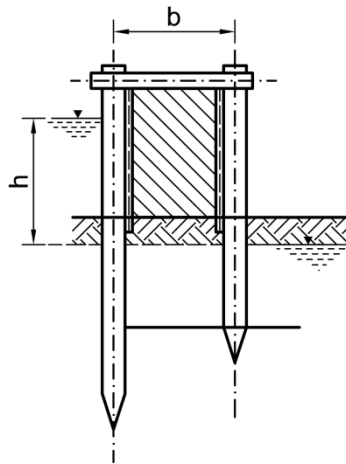
Élővizekben a munkatér körülzárására zárógátat, vagy kettősfalú jászolgát használhatunk.

Zárógát

A zárógátaknál jól záró szádpallókból készített szádfal biztosítja a vízzárást. A két egymáshoz kapcsolt szádfal közé a gát állékonyságát biztosító kitöltő talaj kerül. Külön megtámasztásról nem kell gondoskodni, azoknak önmagukban kell állékonynak lenni, mint egy egységes tömböt képező súlytámfalnak.

Jászolgát

A jászolgát kisebb munkagödrök körülzárására használjuk. Falai egymásra helyezett, hevederrel összefogott hornyolatlan pallósorból állnak, amelyet nem kell a talajba leverni. A talajba vert cölöpökkel rögzített pallófalak közötti teret vízzárást biztosító talajjal kell kitölteni. A jászolgát stabilitását belső vagy külső dúcolás biztosítja.



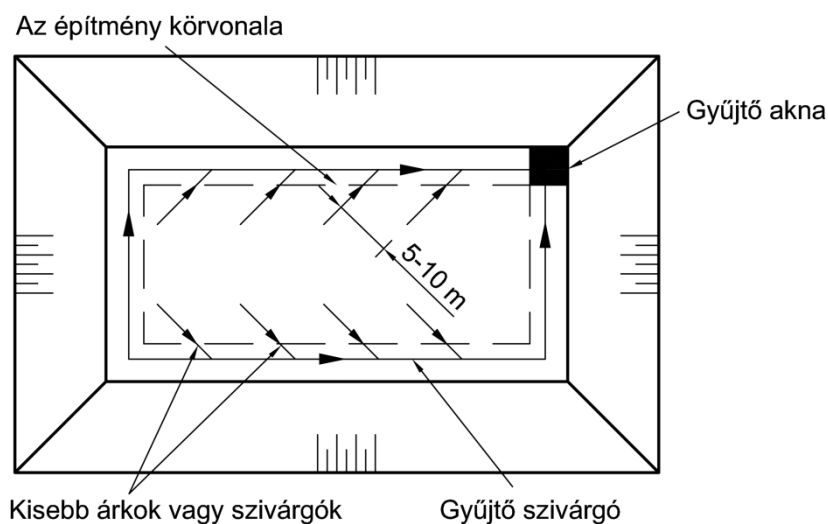
Jászolgát

Alapgödör víztelenítése

Az alapozási munkák megkívánják, hogy az alapgödörbe kerülő vizet folyamatosan eltávolítsuk. Ennek legegyszerűbb módja, ha az alapgödörbe kerülő vizet nyílt árokrendszerrel összegyűjtjük és *gyűjtőaknába* (zsompba) vezetjük, ahonnan kiszivattyúzzuk. Az ilyen nyílt víztartásos víztelenítés feltétele, hogy a víz ne okozzon kimosódást, fellazulást, tehát lassan áramoljon a munkagödör felé. Ez a kis vízáteresztő-képességű talajoknál oldható meg. Szemcsés talajokban csak akkor alkalmazható ha nem okozunk hidraulikus talajtörést. Általában tehát ott adott a lehetőség, ahol az alapozás síkjával nem kell lényegesen mélyebbre menni a talajvíz szintjénél.

A munkagödör alján 2% fenékeséssel az akna felé lejtő árokhálózatot kell létesíteni. Az alapgödör kerülete mentén gyűjtőárkot kell kiképezni, amely az oldalról leszivárgó vizet a zsompba vezeti. Ezt az árkot a földkiemeléssel párhuzamosan mélyíteni kell. Nagy kiterjedésű munkagödrök víztelenítésére egymástól 5~10 m-re lévő mellékszivárgók vagy árkok is kialakíthatók. Ezek a gyűjtőárkok felé lejtnek, és oda csatlakoznak.

Az alap beépítése előtt az alapgödör fenekén lévő felső fellazult, felázott elszennyeződött réteget el kell távolítani. Kötött, anyagos és felázásra hajlamos gödörfenékre min. 10 cm vastag homokos kavics réteget kell elhelyezni, amely előnyösebbé teszi a víztelenítést és a súrlódást is növeli. A munkagödört nem célszerű azonnal teljes mélységig kiemelni, hanem az utolsó réteget csak közvetlenül az alap építése előtt szabad eltávolítani, a homokos kavicssterítés vastagságát pedig a mélységbe be kell számítani. A gödör betonnal érintkező felületét betonozás előtt nedvesíteni kell.



Gyűjtőárok-hálózat kialakítása

Mélyalapozások

Mélyalapozásnak nevezzük azokat az alapozási módokat, amelyekkel az építmények terheit közvetítőelemeken keresztül a mélyebb talajrétegekre adjuk át. Tervezésük és építésük akkor indokolt, ha a síkalapozást valamilyen ok kizárja.

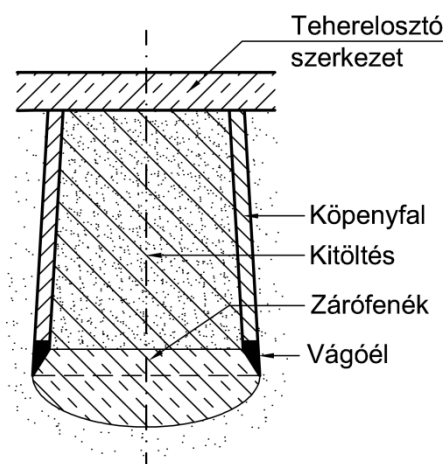
A mélyalapozásokat három csoportba oszthatjuk:

- kút- és szekrényalapozások,
- cölöpalapozások,
- résfalas alapozások.

Kút- és szekrényalapok

A kút- és szekrényalapok süllyesztett alapok. Az alaptestet határoló kút, illetve szekrénystruktúrákat a felszínen készítik el, majd lesüllyesztik a tervezett mélységbe. A szekrényalapok alakja és mérete megegyezik az építményével, a kútalapok rövid, zömök cölöpök-ként, pontonként támasztják alá az építményt.

A kutak anyaga általában vasbeton, de kis átmérő és könnyű kotrási viszonyok között csömöszölt beton vagy előregyártott elemekből (kútgyűrűkből) is építhetők. A kútalap részei: a vágóél, és a köpeny. A vágóél a kút legalsó megerősített része, ami süllyesztés közben átvágja a talajt, a süllyesztést akadályozó tárgyakat, valamint felveszi és szétosztja az egyenlőtlen felfekvésből származó erőket. Kisebb igénybevételeknél betonekből, nagyobbaknál acélból készül. A vágóél fölött helyezkedik el a betonekből készített köpenyfal. A köpenyfal alakja lehet párhuzamos-függőleges, azonban a süllyesztési ellenállás csökkentése miatt kedvezőbb, ha a kút alsó átmérője nagyobb mint a felső. A kutak minimális belső átmérője 1,20m-nél kisebb nem lehet.



Kútalap részei

A kút süllyesztése kézi, vagy gépi kotrással történhet. Ha a hidraulikus talajtörés veszélye nem áll fenn, a nyílt víztartásos víztelenítés szivattyúzással történhet, ellenkező esetben víz alatti kotrással kell a talajt eltávolítani. A süllyesztést a teherbíró talajrétegig kell végezni, majd a kutat sovány betonnal kell kitölteni. A víz megjelenésekor a kút aljára víz alatti betonréteg kerül, majd ennek megszilárdulása után a kutat vízteleníteni kell. A kutat ezután ugyancsak soványbetonnal kell kitölteni. Az alapozásoknál általában több kutat süllyesztünk le, amelyeket felül teherelosztó vasbetonlemezzel fogunk össze. Ezt a lemezt a kutat kitöltő betonba vasbetéttel kell lehorgonyozni.

A süllyesztés közben célszerű a vágóél által kivágott föld és a köpenyfal között keletkező üreget megtámasztani, mert az ebbe visszahulló talaj beszoríthatja a süllyesztendő kutat.

Megtámasztás nélkül a talaj is beomolhat és ún. süllyesztési tölcser keletkezhet, amely a környező épületeket veszélyezteti. Ennek elkerülésére és a talaj valamint a köpenyfal közötti súrlódás csökkentésére a keletkező üreget kis súrlódású anyaggal –pl. gyöngykavicssal vagy sűrű bentonitzaggal kell kitölteni.

Cölöpalapozás

Cölöpalapozásról akkor beszélünk, amikor az építmény terheit a talaj felé függőlegesen vagy ferdén levert cölöpök továbbítják. A cölöpalapok több – helyszínen vagy előregyártott – cölöpből állnak, amelyet monolit vagy előregyártott *fejgerenda* vagy *vasbetonlemez* fog össze.

A cölöpök anyaga lehet fa (általában ideiglenes jellegű építménynél) beton, vasbeton, feszített beton vagy acél.

A cölöpalapokat a cölöpök lehajtása és készítése szempontjából két fő csoportra osztjuk:

- a talajkiszorítással készülő cölöpöket veréssel, vibrálással, csavarással vagy sajtolással juttatjuk a talajba,
- a talajkiemeléssel készülő cölöpöket öblítéssel lehajtott, kifúrt lyukba elhelyezett előregyártott cölöpökből, vagy fúrt lyukba helyszínen készülő cölöpökből építjük meg.

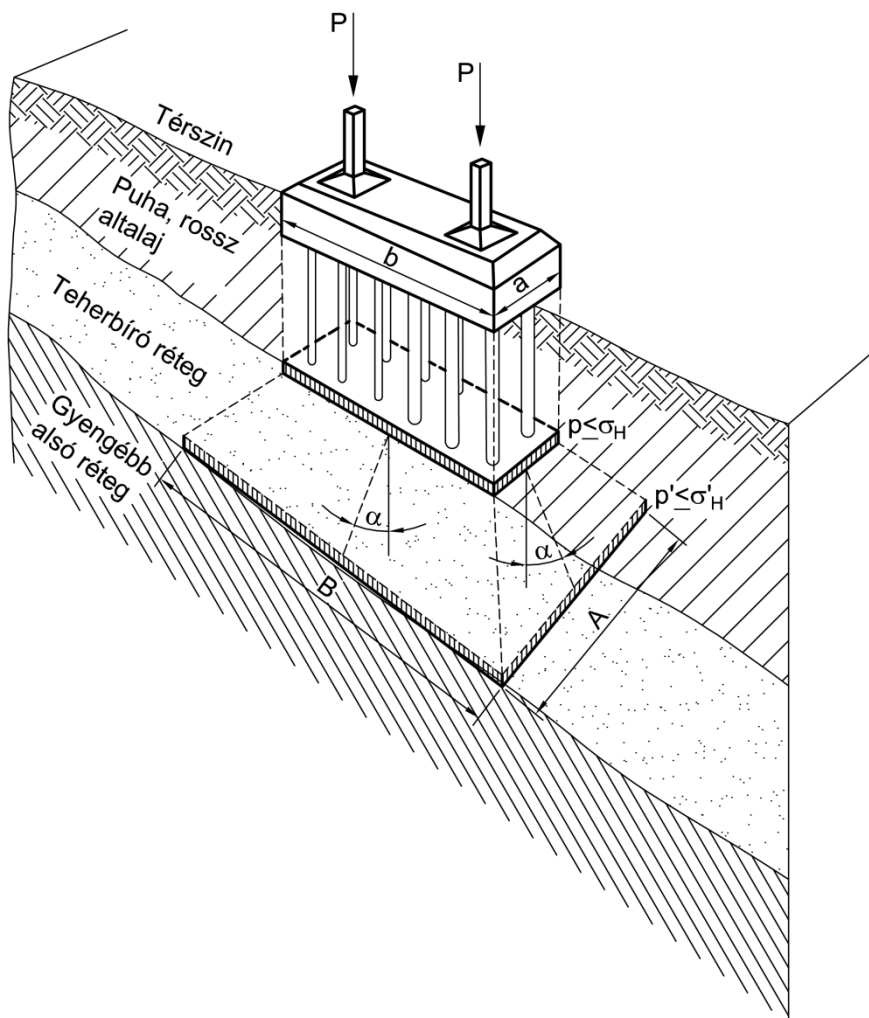
A teherátadás módja szerint megkülönböztetünk:

- támaszkodó cölöpöket,

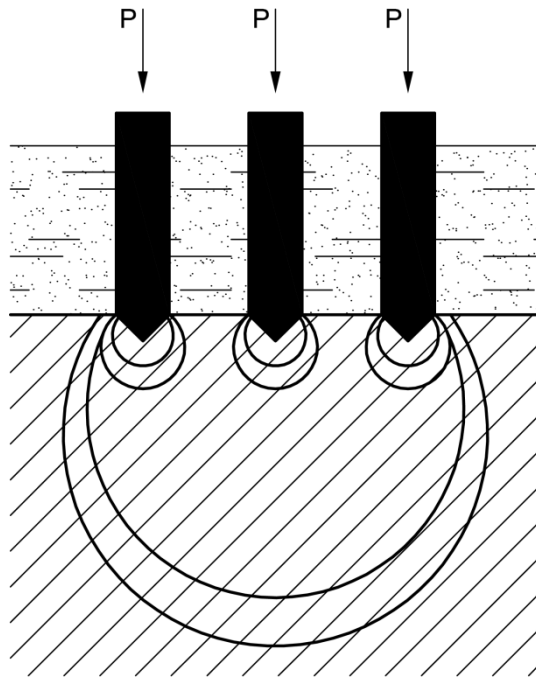
- lebegőcölöpöket.

Támaszkodó cölöpök

A teher nagy részét a csúcsán adja át a környező talajra. Akkor használhatjuk, ha a cölöpök csúcsa alatt teherbíró talaj (szikla, tömör kavicsréteg stb.) van. A támaszkodó cölöpöket nyomott rudakként kell méretezni általában a kihajlást figyelmen kívül hagyva. Kihajlásra is méretezni kell a cölöpöket, ha azok szabadon vagy vízben állnak. A cölöpkiosztást úgy kell megtervezni, hogy az egy cölöpre jutó terhelésből a cölöpcsúcsok síkjában keletkező feszültség ne haladja meg azt a feszültséget, amely az ugyanilyen mélységben létesített síkalap határfeszültsége volna. A feszültségek számításánál figyelemmel kell lenni az egymásra halmozódásra (szuperponálódásra) és arra, hogy a nagyobb mélységekbe lehatoló feszültségek a mélyebben fekvő rétegekben se okozzon a rétegre megengedettnél nagyobb feszültséget.



Feszültségszámítás elve támaszkodó cölöpöknél



Feszültségek lehatolása támaszkodó cölöpcsoport esetében

Egy cölöpszlop teherbírása a csúcsellenállás alapján:

$$P_t = \sigma_t \cdot F$$

ahol:

- F = cölöpszlop keresztmetszete (m^2),
- σ_t = talaj törőfeszültsége (kN/m^2).

Támaszkodó cölöpből álló alap teherbírása az egyes cölöpök teherbírásának összege.

Lebegőcölöpök

A lebegőcölöpök a terhelést köpenyükön és csúcsukon adják át a környező talajnak. Itt a csúcsellenállás nem, vagy csak elhanyagolható mértékű, a teherviselésben zömmel a köpenysúrlódás játszik szerepet. A lebegőcölöpök teherbírását megadó közelítő gyakorlati számítások a cölöp törőterhét ennek megfelelően két részre bontják:

- csúcsellenállásra,
- köpenysúrlódásra.

A lebegőcölöp teherbírását megadó képletek általános formája:

$$P_t = F \cdot \sigma_t + k \cdot f$$

ahol:

- F = a cölöp keresztmetszeti területe (m^2),
- σ_t = a cölöpcsúc alatti talaj törőfeszültsége (kN/m^2),
- k = a cölöpköpeny felülete (m^2)

- f = köpenysúrlódási tényező.

A lebegőcölöp teherbírását meghatározó képletben szereplő tagok kiszámítására különböző összefüggést hoztak létre, amelyekből számított eredmények jelentős szórást mutattak. A sok képlet közül azokat használjuk manapság, amelyekkel a ténylegesen mért teherbírási értékeket a legjobban megközelítjük.

Lebegőcölöpből álló cölöpcsoport teherbírása kisebb lesz, mint az egyes cölöpök teherbírásának összege. A lebegő cölöpök tervezésénél figyelembe kell venni, hogy puha agyagban, illetve az építmény kisebbik alaprajzi méreténél rövidebb cölöpök hatástalanok. Fontos, hogy a cölöp csúcsa ne közelítse meg a puha agyagréteget 1,5 m-nél jobban.

A statikus teherbírás-meghatározási módszeren kívül vannak tapasztalaton alapuló szabályzati előírások, verési képletek. A számítási eljárások mind csak közelítő eredményt adnak, ezért a cölöpök teherbírását megnyugtató pontossággal csak próbaterheléssel lehet meghatározni. A vonatkozó magyar szabvány előírja, hogy egy munkahelyen készített cölöpök 1%-át, de legalább 2 cölöpöt kell próbaterhelésnek alávetni.

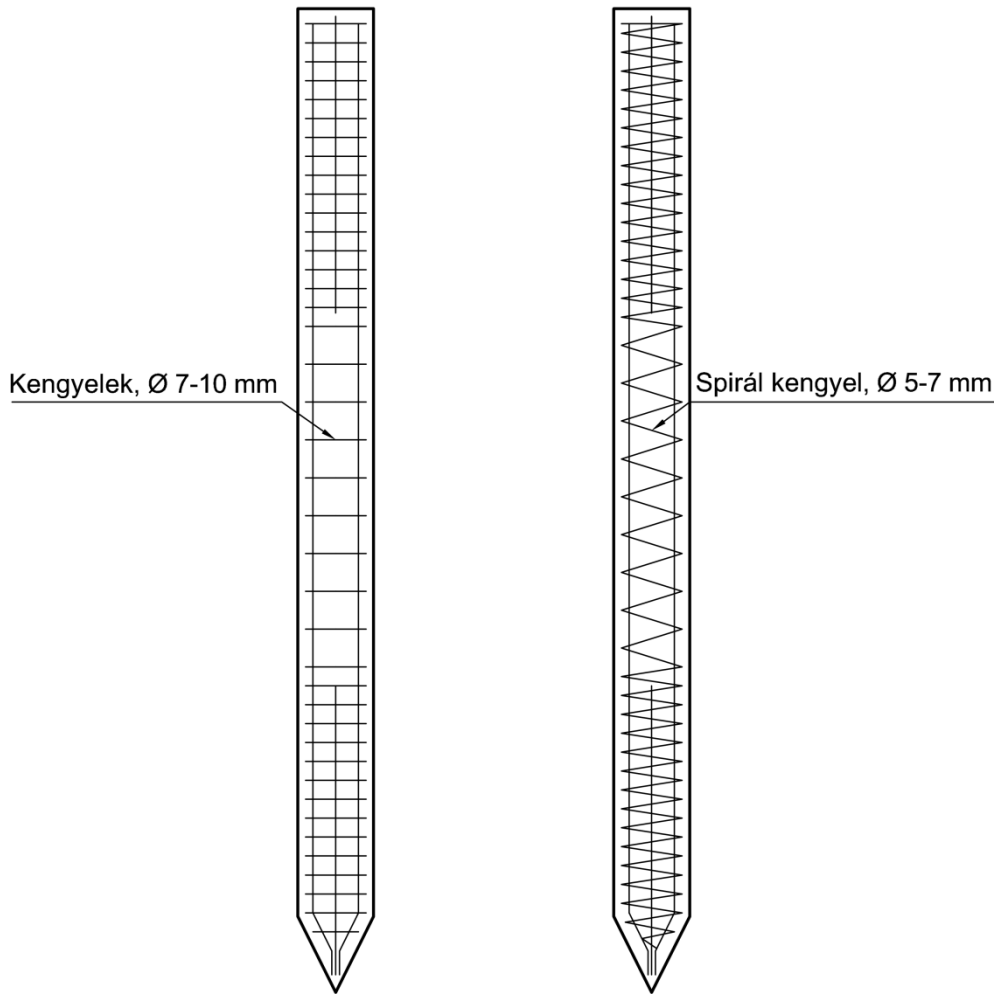
Cölöpalapozások építése

Az erdészeti gyakorlatban általában előregyártott vasbeton cölöpöket használunk, amelyek keresztmetszete négyzet, de lehet három-, hat- vagy nyolcszögletű is. A cölöpöket cölöpverő kossal verik le. A cölöpverés szempontjából a verőkos súlya, ill. a kos és cölöp súlyának aránya jelentős, amely a percenkénti ütésszámtól is függ. A cölöpverésről jegyzőkönyvet kell vezetni, amelyben az egy ütéssorozathoz tartozó ütőmunka hatására bekövetkező behatolást jegyezzük fel.

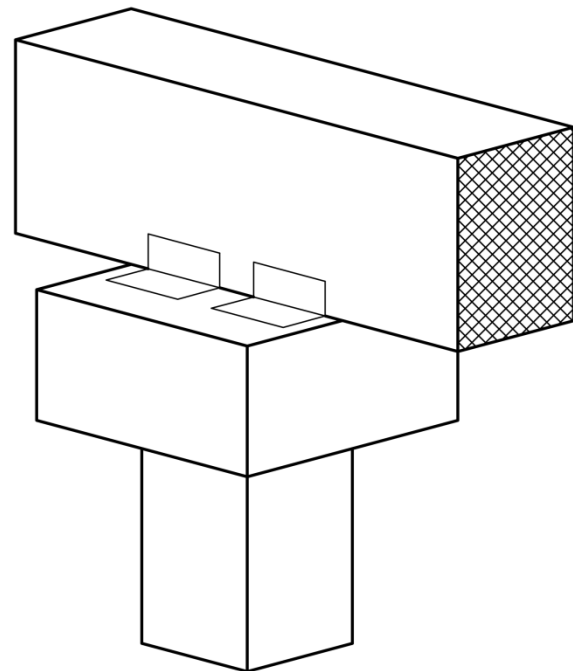
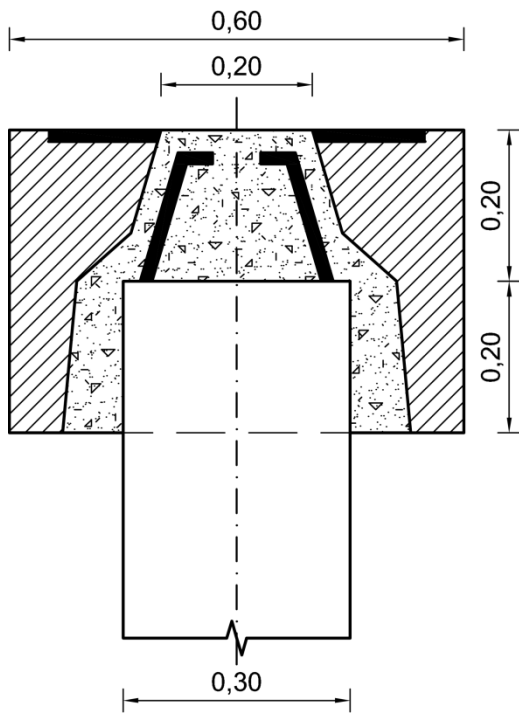
A cölöpverés befejezése után a *cölöpök fejét cölöpráccsal kell összefogni*. Ennek feladata, hogy a cölöpök relatív elmozdulását megakadályozza, és a terheket egyenletesen elossza. A cölöpök felső végét ehhez 30–50 cm hosszon el kell verni és az így szabaddá tett hosszvasbetéteket a cölöprácsba be kell betonozni. A cölöprács előregyártott elemekből is készíthető. Ilyenkor a cölöpöket pontosan azonos magasságig leverik és fejelemet helyeznek rá. Az előregyártott fejelemeket betonozással rögzítjük a cölöp végéhez. A fejelemben kialakított üreg lehetővé teszi a cölöpök magassági helyzetében, illetve a sorok egyenes vonalában lévő kisebb szabálytalanságok kiegyenlítését. Az így elkészített szabályos magasságú és egyenletes sort alkotó cölöpfejekre elhelyezhetők az ugyancsak előregyártott összekötő gerendák.

A kész cölöprácsot mélyenfekvőnek nevezzük, ha az alja érintkezik a cölöpöket befogadó talajtömeg felszínével, és magasan fekvőnek, ha a cölöpök hosszának egy része szabadon vagy vízben áll.

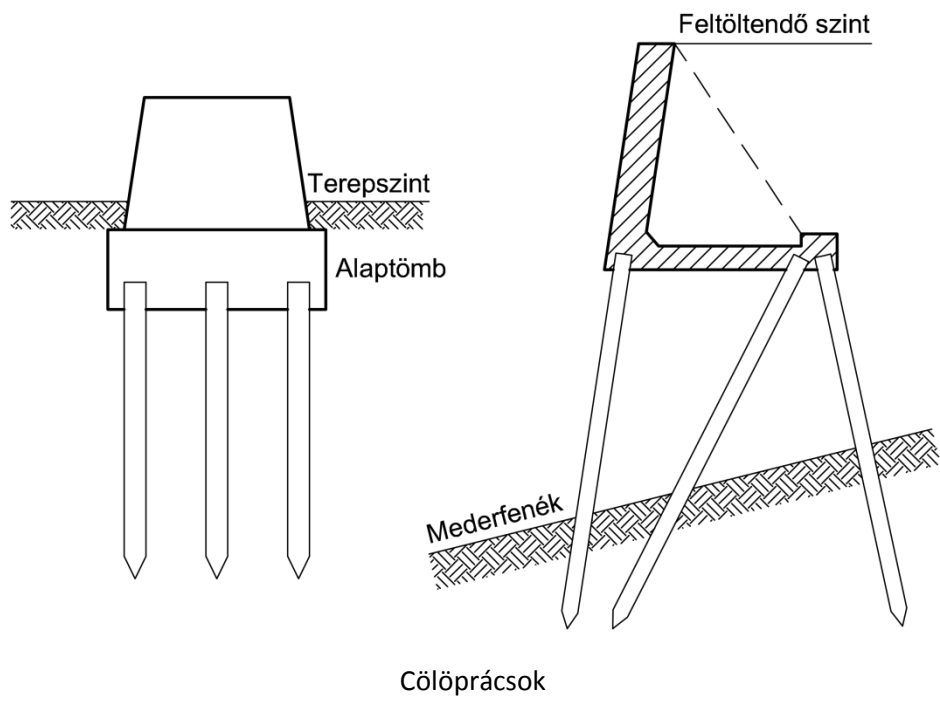
Takarás min. 2 cm



Vert vasbeton cölöp



Előregyártott fejelem és cölöp



ÚTÉPÍTÉSI ANYAGOK

ÚTÉPÍTÉSI ANYAGOKRÓL ÁLTALÁBAN

Az útpályán lebonyolódó forgalom terheit a földmű és a pályaszerkezet együttesen viseli, ezért mindkettőnek megfelelő teherbírással, illetve a pályaszerkezet legfelső rétegének megfelelő felületi tulajdonságokkal kell rendelkezni. Erdészeti utak pályaszerkezetének tervezésekor és építésekor a forgalom igényeinek megfelelő, fenntartható útpályát kell létrehozni az ezt kielégítő anyagok felhasználásával.

Erdészeti utak pályaszerkezetének építéséhez felhasznált anyagok

Az utak pályaszerkezetének építéséhez:

- kőnemű anyagokat,
- kötőanyagokat,
- másodlagos ipari nyersanyagokat

használunk fel.

A kőnemű útépítési anyagok a pályaszerkezet teherbíró vázát alkotják. A kötőanyagok a pályaszerkezetek vázát kötik össze (pl.: bitumen, cement stb.) A másodlagos ipari nyersanyagok helyettesíthetnek kőnemű anyagokat és kötőanyagokat egyaránt.

A különböző útépítési alapanyagokból, különféle eljárásokkal, műszakilag egyenértékű pályaszerkezeteket lehet előállítani. Az útépítési alapanyagok kiválasztásánál ezért különböző szempontokat kell figyelembe venni.

Kötőanyagként a bitumeneket célszerű választani, mert ennek technológiája terjedt el Magyarországon, ennek alakult ki a szellemi és műszaki háttere. A cement felhasználásának szorosabb technológiai kötöttségeit az erdészeti útépítésben nem lehet maradéktalanul betartani. Kivétel ez alól a cementes talajstabilizáció, amelyet a hazai talajadottságok miatt széles körben lehetne alkalmazni.

A pályaszerkezetek nagy tömegét alkotó különböző útépítési kőanyagok közül a megfelelőt a:

- technológiai-műszaki,
- közgazdasági,
- környezetvédelmi

szempontok együttes mérlegelésével lehet kiválasztani.

Fontos, hogy a kötőanyag és a kőanyag technológiai szempontból megfeleljen egymásnak és a technológiának megfelelő műszaki háttér, illetve az ennek megfelelő technológia rendelkezésre álljon.

Az útépítési anyag ára

Az építéstechnológiai kérdések mellett a költségek várható alakulása a másik döntő szempont. Az árat az alapanyag értéke, a kitermelés, a feldolgozás, a szállítás és a készletezés költségei határozzák

meg. Az anyag értéke, a kitermelés, a feldolgozás és a készletezés költségei viszonylag alacsonyak. Az ár szempontjából a szállítási költségek lesznek mértékadóak. Célszerű ezért a kis értékű, de nagy tömegben felhasznált anyagot az útépités helyéhez közel beszerezni. Előnyben kell részesíteni a helyi anyagokat, amelyeknek stabilizációk formájában kedvező műszaki tulajdonságai is vannak.

Környezetvédelmi szempontok az anyaggazdálkodásban

A környezetvédelmi szempontoknak megfelelő anyaggazdálkodás alapelvei:

- törekvés a nagyobb élettartam megvalósítására,
- célszerű, az igénybevételnek megfelelő anyag beépítése,
- felesleges anyagok elhagyása,
- helyettesítő anyagok felhasználása,
- újrahasznosított, vagy újrahasznosítható anyagok alkalmazása,
- pontos adagolás,
- technológiai váltás, amely előnyben részesíti a mechanikai megoldásokat.

Az anyagköltségek csökkentése érdekében gyakran elmarad a természetes anyagok feldolgozása (osztályozása, törése), pedig célszerűbb kis költségű osztályozással műszakilag is értékesebbé tett anyagot választani. A jobb minőségű anyag ugyan drágább, de jobb műszaki tulajdonságai miatt kevesebbet kell beépíteni. Ennek megfelelően csökken a szállítandó anyagmennyiség és hosszú távon az üzemeltetés és útfenntartás költségei is csökkennek.

Útépitési anyagok műszaki előírásai

Az útépitési anyagok választékait azok jelöléseit, valamint a minőségi előírásokat szabványok és műszaki előírások rögzítik. Az erdészeti magánutak építésénél az előírt anyagtól és választéktól a költségcsökkentés érdekében el lehet térni, ha a nem előírt anyag felhasználását a tervező indokolja és a megfelelő technológiát a műszaki leírásban rögzíti, végül megadja az építési minősítés feltételeit. Nem vonatkozik ez azokra a beruházásokra, ahol a szabványos anyagok felhasználását írják elő.

KŐNEMŰ ÚTÉPÍTÉSI ANYAGOK

Az útpályaszerkezetek tömegének fő részét a földkéreg felszínét nagy tömegben alkotó szilárd kőzetekből állítják elő. A kőzetekből előállított útépitési anyagot útépitési kőanyagnak, vagy egyszerűen kőanyagnak nevezik függetlenül attól, hogy azt laza vagy tömör kőzetből nyerik, illetve állítják elő.

A természetes előfordulású anyagokat kitermelés után változatlan minőségben hasznosítjuk (pl.: homok, homokos kavics). A tovább feldolgozott anyagokat a természetes előfordulású anyagok feldolgozásával, a tömör kőzetek zúzásával és rostálásával készítik (pl.: zúzottkövek, zúzalékok).

Követelmények a kőnemű útépitési anyagokkal szemben

A pályaszerkezet anyagának meg kell felelni a forgalom biztonságos lebonyolítása által megkövetelt feltételeknek, amelyek a következők:

- álljon ellen a dinamikus hatásoknak,
- kopásálló legyen,
- fagyálló legyen.

A kőzeteket a fenti tulajdonságok szerint kőzetfizikai osztályokba (Kf) soroljuk, amelyek meghatározzák a felhasználási területet is.

Az utak pályaszerkezete a kőanyag szemcsés halmazából épül fel. A kőanyag felhasználásához – a technológia kialakításához, illetve a technológia igényeinek kielégítéséhez – ismerni kell az egyes szemcsék, illetve a halmazban egymásra ható szemcsék méretbeli és felületi tulajdonságait. Ennek megfelelően a kőzetekből előállított útépitési kőanyagot a beépíthetőség szerint is osztályozzuk, amit alapvetően a szemszerkezeti tulajdonságok határoznak meg:

- szemcsék nagyság szerinti eloszlása, a szemeloszlás;
- szemcsék alak szerinti eloszlása.

Kőzetfizikai vizsgálatok

Szabványos eszközökkel és eljárásokkal laboratóriumban történik:

- Aprózódási veszteség Los Angeles dobban: a kőzet ellenállását vizsgálja a dinamikus ütő hatással szemben;
- Felületi aprózódás és kopás Deval dobban (Deval kopás): a kőzet ellenállását vizsgálja a dinamikus erővel és koptató hatással szemben;
- Időállósági vizsgálat: nátriumsulfátos és magnéziumsulfátos oldatba helyezéssel a kristályosodás repesztő hatásával végzik.

Aprózódás vizsgálata Los Angeles-dobban

A vizsgálat célja megállapítani a kőzet ellenállását *dinamikus ütőhatásokkal* szemben. A vizsgálóberendezés egy vízszintes tengely körül forgó dob, amelynek belső alkotójára egy acélperemet rögzítenek. A dobban elhelyezik a szemnagyság szerint összeállított vizsgálati anyagot és az ütőhatást fokozó acélgolyókat. A dobot percenként 30–33 fordulattal az előírt fordulatszám eléréséig (500 vagy 1000 fordulat) forgatják. A dobból kivett anyagot 1,6 mm lyukbőségű szitán át kell mosni, majd a fennmaradó szemcséket 105°C-on tömegállandóságig ki kell szárítani. A vizsgálat eredménye az aprózódási veszteség és a kezdeti tömeg hányadosa:

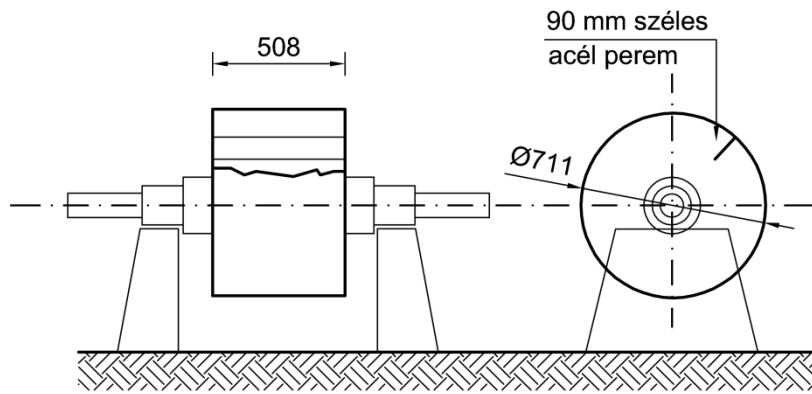
$$a_{LA_m} \% = \frac{M - M_a}{M} \cdot 100$$

ahol:

- $a_{LA_m} \%$ = Los Angeles-aprózódás,
- M = vizsgált halmaz kezdeti tömege,
- M_a = vizsgálat után az 1,6 mm-es szitán fennmaradt halmaz tömege.

A minősítési rendszerben a jelölés:

- Referencia vizsgálatnál: LA_m
- Alternatív vizsgálatnál: a_{LA_m}



Los Angeles-dob

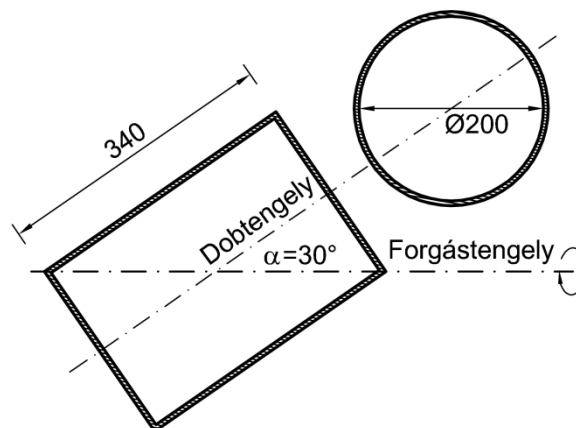
Felületi aprózódás és kopás vizsgálata Deval-dobban

A vizsgálattal a kőzet felületének ellenállását jellemezzük a dinamikus erők és a koptató hatásokkal szemben. A vizsgálóberendezés egy ferdén elhelyezkedő (vízszintessel 30°-os szöget bezáró) dob, amely vízszintes tengely körül forog (átmérő 200 mm, magasság 340 mm). Ebbe a szemeloszlástól függő mennyiségű vizsgálati anyagot mérünk be. A vizsgálatot szárazon vagy nedvesen végezhetjük el, így beszélhetünk száraz és nedves Deval-vizsgálatról. A hengert percnként 30–33 fordulattal az előírt fordulatszámig kell (10000 vagy 15000 fordulat) forgatni, majd a teljes anyagot 1,6 mm lyukbőségű szitán át kell mosni, végül súlyállandóságig ki kell szárítani. Az eredmény a Deval-kopás:

$$a_D \% = \frac{M - M_k}{M} \cdot 100$$

ahol:

- a_D = Deval-kopás,
- M = vizsgált halmaz kezdeti tömege,
- M_k = aprózódás, koptatás után az 1,6 mm-es szitán fennmaradt halmaz tömege.



Deval-dob

Kopásállóság vizsgálata vizes mikro-Deval vizsgálattal

A kőzetek kopásállóságának vizsgálatára és minősítésére a vizes mikro-Deval vizsgálatot írják elő. A vizsgálóberendezés egy vízszintes tengely körül forgó dob (átmérője 154 mm, hossza 200 mm), amelybe 10 mm átmérőjű acélgolyókból álló koptató töltetet kell elhelyezni. A kőanyag halmaz, a

koptató töltet és a dob belső felülete között fellépő súrlódás koptatja a mintát. A kiértékelés az előzőhöz hasonlóan történik.

A minősítési rendszerben a jelölés:

- Referencia vizsgálatnál: M_{DEm}
- Alternatív vizsgálatnál: a_{MDm}

Időállósági vizsgálat kristályosítással

A korábban használt fagyasztásos módszer helyett azért terjedt el ez a vizsgálat, mert a sóoldat kristályosodása nagyobb erővel repeszi a kőzetet, mint a fagy és a közutak sózása miatt ez az igénybevétel vált mértékadóvá. A vizsgálathoz telített nátrium- és magnézium-szulfát oldatot használunk. A vizsgálandó kőanyag szemeloszlása alapján meghatározott mennyiségű, d_{min} minimális szemcseméretet meghaladó kőanyagot drótkosárba rakunk, majd a mintát 16–20 óra időtartamra az oldatba helyezzük. A mintát az oldat lecsepegése után kiszárítjuk és lehűtjük. Az öt ciklusban megismételt kristályosítás után a mintát d_{min} lyukbőségű szitán átmoszuk és megmérjük a szitán fennmaradt anyag tömegét. A fagyállóságot az aprózódás tömegarányával fejezzük ki:

$$a_{Mgm} \% = \frac{M - M_k}{M} \cdot 100$$

ahol:

- a_{Mgm} = aprózódás tömegaránya
- M = d_{min} átmérőnél nagyobb átmérőjű halmaz tömege a kristályosodás előtt
- M_k = d_{min} lyukbőségű szitán fennmaradt szemcsék tömege kristályosodás után

A minősítési rendszerben a jelölés:

- Referencia vizsgálatnál: MS_m
- Alternatív vizsgálatnál: a_{Mgm}

Kőanyag halmazok szemeloszlása

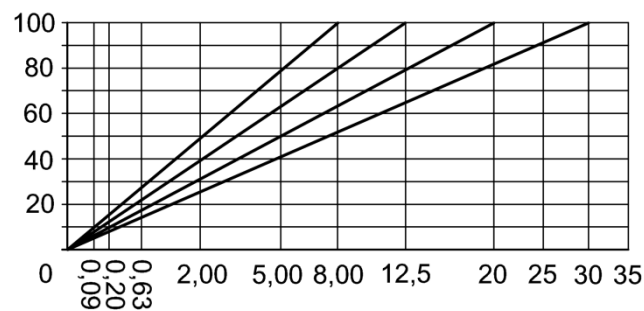
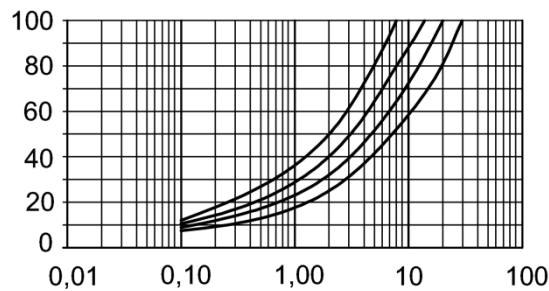
A szemeloszlás meghatározását a talajmechanikából ismertek szerint szitálással és hidrometrálással végezzük. A szitáláshoz négyzetes lyukú szitákból álló szitasorozatot kell használni. A szemeloszlási görbét a szemilogaritmikus rendszer mellett olyan rendszerben is ábrázolhatjuk, amelyben az abszcisszán az átmérőt négyzetgyökös léptékben tüntetjük fel. Ez az aszfalt és cementtechnológiáknál megkívánt legtömörebb állapotot jelentő szemeloszlási görbe ábrázolásánál jelent előnyt. A legtömörebb állapotot a másodfokú parabolát megközelítő szemeloszlás – a *Fuller-görbe* – adja, amelynek egyenlete:

$$s\% = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$$

ahol:

- D = legnagyobb szemcseátmérő,
- d = vizsgált szemcseátmérő,
- $s\%$ = d átmérőjű szemcsénél kisebb szemcsék tömegaránya a halmazban.

Négyzetgyökös léptékben ábrázolva ez a görbe egyenesként jelenik meg, így a vizsgált szemcsés halmazok szemeloszlási görbéjének eltérése a legtömörebb állapotot jelző egyenes vonaltól jól szemlélhető és feltűnően megmutatja az eltérés jellegét és szemnagyság szerinti helyét.



Szemeloszlás ábrázolása semilogaritmikus és négyzetgyökös léptékben

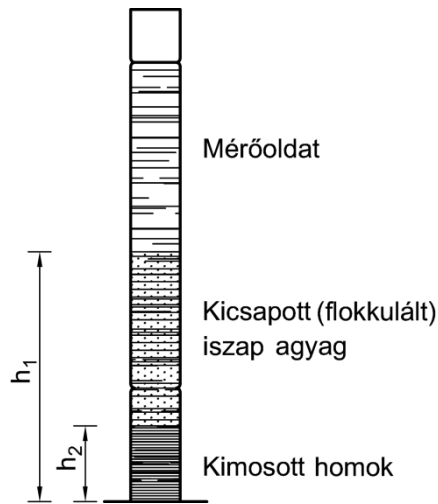
Homokegyenérték vizsgálata

A homokegyenértékkel a homokszennyezők (szerves és szervetlen anyag és iszap) mennyiségét és minőségét jellemezzük. A vizsgálat a homok és a homokszennyezők eltérő ülepedési sebességén alapul. A vizsgálatot a halmaz 2 mm-es szitán átesett részén kell elvégezni. A szabványos méretekkel rendelkező talpas mérőhengerbe 88 cm^3 térfogatú anyagot helyezünk, és mérőoldattal (desztillált víz, kalcium-klorid, glicerin és formaldehid előírással keveréke) jelre töltjük. A feltöltött mérőhengerben lévő anyagot felrázzuk, majd a szuszpenziót 20 percig ülepedni hagyjuk. A pelyhesedett és ülepedtett finom szemcsék és a homok éles határvonallal válik el egymástól. A két szintnek a mérőhenger aljától mért távolsága alapján a homokegyenérték:

$$HE = 100 \cdot \frac{h_2}{h_1}$$

ahol:

- h_1 = szuszpenzió felső szintje (mm),
- h_2 = homokrész felső szintje (mm).



Homokegyenérték vizsgálata

Szemcsealak vizsgálata

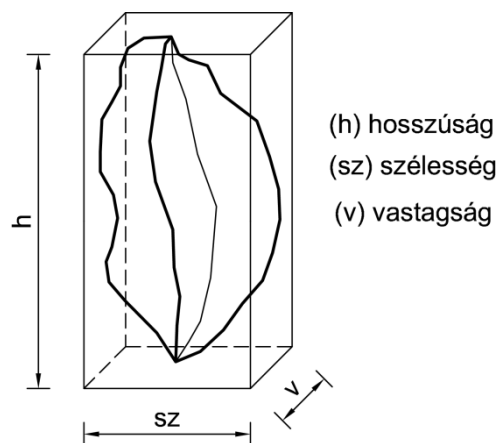
A szemcsék alakja erősen befolyásolja a szemcsék ellenálló képességét különféle külső hatásokkal szemben. Legkedvezőbb az ideális gömb vagy kocka alakot megközelítő zömök kubikos szemcsealak, mert ez áll ellen legjobban a mechanikai, fizikai és egyéb hatásoknak. A lemezes és tű alakú szemcsék aprózódásra hajlamosak, viszonylag nagy felületük miatt egyéb hatásokkal szemben is kevésbé ellenállóak. A nagyobb felület bevonása egyben több kötőanyagot is igényel, ami nem csak közgazdasági, hanem műszaki szempontból is hátrányos lehet.

A szemcse alakját geometriai méreteivel jellemezzük:

- a szemcse hossza (h) a leghosszabb tengely,
- a szemcse vastagsága (v) a legrövidebb tengely,
- a szemcse szélessége (sz) a közbülső tengely.

Ezek alapján a szemcse:

- zömök, ha $h/sz < 1,5$ és $v/sz > 0,5$
- hosszúkás, ha $h/sz \geq 1,5$ és $v/sz > 0,5$
- lemezes, ha $h/sz < 1,5$ és $v/sz \leq 0,5$
- lemezes és hosszúkás, ha $h/sz \geq 1,5$ és $v/sz \leq 0,5$

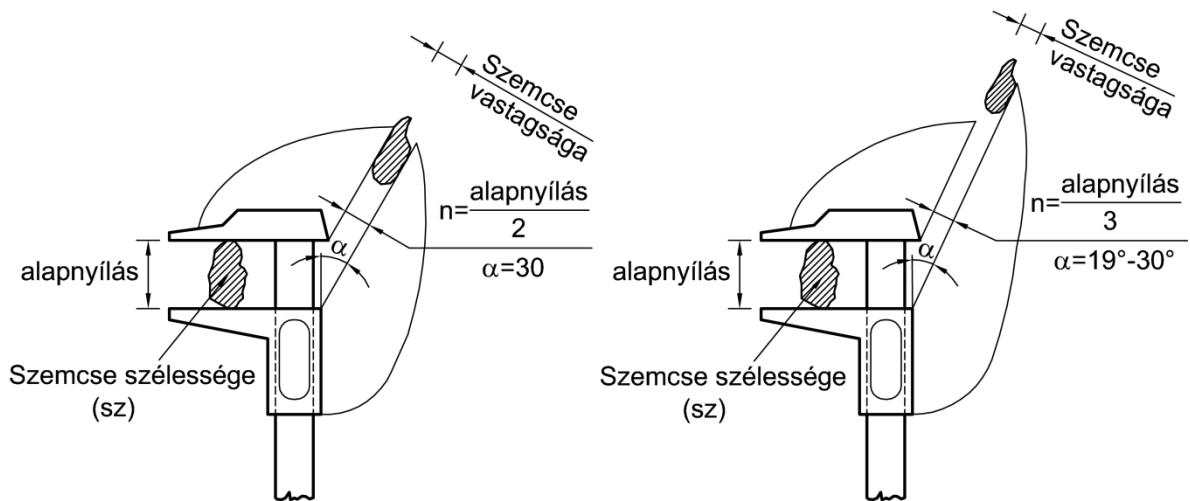


(h) hosszúság
(sz) szélesség
(v) vastagság

Kőzetszemcse tengelyei

Szemcsealak vizsgáló tolómércék

A szemcsés halmazok gyors minősítését a $v/sz < 0,5$ tengelyarány vizsgálatával végezzük. Ehhez a szemalakvizsgáló tolómércét használjuk. A mércén két mérőpofa párt találunk. A hagyományos helyzetű mérőpofák között a mérce alapnyílását állítjuk be a szemcse szélességi méretével, majd a szemcsét megpróbáljuk a vastagsági mérete mentén a ferde ellenőrző pofák között átejteni. Az áteső szemcsék lemezesek, a fennakadó szemcséket nem tekintjük lemezeseknek. A szétválasztott próbahalmazok tömegeit a minta teljes tömegéhez viszonyítva százalékában adjuk meg a lemezesség mértékét.



a.) MSZ 18291 szerinti lemezesség vizsgáló mérce b.) Schulze féle lemezesség vizsgáló mérce

Szemcsealak vizsgáló tolómércék

Kőzetek és kőanyagok minősítése

Az útépítési kőanyagokat alapvetően két szempont szerint minősítjük:

- milyen annak a kőzetnek a minősége, amiből a kőanyagot előállítottuk (kőzetfizikai csoportosítás);
- milyen a kőzetből előállított szemcsés halmaz szemeloszlása és a szemcsék alakja (osztályozási élesség és törési minőség szerinti csoportosítás).

A kőzetfizikai minősítő vizsgálatokat kétféleképpen lehet elvégezni:

- referencia vizsgálatokkal, amikor 10-14 mm szemmagyság határáig „referencia mintán” végzik a vizsgálatokat. A kőzetfizikai csoport jelölése ekkor: $Kf-A^{d/D-r}$, ahol „Kf” (kőzetfizikai jellemző), „A” (kőzetfizikai csoport jele), a kitévőben lévő jel a legkisebb és legnagyobb átmérőt jelöli, „r” a referencia vizsgálatra utaló jel.
- alternatív vizsgálatokkal, amikor a kőanyag halmaz saját szemeloszlási határai közötti anyaggal végzik a vizsgálatot. A kőzetfizikai csoport jele ekkor: $Kf-B^{d/D-a}$, ahol Kf (kőzetfizikai jellemző), „B” (kőzetfizikai csoport jele) a d/D szemcseméret határok között, „a” az alternatív vizsgálatra utaló jel.

A vizsgálatokkal elért eredmények alapján kell a kőzetet kőzetfizikai csoportokba sorolni. A minőségi osztály jelölése:

- referencia vizsgálat eredményeként az egyes vizsgálati eredmények minőségi jele: a vizsgálat jele, lábindexben a vizsgálati szempontra megadott legnagyobb megengedett érték, pl.: 37% aprózódási veszteséget elszenvedő kőzet jele LA₄₀, ami azt jelenti, hogy az aprózódási veszteség 35-40% közé esik.
- alternatív vizsgálatból származó eredmények jelölése a_{LA40}^{d1-d2} , ahol LA a vizsgálat jele (Los Angeles), 40 a minőségi osztály jele (a vizsgálati szempontra megadott legnagyobb megengedett érték, mint előbb) $d1-d2$ a halmaz legkisebb és legnagyobb szemcsemérete.

A kőzeteket a *Los-Angeles* aprózódás, a *Mikro-Deval*-kopás és a *kristályosítási* aprózódás alapján a következő kőzetfizikai csoportokba sorolhatjuk:

- A referencia vizsgálatok alapján:
Kf-O^{d/D-r}, Kf-A^{d/D-r}, Kf-B^{d/D-r}, Kf-C^{d/D-r}, Kf-D^{d/D-r}, amin belül a C és D jelű minőségi csoport két-két alcsooptra oszlik: Kf-C1^{d/D-r}, Kf-C2^{d/D-r}, Kf-D1^{d/D-r}, Kf-D2^{d/D-r} jelöléssel.
- Az alternatív vizsgálatok alapján:
Kf-O^{d/D-a}, Kf-A^{d/D-a}, Kf-B^{d/D-a}, Kf-C^{d/D-a}, Kf-D^{d/D-a}, amin belül a C és D jelű minőségi csoport két-két alcsooptra oszlik: Kf-C1^{d/D-a}, Kf-C2^{d/D-a}, Kf-D1^{d/D-a}, Kf-D2^{d/D-a} jelöléssel.

Talajok

Az út építésének helyszínén található talaj általában alkalmas a földmű megépítésére. Bizonyos esetekben a helyi talaj kötőanyag bekeverésével stabilizálható, amellyel önálló pályaszerkezeti réteget is létrehozhatunk. A talajok stabilizálásakor a kedvezőtlen tulajdonságokat is igyekszünk csökkenteni (pl.: agyag talajok mésszel való bekeverése).

Homok, homokos-kavics, kavics

A homok (H), a homokos kavics (HK) és a kavics (K) laza üledékes kőzethalmazok, amelyek aprózódás után lecsiszolódtak, ezért a szemcsék legömbölyítettek. Ezeket a halmazokat főként kvarc és kvarcit szemcsék alkotják. Kitermelési helyük szerint megkülönböztetünk folyami és bányai kitermelésű homokot, homokos-kavicsot és kavicsot. Elkülönítésük a szemcseátmérő szerint:

- a homok (H) legfeljebb 4 mm felső szemnagyságú anyag ($d_{max} < 4$ mm)
- a kavics (K) legalább 4 mm alsó szemnagyságú anyag ($d_{min} > 4$ mm)
- a homokos-kavics (HK) 4 mm-nél kisebb alsó, illetve 4 mm-nél nagyobb felső szemnagyságú anyag ($d_{min} < 4$ mm és $d_{max} > 4$ mm).

A homokot, kavicsot, homokos-kavicsot feldolgozottsága szerint termékosztályokba sorolva osztályozzuk:

- Nyerstermékek (N) nevezzük a bányászat közben kitermelt anyagot, amelynek szemeloszlása eközben nem változott meg. Ebből állítjuk elő osztályozással és töréssel a további termékeket;
- A természetes szemeloszlású termék (T) felső szemnagysága előírt, szemeloszlása pedig a természetes alsó és az előírt felső határ között a helyszínen található természetes szemeloszlás;
- Előírt szemeloszlású termék (E) $d = 0$ és előírt felső szemnagyság közé eső termék, amelynek szemeloszlása előírt szemeloszlási határgörbék közé esik;

- Osztályozott terméket (O) a nyerstermékből mosással, töréssel, osztályozással állítunk elő, meghatározott méretű alsó és felső szemcsehatárok között;
- Kavicsból tört terméket (Z) a kavics művi törésével állítunk elő, ekkor a halmaz legalább 90 tömeg % tört anyagot tartalmazzon;
- Vegyes termékről (V) beszélünk, ha a természetes aprózódású szemek mellett még 10–90 tömeg % tört anyag is van a halmazban.

Az erdészeti útépitésekhez felhasznált homok, kavics, homokos-kavics saját bányából vagy anyaggyerőhelyről is beszerezhető. Célszerű lenne kis beruházással ezeket a bányákat és anyaggyerőhelyeket úgy berendezni, hogy ott legalább természetes (T) és előírt (E) szemeloszlású, esetleg tört (Z) és vegyes (V) terméket lehessen előállítani, amely jelentősen növelné a belőle készített szerkezetek használati értékét és gazdaságosságát.

Murva

A murva üledékes kőzetek (főként dolomit és mészkő) természetes aprózódása útján keletkezik. Nem szabványos választék, mert a kőzet, amiből keletkezik nem elégíti ki azokat a követelményeket, amelyeket a közutak pályaszerkezetébe építve megkövetelnek. A murva felhasználásával épített pályaszerkezetek élettartama kisebb, útfenntartási igénye magasabb lesz. A murvát általában a bányából kikerülő minőségben, osztályozatlanul használjuk fel.

Zúzottkő

Előírt kőzetfizikai jellemzőkkel bíró, természetes előfordulású kőzetek aprításával (zúzásával) és osztályozásával előállított, meghatározott szemnagyság határokkal bíró termék.

A zúzottköveket elsősorban osztályozási élességük és törési minőségük alapján csoportosítjuk. Az osztályozási élességet a rögzített alsó és felső átmérő határoknál kisebb, illetve nagyobb szemcsék tömegarányával jellemezzük. A törési minőséget a kedvezőtlen alakú szemcsék tömegarányával fejezzük ki, mert ezek mennyisége többszöri töréssel csökkenthető.

Termékosztályok:

- Z termékosztályt (zúzottkövet) amely a leglazább osztályozási élességű a törési minőség előírása nélkül;
- NZ termékosztály (nemes zúzottkövek), amelynél az osztályozás élessége az előbbinél szigorúbb, a törési minőségre utaló lemezes szemek mennyisége a $d > 5$ mm halmazban legfeljebb 50 tömeg % lehet;
- KZ termékosztály minősítésű zúzottkövek szigorú osztályozási minőséget jelentenek, a lemezes szemek mennyisége 20–35% között változhat;
- ZK termékosztályba a zúzott kavicsok tartoznak;
- TZ és TZK az egyedileg tervezett szemeloszlású zúzottkő és zúzott kavics termékosztályok.

A zúzottkövet a legkisebb és legnagyobb átmérők szerint frakciókba soroljuk. Az alapfrakciók szemeloszlása szűk szemcseátmérő határok között változnak, a nyújtott frakciók több frakcióhatárt foglalnak magukba. A frakcióhatárok az alábbiak:

- Z termékosztályban:

Z 0/4, Z 0/11, Z 0/22, Z 0/32, Z 0/45, Z 0/80, Z 4/22, Z 22/45.

- NZ termékosztályban:

NZ 0/2, NZ 0/4, NZ 4/11, NZ 11/22, NZ 22/32, NZ 32/56

- KZ termékosztályban:

KZ 2/4, KZ 4/8, KZ 8/11, KZ 11/16, KZ 16/22, KZ 22/32

- ZK termékosztályban:

ZK 0/4, ZK 4/8, ZK 4/11, ZK 8/11, ZK 8/16, ZK 11/22

A termékszabvány jelenleg csak a zúzottkő elnevezést használja. Korábban a 35 mm legnagyobb szemnagyságnál kisebb átmérőhatárok közé eső választékokat zúzaléknak nevezték. Ez a kifejezés napjainkig fennmaradt, ezért ezt a csoportosítást továbbra is célszerű használni.

A termékosztályok kialakításánál az aszfalt útépítés igényeit vették figyelembe. Az erdészeti útépítésben elterjedt makadám és aszfaltmakadám pályaszerkezetek zúzottkőpályáinak építéséhez a korábbi Z 20/55, Z 55/80 választékokat egyes kőbányák még előállítják, vagy az ennek megfelelő újak Z 22/56, Z 56/80 is beszerezhetőek.

Terméskő

A termésköveket elsősorban műtárgyak építéséhez használják. Osztályozásuk:

- kőzettanilag: mállottság és annak előre-haladottsága alapján;
- kőzetfizikailag: testsűrűség, nyomószilárdság, időállóság, száraz ill. nedves Deval érték alapján;
- darabméret: hossz/szélesség, vastagság/ szélesség, valamint a legkisebb és legnagyobb méret alapján.

Terméskövek termékcsoportjai:

- TF jelű terméskőforgács 03–15 cm
- TA jelű tömbös terméskő 15–25 cm
- TB jelű tömbös terméskő 15–40 cm
- TC jelű tömbös terméskő 20–60 cm
- TD jelű tömbös terméskő 20–60 cm
- TR jelű tömbös terméskövet a lapfelület hosszmetrének és az arra merőleges legnagyobb méretének a szorzatával (dm²) kell jellemezni, mert ezeket a köveket rézsűburkolásra használjuk és a lapméret kiválasztása ennek alapján lehetséges.

Kőbányák és anyagnyerőhelyek kialakítása

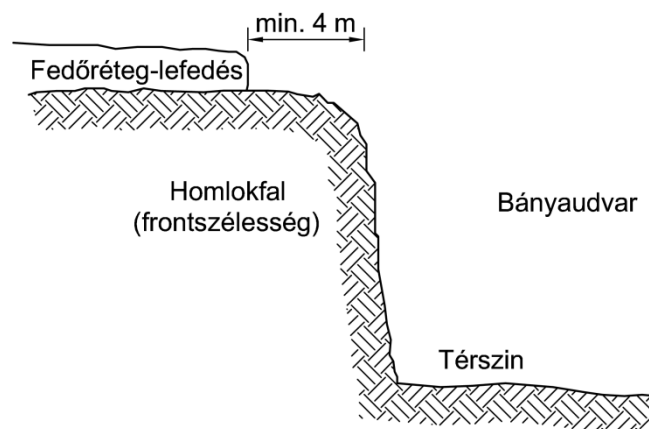
A tömör kőzeteket kőbányákban, a talajt és a laza üledékes kőzeteket anyagnyerőhelyeken termelik ki.

Az 1960-as évek végéig az erdőgazdaságok kezelésében több kőbánya működött, amelyek az erdészeti útépítés kőigényét a kor műszaki színvonalának megfelelően jól kielégítették. A meglévő

néhány kőbánya felszereltsége alapvetően hiányos, amely lehetetlenné teszi a minőségi kőtermelést. Célszerű lenne ezeket olyan szintig fejleszteni, amely lehetővé teszi a jobb minőségű kőanyag termelését.

Kőbányákat és anyagnyerőhelyeket létesíteni csak szakhatósági (önkormányzati, földhivatali, bányakapitánysági stb.) engedély birtokában lehet, a biztonsági előírások messzemenő betartásával. A bánya és anyagnyerőhely területének kijelöléskor fontos szempont, hogy az kapcsolatban legyen egy úttal, más tevékenységek zavarása nélkül.

A bányanyitás első lépése a humuszos, értéktelen, mállott kőzetből álló réteg a fedő talajréteg (lefedési meddő) eltávolítása. Ezt *lefedésnek* nevezzük. Lefedés után kialakul a *fedőszint*, amelynek minimális szélessége 4 m, vagy a fedőréteg vastagságának fele. A bányaművelés közben eltávolított anyag helyén a *bányaudvar* alakul ki, amelyet a bánya *homlokfala* határol. A kőanyag kitermelését – a *kőzetjövesztést* – a homlokfal megbontásával végezzük. A homlokfal egyetlen folyamatos munkával megbontott szakaszát *frontszélességnek* nevezzük. Keskeny, magas kőzet előfordulásakor a bányafal több szintre tagolódik. A szintek magassága, a homlokfal dőlése a bányászott anyag minőségétől függ. Célszerű, ha egy-egy szint szélessége 4 m, illetve a szintek közötti bányafal magasságának fele, harmada. Kicsi bányákban az egyszintű művelésre kell törekedni, mert ez növeli a fejtés hatékonyságát, valamint biztonsági szempontból is előnyösebb. A bányafal állékonyságát folyamatosan biztosítani kell. Az omlásra hajlamos, tavaszi fagy által meglazított részeket el kell távolítani. A kőzeteket alávájással jövesztetni tilos!



A bánya általános kialakítása

A *bányaudvar víztelenítéséről gondoskodni kell*. Ennek megoldása attól függ, hogy a környező terep, a talajvíz és a bányaudvar szintje egymáshoz képest hogyan helyezkedik el:

- a talajvízszint fölött elhelyezkedő bányaudvar víztelenítését árokrendszerrel lehet megoldani. Az összegyűjtött víz a bányaudvarból a környező terepen elvezethető, ha a szintkülönbség megfelelő. A környezeténél mélyebben fekvő bányaudvarban a vizet egy helyen kell összegyűjteni, ahonnan az elszivároghat, vagy kiszivattyúzható.
- talajvízszint alatt gyakorlatunkban csak homokos-kavicsbányák bányaudvara helyezkedhet el. Ekkor a bányaudvart nem víztelenítjük, hanem az anyagot víz alatti kotrással termeljük ki.

A kőbányák és anyagnyerőhelyek művelése közben a technológiai folyamat különböző pontjain szabványos anyagként fel nem használható melléktermékek (*meddők*) keletkeznek. A

készletgazdálkodás és környezetvédelem szempontjából fontos lenne, ha ezeket az anyagokat ipari melléktermékként, vagy másodlagos ipari nyersanyagként lehetne felhasználni alacsonyabb rendű létesítmények építésénél. Ennek feltétele, hogy a különböző helyen keletkező meddőket elkülönítve tárolják. Ez azért fontos, mert a különböző meddőknek az anyaga általában közel azonos minőségű, aminek ismeretében a továbbfelhasználás előírásait is meg lehet adni. Az ömlesztve, keverve tárolt meddők minősége a meddőhányóban jelentősen eltérhetnek, ezért ezek továbbfelhasználása is nehézkes.

Kőbányák művelése

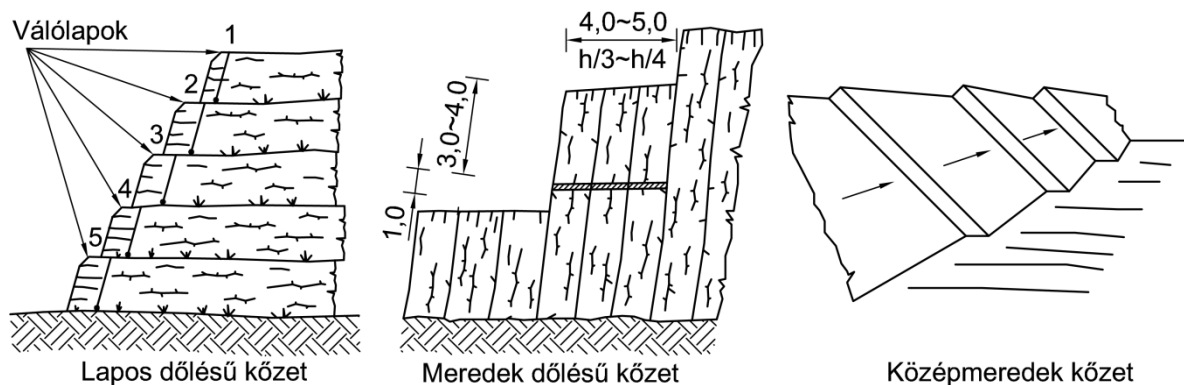
A szilárd kőzetek kialakulásakor és a geológiai korok folyamán fellépő tektonikus erők hatására a kőzet anyagában repedések keletkeznek.

Ezek a repedések pados, lemezes, oszlopos és kockás elválásokat eredményeznek, amelyek a bányaművelést és az anyag felhasználhatóságát erősen befolyásolják. A kőbányában kialakított szintek számát, a kőzetben előforduló elválások, a fal magassága és omlásveszélyessége határozza meg. A bánya fejthető teljes homlokfalal és tagolt homlokfalal. Teljes homlokfalal végzett fejtéskor a jövesztést egy szint teljes szélességén elvégezzük. Tagolt homlokfalal kialakítani kisebb kőbányákban célszerű, mert ezzel jobban lehet alkalmazkodni a kőzet természetes elválásaihoz, valamint a felület fajlagos növekedése miatt robbanóanyag takarítható meg.

A kőbányákban a követ robbantással jövesztik. A robbantásoknál az Általános Robbantási Biztonsági Szabályzatban foglaltakat kell betartani. Robbantani csak vizsgázott robbantómester vezetésével lehet.

A robbantáshoz a kőzetben robbantólyukat kell kialakítani. Kisebb mennyiségű kőzet fúrólukás robbantással jöveszthető. Ekkor a kőzetbe sűrűn egymás mellé lyukakat kell fúrni, majd ezekbe helyezük el a töltetet. Nagyobb mennyiségű kőzetet kamrázott robbantással, vagy tárokban elhelyezett robbanóanyaggal lehet jövesztetni. Kamrázott robbantáskor a fúrólukban elhelyezett kisebb töltet először egy kamrát robbant, amelyet nagyobb mennyiségű kőzet jövesztését lehetővé tevő robbanóanyaggal lehet megtölteni.

A robbantólyukak elhelyezését a kőzet repedezettsége és a kőzet keménysége határozza meg. A robbantólyukakat a kőzet elválási lapjaira merőlegesen célszerű elhelyezni. A fúróluk kézzel vagy géppel készíthető. A gépi kialakítás eszköze kemény kőzetben a fúrókalapács, puha kőzetben a fejtőkalapács. Ezeket az eszközöket sűrített levegő hajtja meg, amit robbanómotoros légsűrítő állít elő.



Kőzetek elválási felületei és a fúrólukak telepítése

A robbantáshoz robbanóanyagot, gyutacsot, gyújtószinórt illetve elektromos indításkor villamos gyújtóberendezést használunk. A robbanóanyag a Paxit-3 kezelésbiztos, nem túl heves robbanóanyag. A robbantólyukba először a robbanóanyag egy részét kell betölteni enyhe tömörítéssel. Erre kerül az indítótöltet, ami egy kisebb csomag robbanóanyagba elhelyezett gyutacs a gyújtószinórral, vagy a robbantó vezetékkel. Ezután töltjük a szükséges robbanóanyag további részét a robbantólyukba, végül azt valamilyen tömítőanyaggal (agyag, talaj stb.) lefolytjuk.

A biztonságos robbantás érdekében ma már majdnem kizárólagosan az elektromos indítást használják, mert így kisebb az esélye annak, hogy marad fel nem robbant töltet.

A robbanóanyag mennyiségét tapasztalati képlettel lehet kiszámítani, 1 m³ kőzet jövesztésére vonatkoztatva. A robbantási hatás az alábbi hányadossal jellemezhető:

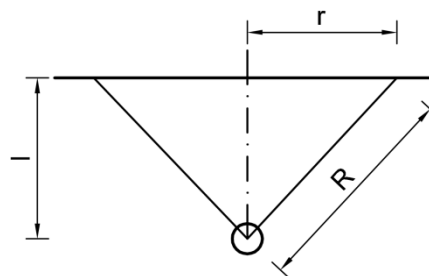
$$n = \frac{r}{l}$$

ahol:

- $n =$ robbantási hatás,
- $r =$ robbantási tölcser sugara (m),
- $l =$ legkisebb ellenállás irányába mért, u.n. elővét hossza (m).

Amennyiben az

- $n = 1$, vagyis az $r = l$, a robbantási tölcser sugara normális,
- $0,5 < n < 1,0$ a robbantás lazít,
- $n < 0,75$ kitérés tölcser nem keletkezik.



Robbantási tölcser jellemzői

Robbantás utáni műveletek

Az erdészeti kezelésben lévő kis kapacitású bányákban – ahol az elsőrendű cél az útépitési kőanyag előállítás – a lerobbantott követ először *osztályozni kell*. El kell különíteni azt a kőzetfrakciót, amely azonnal, vagy kis munkával terméskővé alakítható, az azonnal zúzható kőzetrészt, valamint azokat a nagy kőtömböket, amelyeket a további feldolgozás előtt még aprítani kell. Az előtörést kézzel, vagy további robbantással lehet elvégezni.

A zúzásra szánt követ *pofás*, vagy *kúpos kőtörő* zúzza a kívánt méretűre. A frakciókat *hengeres*, vagy *sík rostán* választják szét, osztályozzák. A törési minőség javítására ismételt törés is végezhető. Ehhez

vagy egy újabb kötőrőt kell munkába állítani, vagy munkaszervezéssel a munkafolyamatot úgy kialakítani, hogy az egyszer tört anyag osztályozás után ismét a törőre kerüljön.

A kőbányák belső anyagmozgatására rakodógépet és szállítószalagot használhatunk. Megfelelő szintkülönbség (min. 9 m) lehetővé teszi az energiatakarékos csúszdák működtetését is. Az elszállítandó anyagot a depóniákból célszerű *puffertárolók*ba juttatni. Ennek folyamatos feltöltése megoldható egy kisebb teljesítményű rakodógéppel. A puffertárolót úgy kell elhelyezni, hogy a tehergépkocsik be tudjanak alája állni, mert így a rakodás gravitációs úton a tároló aljának megnyitásával gyorsan elvégezhető.

Nagyobb anyagyerőhelyek művelése

Anyagyerőhelyek azok a *laza kőzetben nyitott bányák*, amelyekből talaj, homok, homokos-kavics vagy kavics termelhető ki az útépítés közelében, illetve több útépítés súlypontjában, állandó vagy ideiglenes jelleggel.

A kisebb, ideiglenes jelleggel működő anyagyerőhelyek művelése nem igényel jelentős felszerelést. Az anyagot a bányafalból fejtő-rakodógép termelheti ki, amely egyben a szállítóeszközök megrakását is elvégzi. Tömörebb településű rétegekben, vagy ha a bányafalat nem lehet fejteni, a térszintet lehet mélyíteni. A kitermelendő anyagot dózer lazítja fel és tolja nagyobb halmokba. Az így meglazított anyagot rakodógép közvetlenül a szállítóeszközre rakja. Fontos, hogy ezeket a kisebb anyagyerőhelyeket úgy alakítsuk ki és úgy használjuk, hogy azok ne akadályozzák a gazdálkodást és egyben megfeleljenek a balesetelhárítási és tájlesztetési szempontoknak is.

A nagyobb anyagyerőhelyek (20–30 m³/nap teljesítmény fölött) folyamatos munkáját már célszerű megtervezni és szervezni. Ezeket az anyagyerőhelyeket úgy kell kialakítani, hogy belőlük egy minimális minőségi követelményt kielégítő anyagot lehessen kitermelni. A megfelelő teljesítmény eléréséhez az egész munkafolyamatot gépesíteni kell.

A laza kőzetet a bányafalból itt is fejtő-rakodógép termeli ki, vagy a térszint anyagát dózer lazítja fel és tolja halmokba.

A hatékony anyagfelhasználás érdekében célszerű ezeken az anyagyerőhelyeken kisebb teljesítményű kötőrőt és osztályozót is felállítani. Azoknál az erdőgazdaságoknál, ahol a zúzottkővet távolról kell szállítani, de az anyagyerőhely anyaga vagy a helyi talaj talajstabilizáció készítésére alkalmas, célszerű olyan keverőgépet is munkába állítani, amely alkalmas a hidraulikus kötőanyag és a kationaktív bitumenemulzió bekeverésére is (pl.: folyamatos működésű keverőteknő).

Az anyagyerőhely belső anyagmozgatása gravitációs úton, vagy szállítószalaggal oldható meg. A gravitációs anyagmozgatás feltétele a kellő szintkülönbség, amely a teljes technológiai folyamatától függően 2–7 m. A meredekebb állású szállítószalag emelési magassága nagyobb, de ugyanakkor megnő a teljesítményigény és a visszagördülés veszélye, ami rontja a hatékonyságot. A szállítószalag vízszintessel bezárt szöge ne haladja meg a szállított anyagra megadott határértéket, amely zúzottkőnél 27°, homoknál 29°. A biztonságos szállítás szempontjából a szállítószalagot nem célszerű 20°-nál meredekebb állásban használni. A nagyobb szintkülönbségeket több egymást követő szállítószalag beállításával célszerű áthidalni.

A folyamatos termelés és a gyors rakodás lehetőségének megteremtése érdekében az anyagot itt is puffertárolóba kell juttatni.

A nagyobb anyagnyerőhelyeken belül a szállítójárművek a belső úthálózaton mozognak. Ezt úgy kell kialakítani, hogy a járművek egymás zavarása nélkül akadálytalanul haladhassanak (körforgalom, forduló stb.).

A nagyobb anyagnyerőhelyek üzemeltetésekor a balesetelhárítási, a környezetvédelmi és a készletgazdálkodási szempontokat egyaránt figyelembe kell venni.

KÖTŐANYAGOK

Az erdészeti útépitésben az alábbi kötőanyagokat alkalmazzuk:

- *Bitumen*: aszfalt pályaszerkezeti rétegek kötőanyaga;
- *Cement*: beton vagy cement-stabilizációs pályaszerkezeti rétegek kötőanyaga;
- *Mész*: kötött talajok útépitési szempontból kedvezőtlen tulajdonságai csökkenthetők a segítségével, illetve adalékanyag.

Bitumenek

Az útépitésben általánosan használt kötőanyag a bitumen, amelyet a kőolaj szakaszos lepárlása után, a desztillációs bitumenből állítják elő úgy, hogy a forró bitumenen fúvatással oxigént áramoltatnak keresztül. A fúvatás hatására a bitumen keménysége megnő és több tulajdonsága előnyösen megváltozik.

A bitumen termoplasztikus anyag. Hidegen kemény, szilárd, sőt rideg, melegítve meglágyul, plasztikussá, folyóssá majd hígfolyóssá válik. A bitumenek felhasználását az útépitésben ezek a tulajdonságok szabják meg, amit a bitumen keménységének változtatásával tudunk befolyásolni. Azért, hogy a bitumenből készített pályaszerkezet a megkívánt követelményeknek megfeleljen, fontos, hogy a bitumen a következő tulajdonságokkal rendelkezzen:

- jó kötő- és tapadóképeség, amely a jó aszfalt előállításának előfeltétele,
- rugalmasság és szívósság, amely a viszkoelasztikus tulajdonságoktól függ,
- kedvező hőérzékenység, vagyis alacsony hőmérsékleten ne legyen rideg, magas hőmérsékleten ne lágyuljon meg,
- legyen hőtűrő, azaz jól viselje el a magas hőmérsékletet, az aszfaltgyártás közben (160°C körül) se változzanak meg a tulajdonságai.

Az útépitésben a bitument:

- útépitési bitumen,
- hígított bitumen,
- bitumen emulzió

formájában használjuk fel.

Útépitési bitumenek

Az útépitési, vagy röviden utibitumenek a meleg eljárással készített, kis hézagtartalmú, *tömör aszfaltok kötőanyaga*. Normál hőmérsékleten ($\pm 20^\circ\text{C}$) szilárd, kemény állapotú anyag, amely magas hőmérsékleten hígfolyóssá válik. Ez teszi lehetővé azt, hogy aszfaltgyártáskor a kőanyagot a kötőanyaggal (bitumennel) össze lehessen keverni. A bitumen az aszfalt beépítése után lehűlve fejt

ki kötőkéességét, mert a beépítés után lehűlő bitumen visszanyeri merev állapotát. A bitumenek tulajdonságait különféle anyagok adagolásával javíthatják. Ezek a bitumenek a modifikált bitumenek.

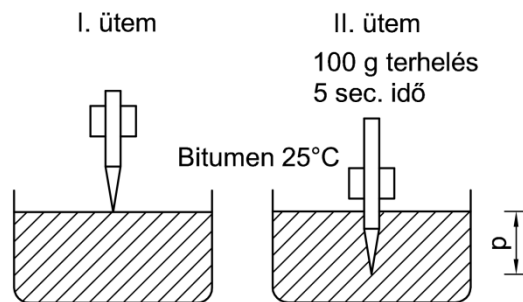
A bitumen tulajdonságait alapvetően az alapanyagként felhasznált kőolaj tulajdonságai szabják meg, amelyet a gyártás közben bizonyos határok között módosítani lehet. A bitumenek tulajdonságait kétféle szempont szerint vizsgáljuk:

- a kémiai jellegű vizsgálatokkal a bitumen összetételét, a kémiai tulajdonságokat határozzák meg,
- a fizikai jellegű vizsgálatokkal a viszkozitásra, a hőérzékenységre és a hőtűrőképességre vonatkozó adatokat kapjuk meg, amelyek technológiai szempontból fontosak.

Penetráció

A penetráció a *bitumen keménységére jellemző számérték*, amelyet az *utibitumen egyes választékainak elkülönítésére* használunk.

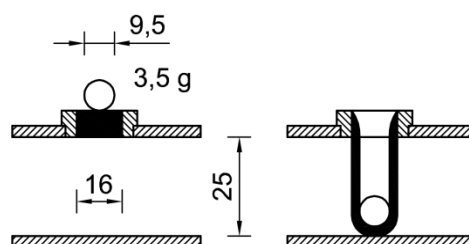
A penetráció egy szabványos kialakítású 100 g tömeggel terhelt tű 5 sec. alatti behatolásának mélysége a 25°C hőmérsékletű bitumenbe, 0,1 mm-ben kifejezve. A 90-es penetrációjú bitumenbe a tű tehát 9 mm mélyen hatol be 5 sec. alatt. A penetráció értéke a kemény bitumenben mért 10 értéktől a lágyabb bitumeneken mérhető 200–300 értékig változhat.



Penetráció meghatározása

Lágyuláspont

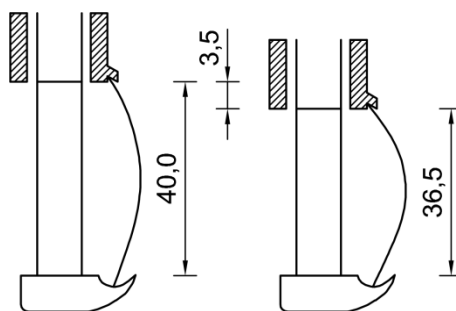
A lágyuláspont az a hőmérséklet, amelyen a bitumen lassan folyóssá válik. Meghatározása *gyűrűs-golyós lágyuláspont vizsgálattal* történik. A vizsgálathoz használt készülék váza két egymástól 25 mm távolságra lévő acéllap. A felső acéllapon kialakított környílásba kell elhelyezni a bitumennel megtöltött 16 mm belső átmérőjű, 6,4 mm magasságú rézgyűrűt. A bitumenre 3,5 g tömegű 9,5 mm átmérőjű acél golyót kell helyezni. Az összeállított berendezést vízfürdőbe kell állítani, amelynek hőmérsékletét percenként 5°C-kal kell növelni. A hőmérséklet növekedésének hatására a bitumen meglágyul, a golyó súlya a bitumet lehúzza a 25 mm-rel mélyebben lévő alsó szintre. Az ehhez tartozó hőmérséklet a lágyuláspont (35°-80°C).



Töréspont

A bitumen alacsony hőmérsékleten rideggé, törékennyé válik. A töréspontot a *Fraas-féle* készülékkel határozzuk meg. A készülék egy olyan mechanikus szerkezet, amellyel egy 0,4 g bitumennel bevont 2×4 cm méretű acéllemezt lehet folyamatos hűtés közben előírás szerint hajlítgatni. A hajlított acéllemez alakváltozásait a bitumenfilm egy bizonyos hőmérsékletig jól követi, majd elkezd repedezni. A töréspont az a hőmérséklet, amelyen a bitumenfilm a hajlítás hatására megreped. Az útépitési bitumenek töréspontja -20°C és $+3^{\circ}\text{C}$ között változik.

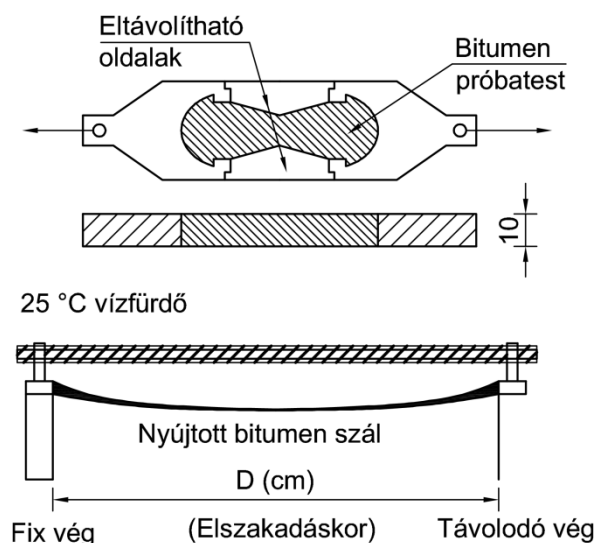
A bitumen tulajdonsága annál kedvezőbb, minél alacsonyabb a töréspontja a lágyulásponthoz képest. Ezt a viszonyt a *plastikus hőtávolság* fejezi ki, amely a lágyuláspont és a töréspont közötti hőmérséklet különbség. (kedvező: $60-65^{\circ}\text{C}$)



Töréspont meghatározása

Duktilitás

A bitumen szívósságára és képlékenységére utal a bitumen *nyújthatósága*. A duktilitást 25°C hőmérsékletű vízfürdőbe helyezett szabványos méretű, piskóta alakú próbatesten mérjük, amelyet 5 cm/perc sebességgel nyújtunk. A duktilitás az a cm-ben kifejezett távolság, ahol a megnyújtott bitumenszál elszakad. Kemény bitumeneknél ennek értéke 5–50 cm, lágy bitumeneknél minimum 100 cm.



Duktilitás meghatározása

Öregítési vizsgálat

Az öregítési vizsgálat, vagy állandósági próba azt vizsgálja, hogy magas hőmérsékleten hogyan változnak meg a bitumen minőségét kifejező jellemzők. Az öregítési vizsgálatkor szabványos kialakítású tálban 50 g bitumént 5 óra hosszú ideig, 163°C-on tárolunk. Az öregítés után mérjük a súlyvesztést, amely nem lehet több 1%-nál. Ezen kívül újra meg kell határozni a 25°C-on mért penetrációt és duktilitást. Az öregítés után mért értékeknél a csökkenés nem lépheti túl a szabványban meghatározott értéket.

Útépítési bitumenek választékai

Az útépítési bitumenek választékait a 25°C-on mért penetrációjuk alapján különítik el és nevezik meg. A szabványos választékok ezek szerint:

20/30, 35/50, 50/70, 70/100, 100/150, 160/220

A bitumeneket feloszthatók

- lágy bitumenekre: 100/150, 160/220;
- közepesen kemény bitumenekre: 50/70, 70/100;
- kemény bitumenekre: 20/30, 35/50.

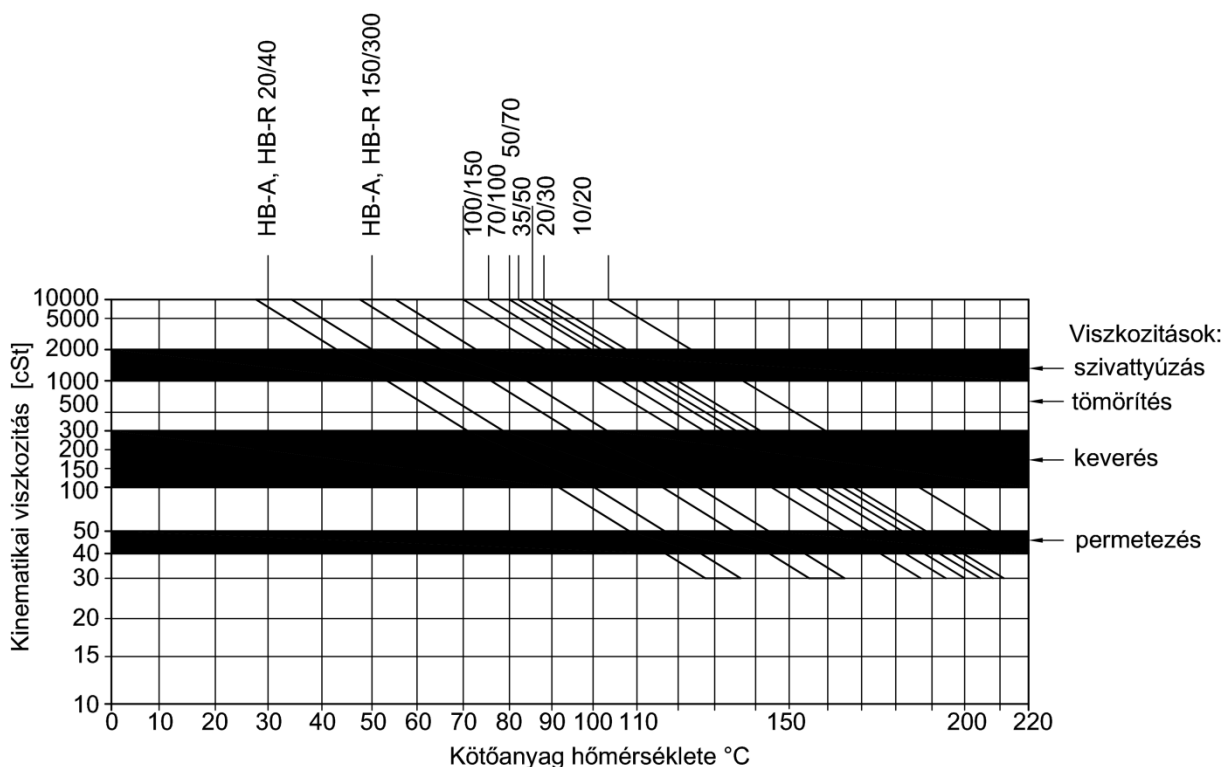
Útépítési bitumen hőmérséklete és viszkozitása

A bitumen termoplasztikus tulajdonsága miatt melegítés hatására először meglágyul, majd híg folyósá válik. Ez teszi lehetővé a különböző technológiai műveletek végrehajtását.

Az egyes műveletekhez tartozó viszkozitások:

- *szivattyúzási* viszkozitás, amelyen a bitumént egy tartályból át lehet szivattyúzni, vagy gravitációs úton ki lehet folytatni: 1000–2000 cSt
- *tömörítési* viszkozitás, amelyen az aszfaltkeverék bedolgozható, a keverék előkészítésekor, a tömörítés kezdetekor: 100–300 cSt
- *tömöríthetőség végét jelző* viszkozitás, amikor a tömörítés hatástalanná válik, ezért az befejezendő: 2000 cSt
- *keverési* viszkozitás:
 - durva kőanyag felhasználásakor: 150–300 cSt
 - finom kőanyag felhasználásakor: 100–200 cSt
- *permetezési* viszkozitás, amelyen a permetező gépkocsi szórófejein (fúvókáin) keresztül egyenesen az út felületére permetezhető: 40–50 cSt

A különféle keménységű bitumenek ugyanazt a viszkozitást más-más hőmérsékleten érik el. A hazai útépítési bitumen és hígított bitumen fajták hőmérséklete és viszkozitása közötti összefüggést, valamint a munkaműveletekhez tartozó viszkozitási határértékeket egyetlen diagramban lehet ábrázolni. Ebből leolvashatók azok a hőmérsékleti határok, amelyek között az adott bitumen viszkozitása a munkaműveletnek megfelel.



Bitumenek hőmérséklet-viszkozitás összefüggései az egyes munkaműveletekkel

Útépítési bitumen szállítása, tárolása és kezelése

Az útépítési bitument a gyártó üzemben hőszigetelt tartálygépkocsiba töltik. A tartálykocsiba töltött bitumen hőmérséklete 170–200 °C, amely naponta 15–40 °C-al csökken. A bitument szivattyúval fejtik át a tárolótartályba. Amennyiben a bitumen hőmérséklete a szivattyúzási hőmérséklet alá csökken akkor azt fel kell melegíteni. Ezt a célt szolgálja a bitumentároló és szállító tartályokba beépített csőkiégő, amiben forró olajat áramoltatnak a lehűlt bitumen felmelegítésére.

A bitument fűtőberendezéssel ellátott tárolótartályban kell tárolni. A bitumen térfogata melegítéskor jelentősen megnő (25 °C-ról 180 °C-ra melegítve 8–10%-al) ezért a bitumentároló tartályokat csak térfogatuk 70–80%-ig szabad feltölteni, számítva az esetleges felhabzásra is.

A forró bitumenbe kerülő víz hatására a bitumen erősen felhabzik, és a tárolóedényből kifuthat, ami tűz- és balesetveszélyes. A bitumen tárolásakor és felhasználásakor ezért gondosan vigyázni kell arra, hogy a forró bitumenbe víz ne kerüljön. A habzást felületi feszültséget csökkentő habzágátló anyaggal lehet megszüntetni (pl.: szilikon olaj).

Hígított bitumen

A hígított bitumen a félmeleg eljárással készített, utántömörődő aszfaltok – az aszfaltmakadámok – általánosan használt kötőanyaga.

A hígított bitument lágy bitumenből állítják elő úgy, hogy magas hőmérsékleten 15–35% könnyű gázolajat kevernek hozzá. Ennek hatására a bitumen viszkozitása lecsökken, léghőmérsékleten vagy alacsonyabb hőmérsékleten (60–100 °C) keverésre, permetezésre alkalmassá válik.

A hígított bitumen kötése fokozatosan alakul ki a hígító anyag elpárolgásának függvényében. A kötési időt a hígító anyag minősége és az időjárás szabja meg. Könnyebb, alacsonyabb forráspontú

gázolajszármazékot használva hígító anyagként a kötési idő lecsökken. A kötés kialakulása – a hígító anyag elpárolgása – után visszamaradó bitumen a gyártáskor használt lágy bitumen, aminek keménységét tovább csökkenti a visszamaradó hígító anyag. A hígított bitumen kötőanyag felhasználásával kisebb stabilitású és teherbírású pályaszerkezetek készíthetők, amelyek azonban jól megfelelnek az erdészeti utak forgalmának.

Hígított bitumen viszkozitása

A hígított bitumen viszkozitását az oldószer mennyisége, minősége és az alapanyagként felhasznált bitumen keménysége határozza meg.

A hígított bitumen folyósságára jellemző viszkozitás az a *másodpercben kifejezett kifolyási idő*, amely alatt az 50 cm^3 mennyiségű 30 °C hőmérsékletű hígított bitumen a 10 illetve a 4 mm átmérőjű lyukon kifolyik. A viszkozitás meghatározására használt utikátrány-viszkoziméterben a hígított bitumen hőmérsékletét vízfürdővel lehet szabályozni.

Hígított bitumen lobbanáspontja

A lobbanáspont a hígított bitumen *tűzveszélyességére* jellemző. Az a hőmérséklet, amelyen a *Marcusson-féle készülékben* melegített hígított bitumenből eltávozó gőzök a levegővel elegyedve, láng hatására az anyag egész felületére kiterjedve ellobban.

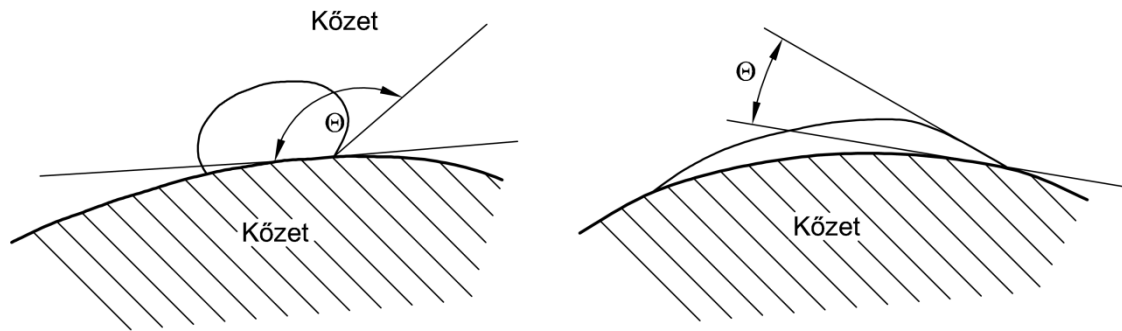
A Marcusson-féle lobbanáspont meghatározó készülékben a vizsgált hígított bitument homok fürdőben melegítik, az eltávozó gázokat gyújtóláng lobbantja lánggra. A hígított bitumen lobbanáspontja 70 °C körül mozog.

Hígított bitumen tapadása és a tapadás vizsgálata

A *kellő stabilitású és teherbírású pályaszerkezet építésének alapfeltétele a hígított bitumen és a kőzet között megfelelően kialakuló tapadás*. Ennek két előfeltétele, hogy a folyékony halmazállapotú hígított bitumen nedvesítse a kőzet felületét és működjenek a kötőanyag és a kőzet felülete között az adhézió és a másodlagos kémiai erők.

A kőzet felületét akkor nedvesíti jól a hígított bitumen, amikor azon vékony rétegben szétterül. Megfelelő nedvesítéskor a Θ peremszög nagysága nullához közelít. A poláros kőzet felületén az ugyancsak poláros víz molekulái erősebben tapadnak meg, mint az apoláros hígított bitumen. A nedves kő felületéről ezért a víz leszorítja a hígított bitument, amely filmszerű bevonat helyett cseppekben gyűlik össze a kőzet felületén. A hígított bitumen tapadóképessége tapadásjavító anyaggal (Evazin) növelhető, amit gyártás, vagy felhasználás közben lehet az anyagba keverni.

A tapadás vizsgálatához $300\text{--}300\text{g}$, $5\text{--}10\text{ mm}$ szemnagyságú, frissen tört, mosott és szárított dunai fehér kavicsot és zalahalápi bazalt zútottkövet kell $15\text{--}15\text{g}$ 70 °C hőmérsékletű hígított bitumennel összekeverni. A keveréket 2 órán keresztül levegőn, majd 24 órán keresztül desztillált víz alatt kell tartani. Jónak ítéltető meg a tapadás, ha az ásványi anyag felületének több mint 90% -át bevonja a hígított bitumen.



A nedvesítés feltétele

Hígított bitumen választékai

Az útépitéshez használható hígított bitumen választékait a bitumen származási helye és viszkozitásuk szerint különböztetjük el. Így megkülönböztetünk:

- HB-A 20/40, HB-A 150/300 arab kőolajból
- HB-R 20/40, HB-R 150/300 egyéb kőolajból

származó hígított bitument.

Hígított bitumen szállítása, tárolása

A hígított bitument *tartálykocsikban szállítják*, amelyből a tárolótartályba általában melegítés nélkül lehet átfejtani. A hidegebb időszakokban a szállítótartályokat hó ellen szigetelni kell, vagy a tartályban lévő csőkígyóban áramoltatott forró gőzzel fel kell melegíteni a lefejtési, vagy szivattyúzási viszkozitás eléréséig. A hígított bitument fogaskerék szivattyúval emelik át az acél tárolótartályokban, amelyekben a felmelegítést szintén csőkígyó teszi lehetővé.

A tárolótartály feltöltésénél figyelembe kell venni a melegítés hatására bekövetkező térfogat növekedést, valamint a víz hatására bekövetkező habzás lehetőségét. A hígított bitumen esetében különösen vigyázni kell arra, hogy a tartályokba víz ne kerüljön.

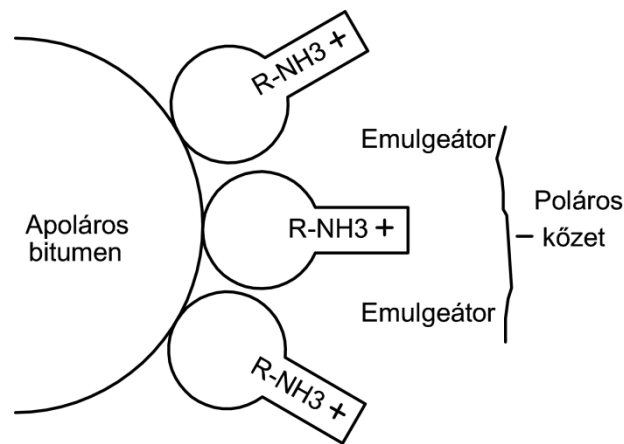
A hígított bitument a különböző technológiai folyamatokhoz szükséges viszkozításúra kell beállítani, ezért 70–150°C-ra fel kell melegíteni. Ez a hőmérséklet magasabb a hígított bitumen lobbanáspontjánál (70°C), ezért a munkák fokozottan tűz- és robbanásveszélyesek, ezért *nyílt láng használata szigorúan tilos*.

Bitumenemulzió

A bitumenemulzió *bitumen, víz és emulgeátor keveréke*. A bitumenemulzióban az 1–5 mikron nagyságúra diszpergált bitumen a vízben egyenletesen elosztva lebeg. A keverék stabilitását az emulgeátor biztosítja, amely egy heteropoláros vegyület. Töltés nélküli hidrofób része a bitumenhez tapad, poláros vége a vízben disszociál, ezáltal a bitumen kifelé poláros jelleget mutat.

Az azonos töltést mutató bitumenszemcsék egymást folyamatosan taszítják, ezért a bitumenszemcsék hosszú ideig lebegő állapotban maradnak. A kőzet felületéhez érve, vagy a víz elpárolgásakor az egyensúly felborul, a bitumen a kőzet felületén kiválik, bekövetkezik az emulzió törése. A törés után visszamaradó bitumen tulajdonságai az alapanyagként felhasznált bitumen tulajdonságaival egyeznek meg. Az erdészeti útépitéseknél azért jelentős ennek a kötőanyagának a használata, mert hidegen, melegítés nélkül felhasználható, permetezhető, keverhető, valamint

hidegen tárolható aszfalt is készíthető belőle. Az előzőeken túl további kedvező tulajdonsága, hogy megtörésekor bitumenre és vízre válik szét, a bitumen megtapad a kőzet felületén, a víz a környezetet nem szennyező anyagként távozik.



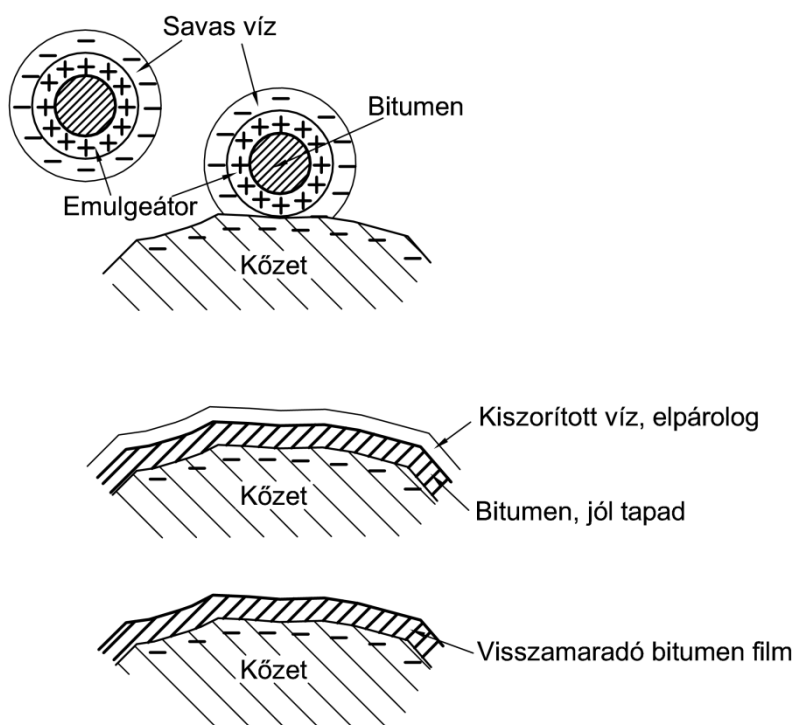
Kationaktív bitumenemulzió

Bitumenemulzió törése

A bitumenemulzió törésének folyamata az emulgeátor tulajdonságaitól függ, amely szerint megkülönböztetünk:

- *kationaktív* bitumenemulziókat,
- *anionaktív* bitumenemulziókat.

A *kationaktív bitumenemulzió* emulgeátora zsírsavamin (RNH_2) és sósav (HCl), amelyeket vízben oldva só (RNH_3Cl) keletkezik. Ennek hidrolízisekor a leszakadó Cl^- ion a vízhez kötődik és a megmaradó sósavval az emulzió vizét savas kémhatásúvá teszi. Az RNH_3^+ molekula hidrofób része a diszpergált bitumenszemcséhez kötődik, azt védőburokként vonja be. Az emulgeátorból kialakuló védőburok külső felületét az emulgeátor molekula pozitív elektromos töltésű hidrofil végei alkotják, ezért a bevont bitumenszemcse pozitív töltést mutat, ezáltal erősen vonzódik a negatív töltésű kőzetek felületéhez. A kationaktív bitumenemulzió ionos kötése a kőzet felületéhez erősebb, mint a víz kötése, ezért a vizet a kőzet felületéről leszorítja. A kationaktív bitumenemulzió a nedves (nyirkos) felületen is köt, sőt a jobb terülés miatt a kissé nyirkos kőzet a tapadást javítja.



Kationaktív bitumenemulzió tapadása a kőzet felületéhez

Az *anionaktív bitumenemulzió* fizikai-kémiai felépítése hasonló. Az emulgeátor ekkor zsírsav (RCOOH) és lúg (NaOH), ami a bitumenszemcséknek negatív védőburkot kölcsönöz. Az azonos töltésű részek egymást taszítva lebegnek. A kőzet felületéhez érve az elektromos töltések egyensúlya megbomlik és az emulzió a kőzet felületén kiválik. A *tapadás a kőzethez azonban csak a víz eltávozása után következik be, kémiai értelemben vett kötések kialakulása nélkül.*

A sok víz jelenléte (nedves kőzet, eső stb.) az anionaktív bitumenemulzió kötődését a kőzethez hátrányosan befolyásolja. A kötés teljes kialakulása előtt a kőzet felületéről az anionaktív bitumenemulzió könnyen lemosódik.

Útépítési célra *napjainkban kizárólag a kationaktív bitumenemulziót használják* előnyösebb tulajdonságai miatt.

Bitumenemulzió kinézetének leírása és kémhatása

A *kationaktív bitumenemulzió* külső megjelenését szemrevételezéssel állapítjuk meg. *Színe barnás-fekete*, a tároló edényben el nem keverhető kemény bitumenréteg nem látható, 24 órán keresztül nyugalomban tartva a felszínen vékony hártya keletkezhet, kialakulhat egy többé-kevésbé elkülönülő vizes réteg, amelyet egyszerű keveréssel meg lehet szüntetni.

A *kémhatást* a pH érték jellemzi, amit indikátor papírral határozzunk meg. Értéke 2–6 között változik.

Bitumen emulzió viszkozitása

A kationaktív bitumenemulzió viszkozitását *utikátrány-viszkóziméterrel határozzuk meg*. A kationaktív bitumenemulzió viszkozitása az 50 cm³ bitumenemulzió kifolyási ideje 4 mm átmérőjű kifolyónyíláson, 20, illetve 40°C-on.

Kationaktív bitumenemulzió törési ideje

A technológia szempontjából talán legfontosabb jellemző a *törési idő*. Ennek vizsgálatához az építéshez felhasznált kőzetből 100 g-ot 5 cm³ vízzel benedvesítünk, majd 10 g bitumenemulzióval összekeverjük. A keverés után 10 egyenlő részre osztjuk az anyagot és óraüvegre helyezük. Az óraüvegeken feltüntetjük azokat az előre meghatározott, keveréstől eltelt állásidőket, amelyek után a törést vizsgáljuk. Ezeknek az állásidőknek az elteltével az óraüvegről gyenge vízszaggal lemossuk az emulziót. A mosás befejezése után a mintákat szobahőmérsékleten kiszárítjuk és megvizsgáljuk a bevont felületeket. *Ahhoz a mintához tartozó állásidő, amelyen a zúzottkő felületén egyenletes, fekete bitumenes bevonat látható a törési idő percben kifejezve.* A vizsgálatához UNZ5/12 uzsai bazaltot és 5/12 hegyeshalmi zúzott kavicsot kell használni. Erdészeti útépitéseknél célszerű a vizsgálatokat az építéshez használt kőanyagon is elvégezni.

Kationaktív bitumenemulzió tapadóképessége

A tapadóképesség vizsgálatához 100 g zúzottkővet összekeverünk 10 g bitument tartalmazó emulzióval és 24 órán keresztül, illetve a törési idő elteltével 300 cm³, 60°C hőmérsékletű desztillált vizet adunk hozzá. A keveréket 18 órán keresztül 60°C-on tároljuk. Ezután a vizet leöntjük és szemrevételezéssel megállapítjuk a bevont felület százalékos arányát. A vizsgálatához UNZ5/12 uzsai bazaltot és 5/12 hegyeshalmi zúzott kavicsot kell használni. Erdészeti útépitéseknél célszerű a vizsgálatokat az építéshez használt kőanyagon is elvégezni.

Kationaktív bitumenemulzió választékai

A kationaktív bitumenemulziót a gyártó háromféle *törési idővel* gyártja:

- *gyorsan törő* bitumenemulzió (Gy jelű), amely permetezési technológiához használható;
- *közepesen törési idejű* bitumenemulzió (K jelű), amely permetezési és keverési technológiához egyaránt használható;
- *lassan törő* bitumenemulzió (L jelű), amelyből tárolható hideg aszfaltokat lehet keveréssel előállítani.

A bitumenemulzió fajtáját a meghatározza a *technológia* is. Ennek alapján megkülönböztetünk:

- ragasztáshoz felhasznált: R jelű,
- permetezési felületi bevonatokhoz használt: FB jelű,
- keverési, terítési felületi bevonatokhoz használt: KFB jelű,
- aszfaltkeverékhez használt: EA jelű

bitumenemulziót.

A bitumenemulziót többféle bitumentartalommal gyártják:

- 40% bitument tartalmazó emulzió számjele: 40,
- 60% bitument tartalmazó emulzió számjele: 60,
- 65% bitument tartalmazó emulzió számjele: 65,
- 70% bitument tartalmazó emulzió számjele: 70.

A felhasznált útépitési bitumen szerint az emulzió lehet:

- 80-as penetráció értékű, számjele: 70/100,
- 200-as penetráció értékű, számjele: 160/220,

- elasztomerrel modifikált útépitési bitumen, betűjele PmB-A,
- plasztomerrel modifikált útépitési bitumen, betűjele PmB-B.

A termékfajta elnevezésének tartalmazni kell:

- a termék nevét,
- a termék fajta utaló betű-, illetve számjeleket, valamint a gyártáshoz felhasznált útépitési bitumen termékre utaló számjelet vagy betűjelet,
- a vonatkozó műszaki előírás azonosítóját.

Pl.: Kationaktív bitumenemulzió, Gy-R 60 (160/220), ÚT 2-3.504

Általános útépitési körülmények között a kationaktív bitumenemulzió választékai közül azt kell kiválasztani, amely megfelel a felhasználás módjának, a kőanyag minőségének, az alkalmazott berendezéseknek és az időjárási viszonyoknak. Különleges beépítési körülmények között célszerű a gyártóval konzultálni, aki az építés körülményeinek figyelembevételével a körülményekhez legjobban alkalmazkodó bitumenemulziót tudja rendelkezésre bocsátani.

Kationaktív bitumenemulzió szállítása, tárolása, kezelése

A kationaktív bitumenemulziót *tartálykocsiban szállítják*. Fontos, hogy a tartály tiszta legyen, mert szennyeződések hatására az emulzió megtörik. A törés után kivált bitument csak melegítéssel lehet eltávolítani. A bitumenemulziót technikailag korlátlan távolságra lehet szállítani, de 40% víztartalma miatt a gazdaságos szállítás határa mintegy 100 km.

A bitumenemulzió tárolására bármely folyadék tárolására alkalmas tiszta tartály megfelelő (acél, beton stb.) A tartályt csak akkor kell a lehűlés ellen szigetelni, amikor a bitumenemulziót fagyponthoz alatti hőmérsékleten is tárolni kell. Elvben a tároló tartályban lévő bitumen felmelegítéséről sem kell gondoskodni, bár célszerű ennek lehetőségét egy csőrendszer beépítésével biztosítani, mert a tartályban véletlenül megtört bitumenemulziót csak felmelegítés után lehet eltávolítani, illetve hideg időben a hőmérséklet csak így tartható fagyponthoz felett.

Tárolás közben a bitumenemulzió lassan ülepedik, ami azonban keveréssel megszüntethető. A tárolt bitumenemulziót ezért hetente legalább egyszer át kell keverni. Ekkor a lefejtéshez használt fogaskerék szivattyúval a tartályból kiszivattyúzott bitumenemulziót egy csővezetéken keresztül visszajuttatjuk a tartályba.

A kationaktív bitumenemulzió vízzel hígítható, de pH-ját sósav adagolással 2–5 közötti értéken kell tartani.

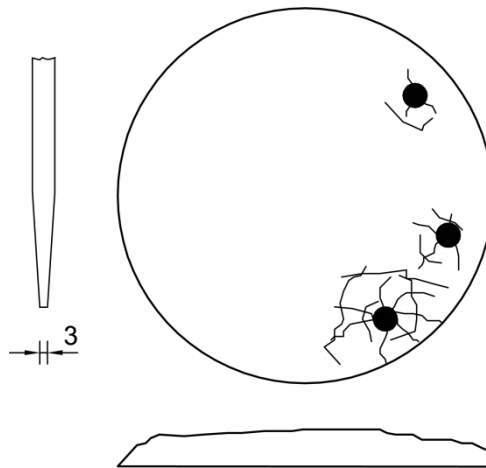
Cement

A cement *finomra őrölt hidraulikus kötőanyag*, amely *vízzel keverve levegőn, vagy víz alatt kőszerűen megszilárdul, és a hozzákevert szilárd ásványi anyagokat vízben oldhatatlanul összeköti*. Utak pályaszerkezetének építésénél cementes talajstabilizáció és betonburkolatok készítéséhez használunk.

A cement kötőanyagot felhasználó szerkezeteket a kötés intenzív szakaszában folyamatosan nedvesen kell tartani. Ezzel a zsugorodási hajlam csökken, a szilárdulás folyamata kedvezőbbé válik. A cementben lejátszódó kémiai folyamatok évekig eltartanak, azért a beton kötése is hosszú ideig tartó folyamat.

A cementes talajstabilizáció építéséhez bármely általánosan használt cementet fel lehet használni. A betonburkolat készítéséhez azonban olyan cement szükséges, amelyből nagy húzószilárdságú, jó minőségű beton állítható elő úgy, hogy a hajlításból eredő húzófeszültséget vasalás nélkül felvegye és ezáltal nagy tömegben beépítve se legyen hajlamos a zsugorodási repedések kialakulására. A hazai betonútépítés hagyományainak hiánya miatt nálunk kimondottan útépítési célra nem gyártanak cementet. Felhasználás előtt ezért ki kell tapasztalni, hogy melyik gyárból származó cement felel meg céljainknak és a betonkészítés receptjét ennek megfelelően kell összeállítani.

A betonburkolatok készítésénél fontos ismerni a kötés kezdetének idejét azért, hogy a bedolgozásra rendelkezésre álló időt meg lehessen határozni. A kötés kezdetének és végének idejét közelítően egy előírt folyósságú cementpépből készített lepényen lehet meghatározni. A szilárduló lepény szélétől 15 mm-re 15 percnként egy szabványosan kialakított fa rudacskát kell beszúrni, aminek hatására a lepényben repedések keletkeznek. A kötés kezdete a víz hozzáadásától eltelt az az időtartam, amidőn a lepénybe szúrt rudacskából kiinduló repedés eléri a lepény szélét. A kötés vége az az időpont, amikor a lepény felülete körömmel, enyhe nyomással nem karcolható.



Cement kötési idejének meghatározása

Cementek választékai

A cementeket *28 napos nyomószilárdságuk és összetételük alapján osztályozzák*. A 28 napos nyomószilárdságot előírás szerinti összetételű cementhabarcsból készített 7,07 cm él hosszúságú kockán határozzák meg. Az eredményt 10 MN/m^2 (kp/cm^2) dimenzióban adják meg. A gyártott cementek szilárdsága eszerint lehet:

550 (kp/cm^2) 450 (kp/cm^2) 350 (kp/cm^2) 250 (kp/cm^2)

A szilárdság mellett a cementet összetétele is jellemzi, amit szintén fel kell tüntetni. Az összetétel feltüntetésénél ki kell térni az alapanyag vegyi összetételét leíró megnevezésre, a felhasznált *alkalikus gerjesztőanyag megnevezésére és tömegarányban kifejezett mennyiségére*.

Hazai viszonylatban a szilikát alapanyagú portland cementeket gyártják (pc) kohósalak, vagy pernye alkalikus gerjesztőanyaggal. Ezek szerint megkülönböztetünk:

- portland cementet (pc)
- kohósalak-portlandcementet (ks pc):

legfeljebb 20 tömeg % granulált kohósalak tartalommal (ks pc 20)
20–40 tömeg % közötti granulált kohósalak tartalommal (ks pc 40)

- pernye-portlandcementet (ppc):
legfeljebb 10 tömeg % pernyetartalommal (ppc 10)
10–20 tömeg % pernyetartalommal (ppc 20)

A cementek szabványos megnevezése a fenti adatokat a következő sorrendben tartalmazza:

- 28 napos szabványos nyomószilárdság,
- különleges tulajdonságra utaló jel,
- cementfajták összetételére utaló jel.

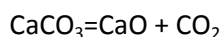
Pl.: a 350-K ppc 10 jelű cement szilárdsága 35 MN/m² késleltetett szilárdulású (kötési idejű) pernye-portland cement, amely legfeljebb 10 tömeg % pernyét tartalmaz.

Cementek tárolása

A cementet *ömlesztve (tároló silóban)*, vagy *zsákolva* lehet beszerezni és tárolni. Erdészeti útépítéseknél, ahol nem áll rendelkezésünkre cementadagolóval egybeépített talajmaró és a cementszállító tartály-tehergépkocsi mozgásához sincs elég hely, a zsákolt cementet is fel lehet használni megfelelő munkamódszer kialakításával. A zsákolt cementet száraz helyen kell tárolni. A központi tároló helyről az útépítés helyszínére csak az egy nap alatt felhasználható mennyiséget célszerű kiszállítani.

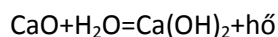
Mész

A mész kötőanyagot mészkőből égetéssel állítják elő. Az égetés alatt a következő vegyi folyamat játszódik le:



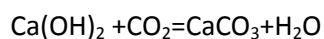
Az égetés eredményeként égetett darabos meszet kapunk, amelyet közvetlenül nem lehet felhasználni, ezért azt őrlik, illetve vízzel összekeverve oltják. A liszt finomságúra őrölt darabos égetett mész az égetett mézspor.

Az égetett meszet vízzel keverik össze, amit a mész oltásának neveznek. Az oltás eredménye a kalciumhidroxid:



A keletkező oltott mész nagy diszperzitású, ezért a kémiai folyamat lejátszódásához feltétlenül szükséges vízen kívül további vízmolekulák megkötésére is képes, ennek hatására zsíros tapintású, kenhető anyag keletkezik. A meszet kevés vízzel (mintegy 32%) porrá lehet oltani. A keletkező választék a méshidrát, vagy porrá oltott mész. Több víz adagolásával (50–70%) kapjuk a mézpépet, vagy oltott meszet.

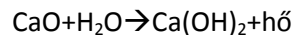
A szilárdulás vegyi folyamata:



amelynek eredményeként a cementnél kisebb szilárdság alakul ki. Az útépítésben a meszet ezért nem közvetlenül szilárdságnövelő tulajdonsága miatt, hanem kémiai hatásai miatt használjuk.

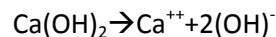
A mész különböző fajtái közül a felhasználás körülményei és a technológia előírásai alapján kell a megfelelőt kiválasztani. Az útépitésben a meszet általában meszes talajstabilizáció készítésére használják. *A legfontosabb hatások ekkor a talajok víztelenítése, a kötött talajrészecskék kémiai összetapadása (aggregációja), az ionkicserélés és a puzzolános reakciók.* Hosszú távú hatásként felléphet karbonátosodás is. A kívánt hatásokat égetett mész, méshidrátt és méspép bekeverésével érhetjük el. Tárolása zsákokban, vagy por alakban, tartályokban történik.

Az őrölt égetett fehérmeszet akkor célszerű használni, amikor a talajt ki kell szárítani. A szárító hatás a mész oltódása miatt következik be:

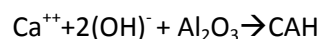
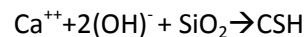


Egy kg mész oltódásakor mintegy 300 g pórusvizet von el a talajból. Nagyon jelentős a reakcióhő kialakulása miatt bekövetkező párolgás és a mész bekeverésével együtt járó átfogatás, szellőztetés. Gyakorlati szabályként elfogadhatjuk, hogy *a talaj víztartalma az őrölt égetett mész bekeverése után a felhasznált mész arányának megfelelően csökken.* Ez egy azonnal észlelhető hatás, aminek eredményeként a kezelt kötött talaj beépítésre alkalmassá válik.

A mész bekeverése után jelentkező azonnali hatást követi egy hosszú ideig tartó folyamat. Ezt a kalciumhidroxid, illetve a közvetlenül bevitt méshidrátt disszociációja vezeti be:



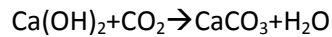
A disszociált ionok növelik az elektrolit koncentrációt és a pórusvíz pH értékét. Ennek hatására oldódásnak indulnak az agyagrészecskékben lévő SiO_2 és Al_2O_3 vegyületek, valamint az amorf felületetek anyagai. A hatás ionkicserélés, hidrogénhid képzés és puzzolános reakció.



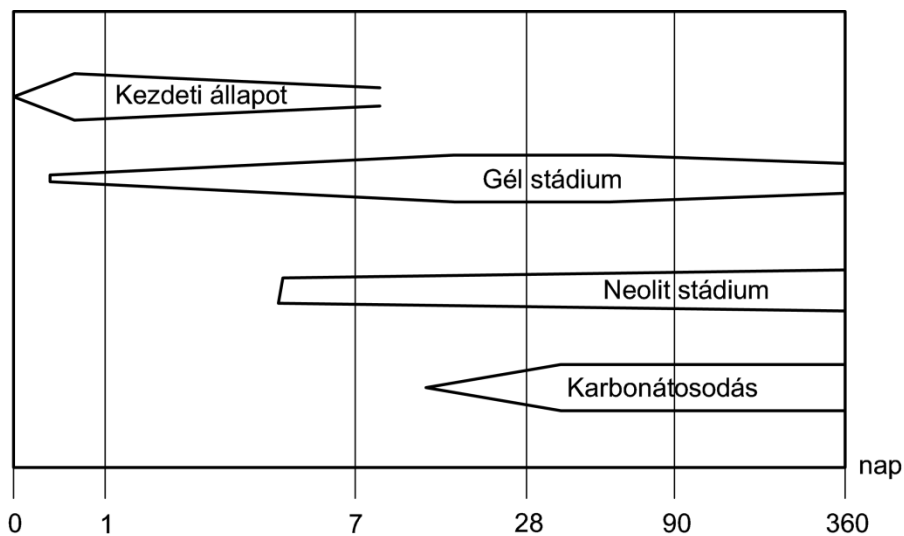
Ezeknek a reakcióknak az eredménye a megkívánt talajmechanikai hatás, amelyet szemmel láthatóan is érzékelni lehet és talajfizikai vizsgálatokkal kimutathatók.

A hosszú távú folyamat több évig is eltarthat és különböző szakaszokra osztható a jellemző változások szerint. Az azonnali reakció a vízháztartás változásában jelentkezik, ami a szívóerők megnövekedésében és a morzsalékosná válásban jut kifejezésre. Ebben az időben indul meg az ionkicserélés. A nátrium és egyes más kationok kalcium ionokkal cserélődnek ki. A szívóerők és a részecskék között megváltozott kapcsolatok miatt megindul egy struktúraváltozás: az agyagrészecskék nagyobb szemcsékké egyesülnek, tapadnak össze. Talajmechanikai szempontból ez alatt az idő alatt nő meg a plasztikus határ, csökken a plasztikus index, és nő meg a konzisztencia index. Ezzel egy időben megváltozik a *Proctor*-görbe helyzete is, a legnagyobb száraz halomsűrűség lecsökken, az optimális tömörítési víztartalom megnő. A pH értéktől függő összetapadási folyamat a talaj finomrész tartalmától és a talajhoz adott mész mennyiségétől függ. A reakció 2–3% mésztartalom után kimerül. Az azonnali reakciót követő ionkicserélődés hatását a talaj ásványi összetétele befolyásolja, amelyben meghatározó az ionkicserélődési kapacitás. Ekkor alakul ki a gél állapot. A mész, a szilikátok és alumínátok között meginduló puzzolános reakciók a hidratáció után néhány nappal megindulnak és 1–5 évig is eltarthatnak. Ezt a szakaszt a neolit szakasznak hívjuk. A

szilikátok és aluminátok gélszerűen kitöltik a hézagokat, a puzzolános reakciók hatására a szemcsék cementálódnak vagy összeragadnak, növelve ezzel a talaj szilárdságát. Az eredmény függ a mészmennyiségtől és a talaj finom részének ásványi összetételétől. Amikor a talaj ásványi összetétele nem ismert, a hatást gyors vizsgálatok alapján kell megjósolni. A kis reakcióképességű agyagásványok esetében ezek a reakciók nem játszódnak le, ezért szilárdságnövekedést sem tapasztalunk. Ilyenkor a mész reakcióképességének növelésével érhetünk el eredményt. További hosszú távú reakció a karbonátosodás:



Építéstechnikai szempontból ezt a folyamatot inkább kedvezőtlennek ítélnénk meg, mert az egyesével képződő karbonát kristályok nem kapcsolódnak össze, ezért a kezelt réteg szilárdságcsökkenéséhez vezethet. Ezzel a hatással a burkolt, vagy levegőtől elzártan beépített stabilizációknál nem is számolhatunk, mert a reakció lefolyásához szükséges levegő nem áll rendelkezésre.



A mész hatásának szakaszai

MÁSODLAGOS IPARI NYERSANYAGOK

Másodlagos ipari nyersanyagok jelentősége

A föld lakosságát érintő világméretű problémák, mint a

- hagyományos energiaforrások kimerülése,
- a hulladék, a szemét felhalmozódása,

nem kerülte el az útépités területét sem. Az útépités speciális problémája ezeken túl a kő- és kavicsbányák kitermelhető készletének csökkenése a szigorodó környezetvédelmi előírások miatt. Az egyik oldalon szűkülő anyagforrások, a másik oldalon a felhalmozódó feleslegek új megoldások keresését indították el:

- új energiatakarékos eljárások kidolgozására,
- a jó minőségű ásványi anyagok helyettesítésének lehetőségére.

A fejlesztések irányának meghatározása érdekében új alapelveket kellett megfogalmazni:

- a klasszikus alapelvek felülvizsgálatával meg kell teremteni a jó minőségű ásványi anyagokkal való ésszerű takarékoság alapjait;
- energiatakarékos technológiát kell megvalósítani;
- a helyi talajokat széles körben be kell vonni a pályaszerkezet építésébe;
- új módszereket kell kidolgozni a helyi talajok alkalmassá tételére;
- a nagy mennyiségben keletkező ipari hulladékok és melléktermékek felhasználásával az értékes anyagokat helyettesíteni kell, illetve ezeket alkalmassá kell tenni az útépités céljaira.

Az ipari melléktermékek útépitési hasznosítása előnyös, mert:

- a természetes építőanyag forrásokat nem érinti;
- a környezetet szennyező és csúfító hányók létesítését részben szükségtelenné teszik;
- értékes területeket szabadít fel;
- felhasználásukkal gyakran megoldható egy-egy régióban a hiányzó szemcsés anyag pótlása.

Kő- és kavicsbánya meddők

A kiváló minőségű ásványi anyag termelésekor melléktermékek keletkeznek, amelyeket depóniákban helyeznek el. Ez olyan mennyiséget érhet el, hogy felhalmozódva akadályozhatja a bányák és anyagnyerőhelyek művelését is. A termelés folyamatában ezek a

- lefedéskor,
- a zúzottkő gyártásakor,
- a homokos kavics osztályozásakor keletkeznek.

A különböző meddők, különböző összetételben keletkeznek, de egy fajtán belül összetételük egyenletes. Megismerve ezeknek a meddőknek az összetételét el lehet dönteni, hogy az erdészeti útépités területén milyen ezek felhasználási lehetősége. A deponáláskor összekeveredő anyagok minősége rendkívül változó lesz, ami a felhasználás lehetőségét korlátozza.

A kő- és kavicsbánya meddőket általában *alaprétegekbe* építve lehet felhasználni:

- *Meddős zúzottkőként*, ami az előtörő előtt vagy után leválasztott 0/50, 0/80 mm-es bányászati meddő. Erdészeti utakon mechanikai stabilizáció készíthető belőle, amennyiben kielégíti a szemeloszlási és kötöttségi előírásokat.
- *Meddős zúzalék*, amely 0/5-0/30 mm méretű üzemtelepi meddő, ami kötőanyagok alapok készítésére használható.

Kohósalakkő

A kohósalakkő a *nyersvas gyártás mellékterméke*. A nyersvas csapolásakor a föltte úszó salakot hűtőárokba eresztik, ahol 6–8 nap alatt kihűl és megszilárdul. A keletkező 10–20 cm vastag kristályos szerkezetű lepényt feltörik, ez a kohósalakkő. A kohósalakkövet zúzás és osztályozás után útalapkőként lehet hasznosítani. Előnyös tulajdonsága, hogy levegővel és a csapadékkal érintkezve lassú hidraulikus kötések indulnak meg az anyagban.

Granulált kohósalak és pernye

A kohósalak kedvezőbben hasznosítható *kötőanyagként, granulátum formájában*. A granulált kohósalak előállításakor a forró salakot *vízzel hirtelen hűtik le*. Ennek hatására egy üvegszerű, metastabil anyag keletkezik, amelynek szemnagysága a hűtővíz hőfokától és mennyiségétől függ. Az a

cél, hogy minél nagyobb fajlagos felületű, apró, morzsalékos, üveges szemcsék keletkezzenek, amelynek kötési aktivitása kellően magas.

A pernye porszéntüzelésű hőerőművek füstgázainak mechanikus és elektrosztatikus tisztításakor keletkezik, mintegy 5 millió t/év mennyiségben. A sokoldalúan felhasználható anyagot az erdészeti útépitésben szintén kötőanyagként használhatjuk.

A granulált kohósalak és pernye felhasználható:

- alkalikus gerjesztőként a cementekhez,
- bizonyos esetekben a cement helyettesítésére.

A granulált kohósalak és pernye *rejtett* (latens) *hidraulikus tulajdonságainak köszönhetően használható fel kötőanyagként*. Kötőképességüket puzzolános tulajdonságuk biztosítja, vagyis víz jelenlétében Ca ionokat képesek lekötni és hidraulikus tulajdonságú vegyületeket létrehozni. A kötés kezdetekor a keverék bázikus vízének hatására a granulátum felülete bomlásnak indul. Az oldat telítődése után a hidratált kalcium aluminátjai és szilikátjai kristályosodása megindul és a kristályok a kőanyag felületén kiválnak. Ennek hatására először az anyag belső súrlódása nő meg, majd a kristályok hálót alkotva kohéziót kölcsönöznek, összekristályosodva pedig kötéseket hoznak létre. A kapcsolódás kedvezőtlenebb sima felülethez, mint érdeshez. A cement kötésénél lassabban alakulnak ki ezek a kötések. Az aktív részek csak részben mobilizálódnak, a kristályosodás ezért később ismét megindulhat. A nem aktivizált szemcsék nagy belső súrlódása már a kötés kezdetekor növelik a keverék stabilitását. Az ilyen kötések különösen előnyösek az erdészeti útépités területén, mert:

- rugalmas felhasználást tesz lehetővé,
- a kész keverék néhány napig tárolható,
- a kötés kezdetekor a földmű alakváltozásait követni tudja,
- a kötés kezdeti időszakában – a kötések lassú kialakulása miatt – bizonyos önregeneráló hatása van,
- a megsérült felületek viszonylag hosszú ideig javíthatók, hiányosságaik pótolhatók,
- nagy belső súrlódása miatt a beépített keverék a forgalomnak azonnal átadható.

A granulált kohósalak és pernye mésszel és vízzel keverve válik kötőképessé, amelyet kőanyaghoz keverve soványbeton típusú anyagot kapunk.

A granulált kohósalak legelőnyösebben frissen használható fel kötőanyagként. A fajlagos felület növelésével a granulált kohósalak aktivitása is nő, ezért a $d < 0,08$ mm átmérőjű szemcsék részaránya legalább 5–10 tömeg % legyen. Amennyiben ezt a mennyiségű finom részt granuláláskor nem lehet előállítani, célszerű a durvább granulátumot megőrölni. Az őrölt granulált kohósalakban a finom rész aránya legalább 15% legyen.

A friss pernye akkor használható kötőanyagként, ha

- izzítási vesztesége 8%-nál alacsonyabb,
- a $d < 0,045$ mm frakció részaránya legalább 45 tömeg %,
- fajlagos felülete legalább $2000 \text{ m}^2/\text{g}$.

A kötéshez szükséges aktivizáló anyag a mész, amelyet őrölt égetett mészpor, vagy méshidráttal formájában adagolhatunk. A méshidráttól – kisebb aktivitása miatt – mintegy 20%-kal többet kell adagolni, mint égetett mészporból. Az adagolás mennyisége égetett mészporból:

- a granulált kohósak száraz tömegének 5–10%-a,
- a pernye száraz tömegének 20–30%-a.

A kőanyaghoz adagolt kötőanyag mennyiségét pontosan laboratóriumi vizsgálatokkal kell megállapítani. A szükséges mennyiség a kőanyag száraz tömegének 20–25%-a.

A keverék készítéséhez tiszta, a beton készítéséhez megfelelő vizet kell használni. A szükséges víz mennyiségét laboratóriumban úgy kell megállapítani, hogy az a kémiai folyamatok lejátszódásához és a beépítéshez is elegendő legyen.

ERDÉSZETI UTAK PÁLYASZERKEZETE

A PÁLYASZERKEZET FELÉPÍTÉSE

Követelmények a pályaszerkezettel szemben

A faanyag, egyéb anyagok és a munkások gazdaságos szállítása, az üzemirányítás hatékonysága, a vadgazdálkodás és a közjóléti szolgáltatások megalapozása megkívánja, hogy az erdészeti utak forgalma

- biztonságos,
- gyors,
- gazdaságos,
- kényelmes

legyen.

A pályaszerkezetnek ezért olyannak kell lenni, amelynek felülete:

- egyenletes,
- kellően érdes,
- ellenáll a forgalom és az időjárás károsító hatásainak, valamint
- ezeket a tulajdonságokat az élettartama alatt megőrzi.

A forgalom a járművek abroncsain keresztül adja át a terhelését. Ennek hatására függőleges (nyomó, ütő, rázó, hajlító, szívó) igénybevételek és vízszintes hatásokból (fékezésből, gyorsításból, koptatásból) származó, általában nyíró igénybevételek keletkeznek. Ezeket az igénybevételeket a pályaszerkezetnek a földművön el kell osztani azért, hogy a viszonylag kis teherbírású földműnek – ezzel együtt magának a pályaszerkezetnek – a káros alakváltozásait megakadályozza.

A forgalom hatása mellett nem hanyagolhatók el az időjárásból (fagy, hőség, csapadék) származó igénybevételek sem, amelyeket ugyancsak károsodás nélkül kell a pályaszerkezetnek elviselni.

Pályaszerkezet-típusok

A változatos igénybevételnek kitett pályaszerkezet a vele szemben támasztott igényeknek akkor tud megfelelni, ha kialakítása korszerű alapelvek szerint történik:

- a pályaszerkezet felépítése és anyaga megfelel a várható igénybevételeknek,
- a pályaszerkezet felépítéséhez felhasznált anyagok minősége arányos az igénybevételekkel.

Ilyenek a többrétegű pályaszerkezetek, amelyeknek két csoportját különítjük el alapvető tulajdonságaik alapján:

- hajlékony útpályaszerkezetek,
- merev pályaszerkezetek.

Hajlékony útpályaszerkezetek azok, amelyeknél a kerékterhelés alatt 1,0–2,0 mm-es rugalmas alakváltozás (behajlás) alakul ki, kisebb teherelosztó képességük miatt (pl.: aszfalt pályaszerkezetek).

Merev pályaszerkezetek azok, amelyek nagyobb merevségük miatt jobb teherelosztó képességgel rendelkeznek és ezért a kerékterhelés alatt kisebb (0,1 mm nagyságú) behajlások keletkeznek (pl.: beton pályaszerkezetek).

Az erdészeti útépítésben használt félmerev pályaszerkezeteket a hajlékony pályaszerkezetek közé soroljuk.

Hajlékony útpályaszerkezetek felépítése

A többrétegű hajlékony pályaszerkezet részei:

- a burkolat,
- a burkolatalap,
- a védőréteg.

A burkolat a pályaszerkezet legfelső része. A forgalom ennek felületén halad, az időjárással közvetlen kapcsolatban áll. A forgalom szempontjából ezért a burkolat felületi tulajdonságai lesznek a mértékadók (egyenletesség, érdesség, vízelvezető képesség stb.). A pályaszerkezet időjárásnak legjobban kitett részeként el kell viselni azokat az igénybevételeket is, amelyeket a fagy, a csapadék és a hőmérséklet okoz. Nagyobb forgalmú utakon két rétegből épül fel. A kopóréteg helyezkedik el felül, amelyet egy durvább, a vízszintes erőhatásokat felvevő kötőréteg támaszt alá és köt az alaphoz.

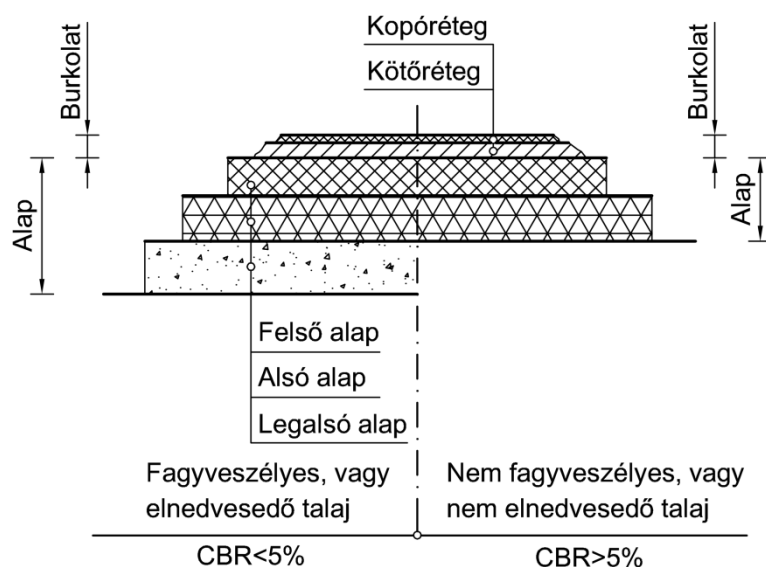
Az alap vagy burkolatalap általában szintén többrétegű szerkezet, amely alátámasztja a burkolatot és biztosítja annak teherbírását. Jó teherelosztó képessége miatt a földműre jutó terheléseket erősen lecsökkenti. Az alapot funkcionálisan további részekre osztjuk. Ezek:

- az alap felső rétege,
- az alap alsó rétege,
- a legalsó alapréteg, vagy védőréteg.

Ezek a rétegek nagy forgalmi terhelésnél önmaguk is további rétegekből állhatnak. Az alap felső rétegének feladata, hogy nagy stabilitása és szilárdsága mellett a hajlítási húzásokat felvegye, valamint a víz elleni szigetelést is biztosítsa. Az alap alsó rétege tovább csökkenti a földműre jutó terheket. A fokozatosan csökkenő igénybevételek miatt itt már megfelelnek az olcsóbb anyagok felhasználásával készített, kisebb szilárdságú és stabilitású anyagból kialakított rétegek is.

Az alsó alapréteg alatt helyezkedik el a legalsó alapréteg, amely a védőréteg szerepét is betöltheti. Ezt a réteget elnedvedésre, vagy oladási kárra érzékeny földművön kell építeni, legtöbbször homokos kavicsból. A pályaszerkezet részeként – legalsó alapként – akkor vehető figyelembe, ha vastagságát méretezéssel határozzuk meg, teherbírása a pályaszerkezet teherbírásába beszámít, egyébként javított talajréteggént a földmű felső rétegének tekintjük.

A javított talajréteg a földmű felső része, amely nem tartozik a pályaszerkezethez. Ez lehet a pályaszerkezet teherbírásába be nem számított védőréteg, vagy az építés közben elnedvedett földmű kellő teherbírását biztosító talajréteg. A pályaszerkezet méretezésekor ennek a rétegnek a felületén kialakuló teherbírást tekintjük a földmű mértékadó teherbírásának.



Hajlékony útpályaszerkezetek felépítése

Erdészeti utak pályaszerkezetének felépítése

Az erdészeti utak forgalmából származó igénybevételek nem teszik szükségessé a klasszikus felépítésű hajlékony pályaszerkezet teljes rétegsorának megépítését. Az erdészeti utak pályaszerkezetéből ezért elhagyhatók azok a rétegek, amelyeknek szerepe alárendelt, de meg kell tartani azokat, amelyek műszaki, vagy egyéb szempontok miatt szerepet játszanak a pályaszerkezet stabilitásának és teherbírásának kialakításában. Ennek figyelembevételével elhagyható a kötőréteg és az egyik alapréteg. Nem hagyható el a védőréteg, amelyet legalsó alapként célszerű figyelembe venni. Az erdészeti utak pályaszerkezetének felépítése:

- kopóréteg,
- alapréteg,
- legalsó alapréteg, vagy védőréteg.

A pályaszerkezet felépítésének ilyen egyszerűsítése azért fontos a kis forgalmú erdészeti utakon, mert a rajtuk áthaladó forgalom megengedi a törekvést egy „technikai minimum” megvalósítására. Ezért sokszor elég egyetlen olyan réteget alkalmazni, amely az alappal és a burkolattal szemben támasztott követelményeket egyaránt kielégíti (pl. mechanikai stabilizáció).

Pályaszerkezeti rétegek anyagai

A pályaszerkezeti rétegekbe a különböző anyagok egymást helyettesíthetik úgy, hogy azokból műszakilag egyenértékű pályaszerkezetek épülnek fel. Ezek közül az anyagok közül egyesek olyanok, amelyek a pályaszerkezet különböző rétegeitől megkívánt igényeket egyaránt kielégítik, ezért burkolatként, vagy alapként is használhatók. Ezeket az anyagokat burkolat-alapnak nevezzük.

Az egyes pályaszerkezeti rétegekbe beépített anyagok fogják biztosítani

- a pályaszerkezet teherbírását,
- a pályaszerkezet stabilitását.

A teherbírás az az igénybevétel, amelyet túllépve az anyag rendeltetésszerűen tovább nem használható. Ez az igénybevétel származhat a forgalom dinamikus igénybevételeiből és a

hajlításokból, ezért főként az ebből származó igénybevételekkel szembeni ellenállást fejezi ki az élettartam alatt.

A stabilitás különféle egyéb hatásokkal (időjárásból származó hatások, kopásellenállás, nyomvályú képződés stb.) szembeni ellenállást fejezi ki és biztosítja.

A pályaszerkezeti anyagok teherbírása, illetve stabilitása az alapanyagok célszerű összeállításával teremthető meg. A teherbírást és a stabilitást biztosíthatja:

- a kötőanyag,
- a kiékelés,
- a térkitöltés.

A kötőanyag hatása kétféleképpen érvényesül:

- a kohézió nélküli szemcsés anyagnak kohéziót kölcsönöz a kohézióval rendelkező kötőanyag (bitumen);
- a hidraulikus kötőanyagok hidraulikus kötése közben kialakuló kristályosodási folyamatok összekristályosítják (összecementálják) a szemcsés anyagokat.

Kiékeléskor az ékhatást és a belső súrlódást használjuk ki úgy, hogy a nagyobb szemcsék közé egy külön technológiai lépésben kisebb szemcsékből álló kiékelő réteget hengerlünk, aminek eredményeként szakaszos szemeloszlás alakul ki. Térkitöltéskor a szemcsék elmozdulását a hézagot kitöltő egyre kisebb szemcsék akadályozzák meg, amelynek feltétele az anyag folyamatos szemeloszlása.

Nem minden pályaszerkezeti réteg anyagát lehet építés közben a végső tömörségnek megfelelően megépíteni. Ezek a pályaszerkezeti rétegek végső tömörségüket a forgalom hatására érik el. Az ilyen pályaszerkezeteket *utántömörödő pályaszerkezeteknek* nevezzük.

A pályaszerkezeti rétegek anyagának összetételét, az építést és építési minőséget a közúti igények figyelembevételével elkészített műszaki irányelvek írják elő. A közúti és erdészeti útépités feltételei és igényei közötti különbség (pl.: építési minőség egyenletessége, építési, megvalósulási minőség szigorú betartása, alapanyag felhasználás elvei stb.) miatt ezeket az előírásokat nem mindig lehet és célszerű figyelembe venni. Különösen érvényes ez a helyi talajok felhasználását lehetővé tevő talajstabilizációk és a hagyományos, egyszerű zúzottkő pályaszerkezeteknél, míg az igényesebb, korszerűbb és drágább rétegeknél ezeket figyelembe kell venni.

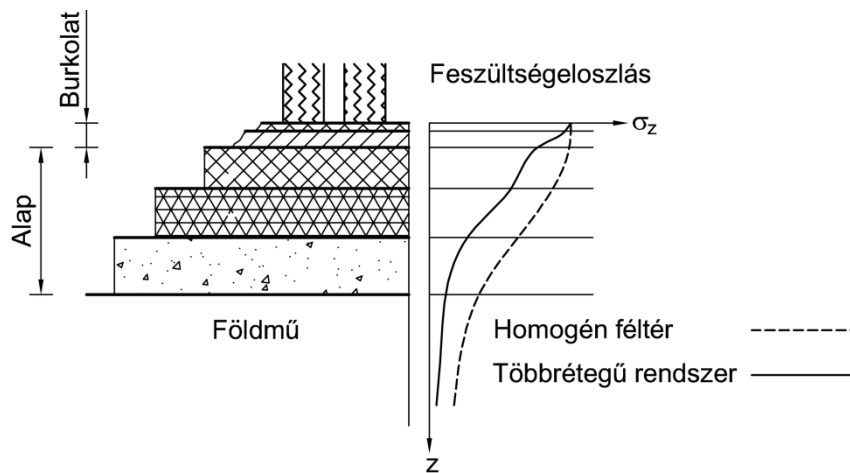
ALAPRÉTEGEK

Alapréteg szerepe a többrétegű pályaszerkezetekben

Az alapréteg a burkolat és a földmű közötti kapcsolatot biztosítja. Alátámasztja a burkolatot és teherelosztó hatásán keresztül megakadályozza, hogy a forgalom a földműben olyan alakváltozásokat hozzon létre, amelyek a burkolaton káros alakváltozásokként jelennek meg. Az alapréteg a felülről lefelé jelentősen csökkenő feszültségek miatt csak kis igénybevételnek van kitéve, mégis a rétegek feladatukat csak akkor tudják maradéktalanul ellátni, ha a földmű:

- talaja megfelelő állapotú,
- kellően tömör,

- gondosan víztelenített és
- a tervnek megfelelő szintben készült.



Feszültségeloszlás a többrétegű pályaszerkezetekben

Alaprétegek anyagai

Az alaprétegek anyaga különféle ásványi anyagokból és kötőanyagokból készíthető el, amelyek gyengébb minőségű alapanyagok is lehetnek. Az alaprétegek lehetnek:

- stabilizációs alapok,
- zúzottkő alapok,
- hidraulikus kötőanyaggal készülő alapok,
- aszfalttípusú burkolat-alapok.

A stabilizációs alapok a helyi talaj felhasználását teszik lehetővé, meghatározott szemeloszlás előállításával, vagy talaj és kötőanyag (cement, bitumen, mész stb.) keverék készítésével. A zúzottkő alapokhoz kötőanyagot nem használunk, a teherbírást és a stabilitást a kiemeléssel előállított nagy belső súrlódás biztosítja. A hidraulikus kötőanyaggal készülő alapok kötőanyaga a cement, a pernye, a granulált kohósalak. Az aszfalttípusú burkolat-alapok kötőanyaga a bitumen, amely különféle kőtermékekből álló vázát köt össze.

Stabilizációs alapok fajtái és alkalmazhatóságuk

A stabilizációs alapok természet- és környezetvédelem szempontjából kedvezőek, főként ha helyi talajt stabilizáljuk. Jelentősek a műszaki előnyök is, mert a vizet nem eresztik át és nem tárolják, valamint nem utántömörödőek. Pályaszerkezetben elfoglalt helyüket a forgalom nagysága határozza meg:

- közepes és nagy forgalmú közutak alsó alaprétege,
- kisforgalmú közutak, nagyobb forgalmú erdészeti utak alapja,
- igen kis forgalmú közutak, kisebb forgalmú erdészeti utak burkolata egy vékony bitumenes lezárással, vagy önállóan mechanikai stabilizáció formájában.

Stabilizáláskor a talaj nyírószilárdságát növeljük, azt az időjárástól és forgalomtól függetlenül állandósítjuk, stabilizáljuk.

A talajok stabilizálásakor a talaj tulajdonságait céljainknak megfelelően változtatjuk meg:

- talajkeverék készítésével,
- kötőanyag bekeverésével,
- tömörítéssel.

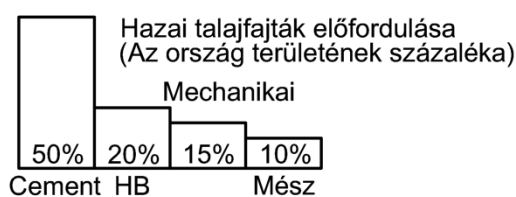
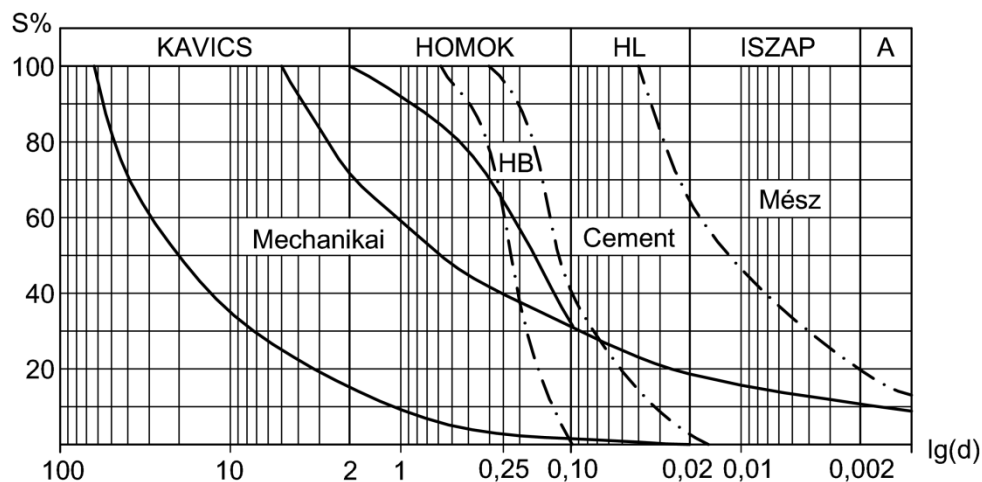
Fontos az optimális tömörítési víztartalomon történő *gondos tömörítés*, mert ennek hatására

- nő a belső súrlódás, és a teherbírás,
- a hézagok csökkenésével pedig csökken a vízáteresztő és víztartó képesség.

A kötőanyag cement, mész, bitumen, pernye, granulált kohósalak, esetleg különféle vegyszerek lehetnek, ezeket a talaj tulajdonságai alapján választjuk ki. Többféle kötőanyag közül közgazdasági elemzések alapján kell a megfelelőt kiválasztani.

A különféle stabilizációk felhasználási lehetőségét főként a helyszíni talajviszonyok határozzák meg:

- Mechanikai stabilizáció készíthető a kedvező szemeloszlású, kötött frakciót viszonylag magas arányban tartalmazó kavicsos talajokból;
- Cementes talajstabilizációra a homokliszt, iszap, iszapos homok, iszapos kavics talajok alkalmasak;
- Bitumenes talajstabilizációt az egyenletes szemeloszlású homoktalajokból készíthetünk, mint amilyen a futóhomok, durva homok, kavicsos homok;
- Meszes talajstabilizáció kötött talajokból, vagy agyagos kavics talajokból készíthető;
- Pernye és granulált kohósalak alkalmazásával szemcsés, kissé kötött talajok stabilizálhatók.



Különféle talajokon gazdaságosan alkalmazható stabilizációk

Mechanikai stabilizáció tervezése

A mechanikai stabilizáció:

- kisebb forgalomnál önmagában egyrétegű pályaszerkezet lehet,
- nagyobb forgalmú utakon burkolatalapként, vagy védőréteggént használható.

Egyesíti magában a szemcsés és kötött talajok jó tulajdonságait. Teherbírása nedvesen és szárazon is jó, mert a szemcsés rész a víznek ellenálló vázát alkot, szárazon pedig a kötött részek kohéziója kapcsolja a szemcséket egymáshoz, amelyhez az anyagnak egyrészt szemeloszlási, másrészt kötöttségi feltételeket kell kielégíteni. A *mechanikai stabilizáció olyan „beton”, amelynél a meghatározott szemeloszlású szemcsés anyagot a talaj finom része köti össze.*

A mechanikai stabilizáció építésére folytonos szemeloszlású talajok vagy talajkeverékek alkalmasak. Ezek legkedvezőbb szemeloszlását a hatványparabola megközelítése adja, amelynek egyenlete:

$$p\% = 100 \cdot \frac{d^m}{D^m}$$

ahol:

- D = talajkeverék legnagyobb szemcseátmérője,
- d = szemeloszlási görbe egy pontjához tartozó szemcseátmérő,
- p = szemeloszlási görbe d átmérőjéhez tartozó súlysúlyszázalék,
- m = 0,4~0,6 a parabola kitevője.

A hatványparabola kitevőjét 0,5-nek választva az ún. *Fuller*-görbe egyenletét kapjuk:

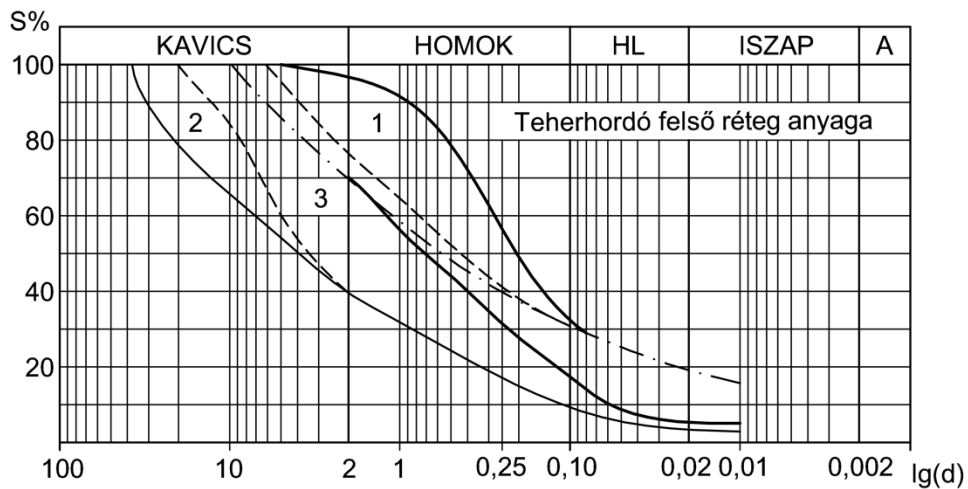
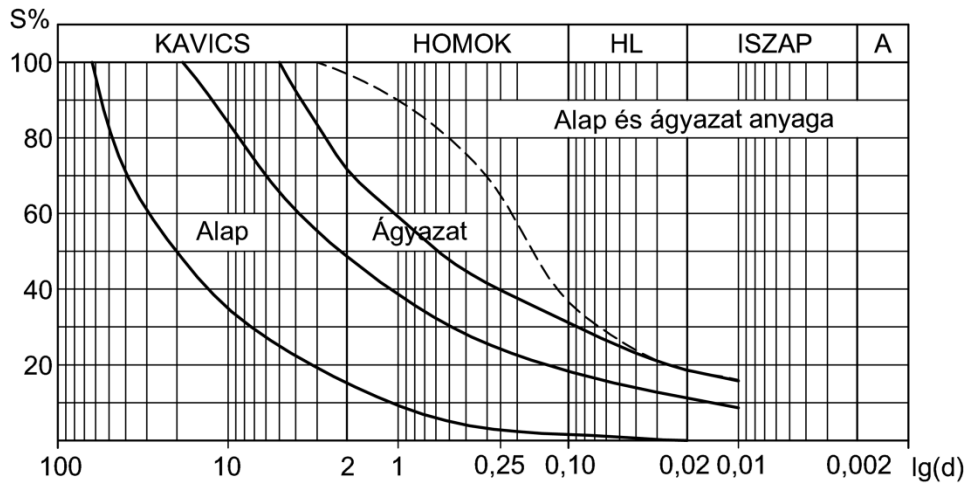
$$p\% = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$$

A *Fuller*-görbe egyenletét kielégítő szemeloszlás biztosítja a szemcsés halmazban a legkisebb hézagtartalmat.

A legnagyobb szemcseátmérő (D_{max}) a stabilizált réteg tömör vastagságának (v) felét nem haladhatja meg. A mechanikai stabilizációban a kötőanyag szerepét betöltő és talajhabarcsot alkotó finom résznek ($d < 0,1$ mm) kötöttségi feltételeket kell kielégíteni. Így a finom rész:

- folyási határa: $W_L=25\%-35\%$
- plasztikus indexe: $I_p= 3\%-15\%$

A mechanikai stabilizáció készítésére megfelelő anyag szemeloszlását határgörbékkel vagy táblázatokkal adják meg.



1. száraz klíma, 2. nedves klíma, 3. átlagos viszonyok

Mechanikai stabilizáció építéséhez felhasználható talajok (KÉZDI szerint)

Mechanikai stabilizáció építéséhez felhasználható talajok

Természetes állapotukban, keverés nélkül általában a következő anyagok alkalmasak mechanikai stabilizáció készítésére:

- iszapos kavicsos homok, gödörkavics (főként Nyugat-Dunántúlon található megfelelő gödörkavics),
- iszapos durva homok,
- kőbányák iszapos bányameddője,
- válogatás (villázás) nélküli régi bontott makadámburkolat.

Ha a helyszínen nem található a mechanikai stabilizáció előírásait kielégítő talaj, akkor azt talajkeverék készítésével kell előállítani két vagy több talaj összekeverésével. A keverési arányokat numerikus és grafikus eljárásokkal lehet meghatározni. A talaj, vagy talajkeverék nyírószilárdsága zúzott (érdes) anyag adagolásával növelhető.

Mivel a szemcsés talajhoz kötött talajt keverünk fagyveszélyes réteget állítunk elő. Ezért először a jó vízelvezetést kell megoldani.

Mechanikai stabilizáció építése

Az erdészeti útépítésben a műszaki előírás javaslatai helyett célszerűbb a klasszikus elveket figyelembevevő, a helyi adottságokból kiindulva megtervezett anyagot használni, mert a műszaki előírásoknak megfelelő szemszerkezet tisztán helyi anyagok felhasználásával nem valósítható meg. Az anyag összetételében előírt 40-60 tömeg % zúzott frakció biztosítása jelentősen növeli az építési költségeket, a finom rész csekély aránya miatt pedig a gumibroncsos forgalomnak nem áll ellen, ezért az csak alaprétgebe építhető. Az M20, M56, M80 jelű rétegek helyett célszerűbb erdészeti utak alaprétgét folyamatos szemeloszlású zúzottkő alapként megépíteni. Az erdészeti útépítésben tehát a klasszikus mechanikai stabilizáció építése javasolható, a helyi anyagok vizsgálata és a helyi adottságok figyelembevételével.

A klasszikus elvek szerint a helyi anyagokból készül mechanikai stabilizációt a kész, teherbíró földműre kell megépíteni a következő lépésekben:

- kiegyenlítő földművön:
 1. tükörkiemelés gréderrel, a kikerülő talaj elhelyezése a padkán,
 2. padkaszivárgók megépítése a tükörbe hulló csapadék azonnali gondos elvezetésére, a tükör elázásának megakadályozására,
 3. a tükör tömörítése gumi vagy juhláb hengerrel, optimális tömörítési víztartalom mellett 90% Proctor-tömörtség eléréséig,
- földműszinten ezek a lépések elmaradnak, a pályaszerkezet építése a kész földmű felületén történik, tükörvágás nélkül.

Az építés további menetében már nincs különbség:

- anyag beszállítása és elterítése,
- a talajok összekeverése, keverékkészítés,
- nedvesítés,
- tömörítés,
- felület rendezése (profilalakítás).

Terítés és tömörítés

A tükörbe szállított anyag anyagot a tömörödés mértékét figyelembe vevő *laza terítési vastagságban* kell elteríteni:

$$h_t = 1,2 \cdot h$$

ahol:

- h_t = terítési vastagság,
- h = tömör rétegvastagság.

Talajkeverék készítésekor az összekeverendő talajokat a keverési arálynak megfelelő laza rétegvastagságban kell egymásra teríteni. A talajok keverésére talajmarót, rotációs kapát, vagy grédert használhatunk. A keverés közben a talajszemcsék aprózódnak, ami a jó és egyenletes keveréknek is a feltétele.

A nedvesítéssel biztosítjuk az optimális tömörítési víztartalmat és elősegítjük a nagyobb szilárdságú rögök szétesését a további keverés alatt. A keverés kezdetén szükséges víztartalom:

$$w_{sz} \% = w_{opt} + 2\%$$

mert a beépítés közben fellépő párolgást mintegy 2% víztartalomtöbblettel tudjuk pótolni. A nedvesítéshez szükséges víz locsolókocsiból, vagy lajtból biztosítható. Nedves időjárásban az anyag víztartalma a beépítés idején nagyobb lehet a szükségesnél. Ekkor gondoskodni kell a stabilizáció anyagának kiszáritásáról.

Ez megvalósítható a talaj többszöri átkeverésével, átkeverésenként 1–2% víztartalom csökkenést előidézve, vagy 2–3% őrlött égetett mészpor adagolásával, amely oltódása közben vizet von el, illetve az optimális tömörítési víztartalom értékét emeli.

A tömörítést gumi, sima vagy vibrációs hengerrel kell elvégezni 95–100% Proctor-tömörítési fokig.

A felület rendezését (profilalakítás) a tömörítéssel párhuzamosan kell végezni. Ekkor a gréder néhány menetével a felületet a keresztdőléseknek megfelelően alakítjuk ki.

Bitumennel kezelt mechanikai stabilizáció készíthető úgy, hogy a 3–5 cm mélyen fellazított réteget 2–3 kg/m² higított bitumennel vagy bitumenemulzióval lepermetezzük, majd betömörítjük. Az így kapott rétegre újabb 0,7–1,0 kg/m² higított bitument vagy bitumenemulziót permetezünk ki, amelyre homokot, murvát szórunk és hengerlünk. Az így kezelt mechanikai stabilizációs alsó alaprétegre vagy alaprétegre bitumenes alapréteg, illetve vékony aszfaltréteg helyezhető. Az ilyen módon kezelt mechanikai stabilizációs réteg megfelelő fenntartás mellett kis forgalmú erdészeti utak önálló burkolata is lehet.

Cementes talajstabilizáció az erdészeti útépítésben

A hazai talajok legnagyobb része cementtel stabilizálható. Egy, legfeljebb két rétegben készíthető. Nagyobb forgalomnál alsó alapként, kisebb forgalomnál alapként építhető bitumenes alapok és burkolatok alá. Önálló pályaszerkezetként nem használható, mert a kopás elleni stabilitása alacsony, a könnyű forgalom hatását sem viseli el. Lezárásáról gondoskodni kell.

A cementek közül felhasználható minden 350 vagy 250 portland, kohósalak portland, vagy pernye portland cement, amelynél a kötési idő kezdete 4 óránál hosszabb.

A stabilizálandó talajnak meg kell felelni az előírt talajfizikai és kémiai feltételeknek:

- talajfizikai feltételek:
 - iszap és agyagtartalom ($d < 0,02$ mm) 50%-nál kevesebb,
 - finom rész ($d < 0,5$ mm)
 - plasztikus indexe 0–15% között van,
 - folyási határa $< 35\%$.
- kémiai feltételek:
 - szulfáttartalom max. 0,2%,
 - szervesanyagtartalom 5% alatti,
 - pH érték 6-nál nagyobb.

Cement mennyiségének meghatározása

A cementadagolást laboratóriumi kísérletekkel kell meghatározni. Követelmény, hogy cementes talajstabilizáció mozaikosan összeropedezzen és anyaga víz- és fagyálló legyen. A fagy és vízállósághoz egy minimális cementadagolás szükséges. A cement mennyisége azonban nem lehet nagyobb egy maximális értéknél, mert az anyag nagyobb távolságokban kialakuló szabálytalan repedésekkel táblákba reped szét. Kisebb cementadagolásnál az anyag mozaikosan ropedezik össze, amelynek hatására elveszti merevségét, a repedések később sem nyílnak meg, az egyes részek jól együtt dolgoznak.

Az adagolandó cement mennyisége általában 5–14 tömeg % között változik a talaj és a felhasznált cement fajtájától függően. A kedvező cementadagolást laboratóriumi vizsgálatokkal lehet megállapítani. Ehhez először meg kell határozni a talaj

- szemeloszlását,
- plasztikus indexét, (folyási határát, sodrási határát),
- maximális száraz halomsűrűségét és optimális tömörítési víztartalmát.

A talajfizikai jellemző ismeretében cement-talaj keveréket készítünk különböző cementadagolással (6-9-12%). A keverékekből szabványos méretű mintahengereket készítünk 93–95% Proctor-tömörséggel. A próbatesteket különböző módon és ideig tároljuk, majd eltörjük és megállapítjuk az egyirányú nyomószilárdságukat. A tárolások az alábbiak:

- nedves térben 7 napig, majd törve (σ_7),
- nedves térben 14 napig, majd törve (σ_{14}),
- 7 napig nedves térben, 7 napig víz alatt, 14 nap múlva eltörve (σ_{7+7}),
- 7 napos próbatestek fagyasztásnak kitéve, (amely 12 napon keresztül 8 órás -22°C fagyasztást és 16 órás felengedést jelent,) majd törve.

A szükséges cementadagolást az alábbiak szerint határozzuk meg:

A 7 napig nedves térben tárolt minták σ_7 nyomószilárdsága essen a következő határértékek közé:

$$2000 \text{ kN} / \text{m}^2 < \sigma_7 < 2500 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Az így kiválasztott előzetes C% cementadagolást le kell ellenőrizni, a σ_{7+7} nyomószilárdság alapján. Az előzetes cementadagolás megfelelő, ha a σ_{7+7} nyomószilárdság értéke nagyobb, mint a σ_7 nyomószilárdság 70–80%-a:

$$\sigma_{7+7} > 0,7 \approx 0,8 \cdot \sigma_7$$

Amennyiben ez a feltétel nem teljesül és a

$$\sigma_{7+7} < 0,7 \approx 0,8 \cdot \sigma_7$$

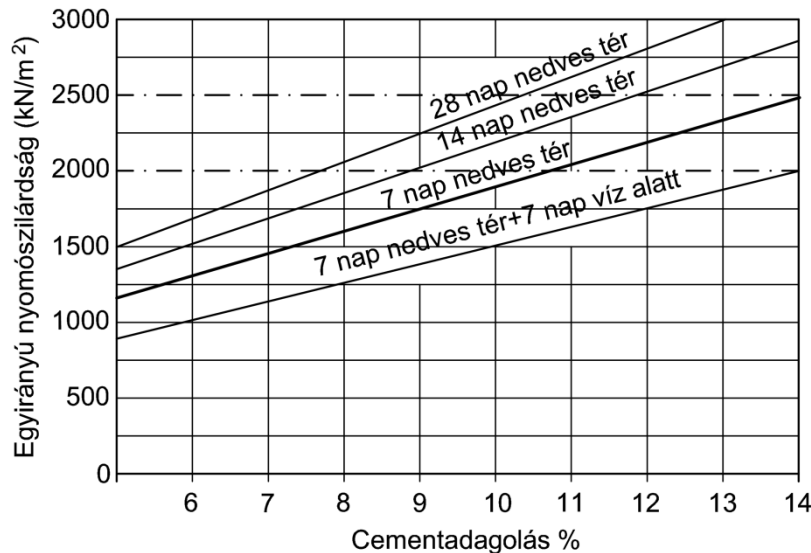
akkor nagyobb cementadagolást kell választani úgy, hogy a σ_{7+7} szilárdság legalább

$$0,75 \cdot 2000 = 1500 \text{ kN} / \text{m}^2$$

legyen. Ekkor meg kell vizsgálni, hogy ez az új cementadagolás nem növeli-e meg jelentősen a szilárdságot. A magasabb cementadagoláshoz tartozó σ_7 nyomószilárdság a 2500 kN/m²-es felső határt legfeljebb 20~30%-kal lépheti túl:

$$\sigma_{7\max} \approx 3200 \text{ kN/m}^2$$

A fentiekén túl a fagyasztásnak kitett minták legkisebb nyomószilárdsága legalább 1000 kN/m² legyen.



Cement mennyiségének meghatározása

Cementes stabilizáció utókezelése és típusai

A cement hidraulikus kötéseket hoz létre, ehhez vízre van szükség. A talajstabilizáció készítéséhez csak tiszta ivóvíz minőségű vizet szabad felhasználni. A víz mennyiségét úgy kell meghatározni, hogy biztosítsa a cement kötéséhez, valamint az optimális tömörítési víztartalomhoz szükséges mennyiséget. A kész cementes talajstabilizáció utókezeléséről állandó nedvességtartás formájában gondoskodni kell.

A cementes talajstabilizáció a legelterjedtebb stabilizáció, amelynek típusait az erdészeti útépitésben a felhasznált alapanyag és a készítés módja szerint osztályozzuk:

- CK_t jelű stabilizált kavics (szemcsés anyag), telepen (géppben) keverve;
- CK_h jelű stabilizált kavics (szemcsés anyag), helyszínen (talajmaróval) keverve;
- CT_t jelű stabilizált talaj, telepen (géppben) keverve;
- CT_h jelű stabilizált talaj, helyszínen (talajmaróval) keverve.

Meszes talajstabilizáció

Meszes talajstabilizáció készítésére a 15%-nál (esetleg 12%-nál) magasabb plasztikus indexű kötött talajok alkalmasak. A meszes talajstabilizáció készítésekor általában a mész és talaj között lejátszódó gyors folyamatok hatását használjuk ki, amelyek a következők:

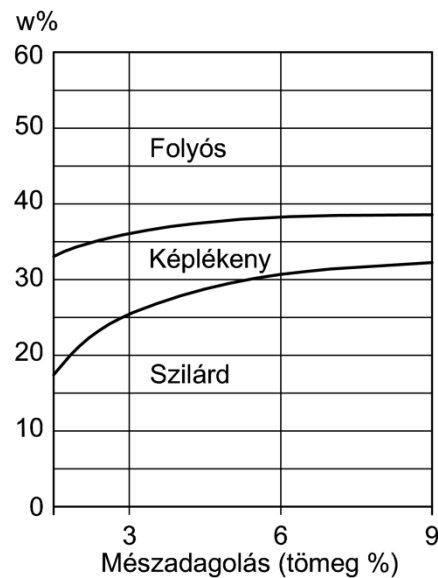
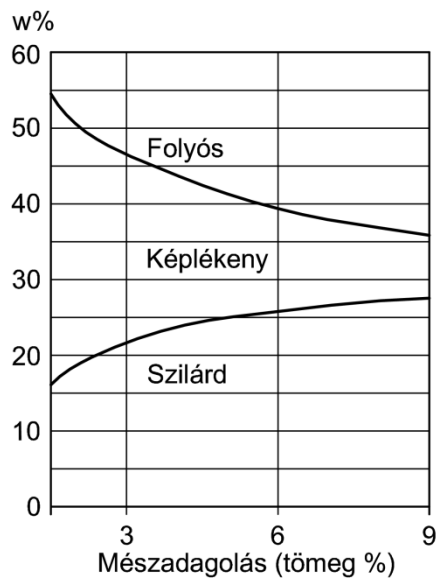
- oltódásakor kiszáritja a talajt (ahány százalék meszet keverünk a talajhoz, ugyanakkora nedvességvesztéssel számolhatunk),

- megváltoztatja a talajra jellemző konzisztencia határokat,
- megváltoztatja a talajok tömöríthetőségét.

Mész hatása a konzisztencia határokra

A konzisztencia határok kétféle módon változhatnak:

- a *plasztikus index csökken*, mert a sodrási (plasztikus) határ nő a folyási határ változatlan marad, illetve kismértékben csökken;
- a *plasztikus index nem változik*, azonban a sodrási és a folyási határ víztartalma is megnő. A talaj ezért vízzel szemben érzéketlenebbé válik, mert felpuhulása magasabb víztartalomnál következik be.



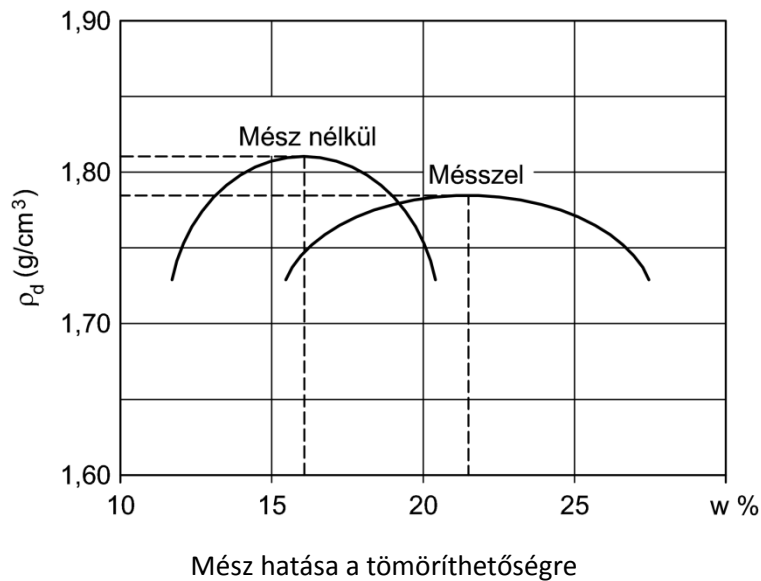
Mész hatása a konzisztencia határokra

Mész hatása a tömöríthetőségre

A méshatására a talajok tömörítési tulajdonságai és ezzel együtt tömöríthetőségük is előnyösen megváltozik. A mésszel kezelt talaj:

- legnagyobb száraz halomsűrűsége lecsökken,
- az optimális tömörítési víztartalma megnő,
- a tömörítési görbe pedig ellaposodik.

Ennek jelentősége az, hogy a tömörítés magasabb víztartalomnál is jól elvégezhető és a talaj kevésbé érzékeny a tömörítési víztartalom változására.



A felhasználható mész fajtái:

- őrlött égetett mészipor,
- porrá oldott mész (mészhidrát),
- péppé oltott mész,
- mésztej.

Őrlött, égetett mésziport az elnedvesedett talajokon célszerű használni, mert a mész oltódásához felhasznált vizet a talajból vonja ki és ezzel bizonyos szárító hatást is elérünk..

Száraz talajokhoz mésztejet vagy péppé oltott meszet adagolunk, így biztosítva a szükséges víztartalmat.

A mész kolloidkémiai hatását az agyagásványokon tudja kifejteni, iszapos talajokon akkor érünk el eredményt, ha a talaj megfelelő mennyiségű agyagásványt (illit, montmorillonit stb.) tartalmaz. Jó eredmény érhető el a kötött részt magas részarányban tartalmazó homokos kavicsoknál, amelyek ezért mechanikai stabilizáció készítésére nem alkalmasak. A mésszagolást ekkor a kötött rész mennyiségének figyelembevételével kell meghatározni. Kimondottan szemcsés talajokon a mész csak saját alacsony szilárdságú kötéseit hozza létre, ezért ezeket a talajokat célszerűbb cementtel stabilizálni.

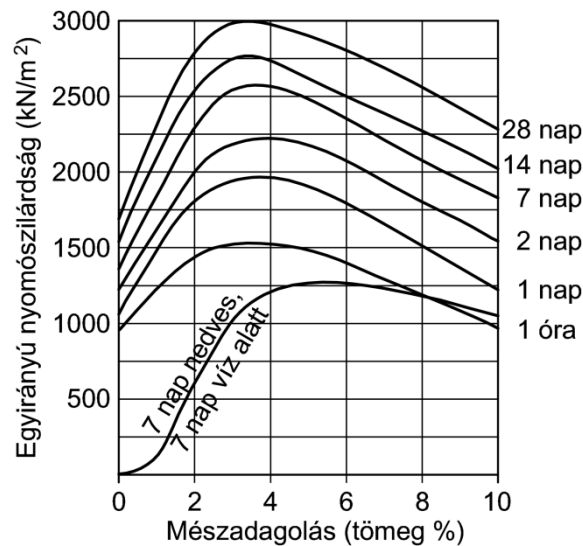
Mésszagolás

A mész adagolását laboratóriumi kísérletekkel kell meghatározni. A szokásos adagolás:

- pályaszerkezeti réteg stabilizálásához kötött talajban 3–8 tömeg %,
- kötött talajú földmű javítására, morzsálékossá tételére 2–3 tömeg %.

A különböző mésszagolással készített próbatestek részben víz alatt, részben nedves térben tároljuk, majd 2, 4, 7, 14 és 28 nap múlva eltörjük. Az egyirányú nyomószilárdságot a mésszagolás függvényében ábrázolva határozott maximummal bíró görbéket kapunk. A mésszagolást a szilárdság maximumában kell előírni. Olyan különleges összetételű talajoknál ahol maximum nem

alakul ki a görbén, ott azt a mészadagolást kell kiválasztani, amely kellő szilárdságot biztosít a stabilizáció anyagában (pl. 7 napos korban 2000 kN/m²).



Mészadagolás és az egyirányú nyomószilárdság

Bitumenes talajstabilizáció

A bitumenes talajstabilizáció anyagában kötőanyag a bitumen, ami kohéziót kölcsönöz a talajnak és vízzáróvá teszi azt. Általában a kohézió nélküli, szemcsés talajok stabilizálhatók bitumennel (kavicsos homok, futóhomok). A felhasznált talaj iszaptartalma nem haladhatja meg az 5%-ot, mert az ugrásszerűen megnövő fajlagos felület megnöveli a kötőanyag szükségletet, ami rontja a stabilitást.

A bitumenes talajstabilizáció kötőanyaga:

- kis viszkozitású hígított bitumen (HB-A 20/40, HB-R 20/40),
- lassan törő kationaktív bitumenemulzió, legalább 60% bitumentartalommal.

A keverékhez 2% méshidrátot vagy 3% portlandcementet adhatunk, ami a kötőanyag jobb eloszlását és tapadását segíti.

Bitumenadagolás meghatározása

A kötőanyag mennyiségét laboratóriumi vizsgálattal kell megállapítani. A túl sok kötőanyag inkább „kenőanyagként” viselkedik, míg a szükségesnél kevesebb nem kölcsönöz kellő kohéziót a keveréknek, tehát mindkét esetben csökken a stabilitás.

A vizsgálatokhoz különböző bitumentartalmú próbatestet kell készíteni:

- | | |
|-----------------------------------|---------------|
| • kavicsos homoknál | 4–5–6%, |
| • egyenletes szemcséjű homokoknál | 4,5–5,5–6,5%, |
| • vegyes szemcséjű homokoknál | 5–6–7%, |
| • iszapos homokoknál | 6–7–8%. |

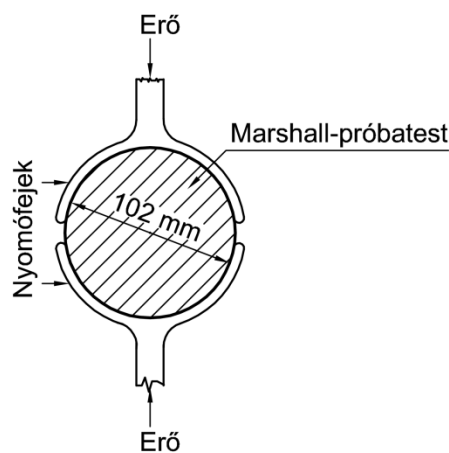
A vizsgálatokhoz keverékenként 2–2 db *Marshall*-próbatesteket (101,6 mm átmérőjű és 63,5 mm vastagságú) kell készíteni *Proctor*-gépbe helyezett *Marshall*-formába. A próbatest mindkét oldalára

25–25 ütést kell mérni (4,5 kg-os döngőlővel, 46 cm magasságból). Az elkészített 6 db próbatestet 6 napig tároljuk, felét szobahőmérsékleten, felét víz alatt. Ezután meghatározzuk a *Marshall*-stabilitást.

A *Marshall*-stabilitás (MS) a próbatest palást irányú törésekor fellépő maximális erő N-ban kifejezve. A vizsgálatot a törőgépbe helyezett *Marshall*-nyomófeltéttel végezzük el, amely palást irányban terheli a próbatestet.

A bitumenadagolás függvényében ábrázolva a stabilitást egy maximummal bíró görbét kapunk. Azt a bitumentartalmat fogadjuk el mértékadónak, amelyik a legnagyobb stabilitást adja. Ennek értéke nem lehet kisebb:

- szabad levegőn tárolt minták esetében 2 kN-nál ($MS > 2 \text{ kN}$),
- 6 napig víz alatt tárolt mintáknál 1 kN-nál ($MS > 1 \text{ kN}$).



Marshall-féle nyomófej

Építés közbeni ellenőrzés

Építés közben az elkészített stabilizáció anyagának stabilitását folyamatosan ellenőrizni kell. Ez akkor megfelelő, ha eléri a laboratóriumban optimális kötőanyag adagolás mellett kapott stabilitás értékének 70%-át. Ennél kisebb érték keverési elégtelenségre utal.

A bitumenstabilizáció építéséhez felhasznált talaj víztartalma bitumenemulzió kötőanyag esetén:

$$w^{\circ}\% = (w_{opt} + 2\%) - B^{\circ}\%$$

ahol:

- $w^{\circ}\%$ = bitumenstabilizáció építéséhez felhasznált talaj víztartalma,
- w_{opt} = optimális tömörítési víztartalom,
- $B^{\circ}\%$ = bitumentartalom.

A w_{opt} megállapításánál figyelembe kell venni az adagolt cement vagy mész hatását is. A bitumenemulzió nagy víztartalma miatt a talaj víztartalmát az optimális tömörítési víztartalom fölé emelheti, ezért azt vagy száraz talajon alkalmazzuk, vagy tömörítés előtt kivárjuk, míg a keverék az optimális víztartalomig kiszárad.

Stabilizációk építése kötőanyaggal az erdészeti útépítésben

A stabilizációkat általában 13–18 cm ritkán 20 cm tömör vastagságban építik meg. Vastagabb stabilizációt több rétegben kell megépíteni.

A stabilizációk készítése két fő lépésre bontható:

- keverék előállítása,
- keverék beépítése.

A két fő lépést négy alapvető műveletben kell elvégezni megfelelő sorrendben:

- stabilizálandó talaj egyenletes fellazítása, felaprítása,
- kötőanyag és víz előírt mennyiségének egyenletes bekeverése a talajba,
- talaj-kötőanyag-víz keverék gondos és hatékony tömörítése,
- utókezelés.

A kötőanyag-talaj keverék elkészíthető:

- keverőgéppel, keverőtelepen
- talajmaróval, a helyszínen keverve.

Kötőanyag-talaj keverék előállítása keverőgéppel

Keverőgépben a keverés történhet:

- adagokban, 700–1000 liter nagyságú betonkeverőben,
- folyamatos keveréssel, keverőteknőben.

A keverőgépes keveréskor:

- a stabilizálandó talajt, a vizet és a kötőanyagot a keverőgéphez szállítjuk,
- elkészítjük a talaj-kötőanyag-víz keveréket,
- a kész keveréket a beépítés helyére szállítjuk,
- a keveréket elterítjük,
- betömörítjük és közben a profilt kialakítjuk.

A keverőgép felállítható:

- a keverés súlypontjában,
- az anyagnyerőhelyen,
- állandó jelleggel kialakított keverőtelepen.

Anyagnyerőhelyre telepíteni a keverőgépet azért előnyös, mert egy keverőgéppel több távolabbi munkahely is kiszolgálható. A keverőgépben történő keveréskor a keverék egyenletes minőségű lesz és a kész keverék ellenőrzése is könnyen megszervezhető. Az eljárás hátránya, a nagy szállítási munkaigény, amely csak akkor válhat gazdaságossá, vagy indokoltá, ha a stabilizáció anyaga nem a helyi talaj, hanem az a tükörbe szállított idegen anyag. A keverőgépes keverés általában akkor célszerű, amikor nem a helyi talajt stabilizáljuk, illetve olyan helyeken, ahol a keveréket talajmaróval nem tudjuk előállítani (pl. útszélesítéseknél, tagolt felületeknél stb.).

Kötőanyag-talaj keverék előállítása talajmaróval

A helyszíni keverés vezérgépe a talajmaró, amely dolgozhat önállóan, vagy gépláncba szervezve. A helyi talaj helyszíni keverésekor is fontos, hogy a földmű, amelyre a stabilizáció kerül kellően tömör legyen. Ezért a felső, később stabilizálandó réteget gréderrel félre kell húzni a padkára és a földmű felső rétegét, illetve a tükröt tömöríteni kell. Ezután a félrehúzott stabilizálandó talajt gréderrel visszahúzzuk és elterítjük a tömörített tükröbe.

Amikor a stabilizációt helyszíni keveréssel, de tükröbe szállított anyagból készítjük, akkor a földművet betömörítve készre építjük, felszínét egyenletesre alakítva. Ezután egy közeli anyagnyerőhelyről, vagy a bevágási, illetve a töltési rézsú lazább részeiből nyert stabilizálandó anyagot laza terítési rétegvastagságban elterítjük a földművön. (A földmű kitűzésekor a szükséges túlméretet biztosítani kell.)

Mivel a keverő és tömörítő eszközök megszabják a hatékony keverés és tömörítés felső határát, ezért vastagabb stabilizációt több rétegből kell építeni. Általában a 15–18 cm tömör vastagságot (20–22 cm laza vastagságot) kell az építhető maximumnak tekinteni, amely egyben a leggazdaságosabb vastagság is a gépek maximális kihasználása miatt. A többretegű stabilizáció úgy építhető, hogy a földmű felső részéről első menetben lehúzzuk a felső stabilizálandó réteg anyagát, illetve a földműre az alsó réteg anyagát terítjük el és ezt stabilizáljuk. Ezután elterítjük a második réteg anyagát és azt a már elkészült alsó rétegen stabilizáljuk.

Por alakú kötőanyagot használva, helyszíni keveréssel a következőképpen készíthető el a stabilizáció:

- profilgazítás, valamint az egyenletes felszínű tükr kialakítása gréderrel,
- talaj fellazítása talajmaróval,
- por alakú kötőanyag egyenletes elosztása géppel, vagy kézzel,
- száraz keverés talajmaróval az egyenletes elkeveredés biztosítása érdekében,
- nedvesítés,
- nedves keverés,
- előtömörítés vibrólap sorral, vagy könnyű hengerrel,
- főtömörítés gumihengerrel.
- profilgazítás gréderrel, majd simítóhengerlés.

A por alakú kötőanyagot célszerű cementelosztóval felszerelt talajmaróval elosztani és azonnal a talajba keverni. Ezzel biztosítható a pontos adagolás és elosztás. Ekkor a kötőanyag adagoló és a kötőanyag szállító tehergépkocsi között a folyamatos kapcsolatot meg kell teremteni, ami a keskeny erdészeti utakon esetenként nem megoldható.

A kötőanyagot kézzel is el lehet teríteni. Zsákolt cementet, vagy méshidrátot használva ez egyszerűen megoldható, ha a padkán olyan szakaszokat jelölünk ki, amelyeken az adagolásnak megfelelő kötőanyag mennyisége kerek számú zsákkal biztosítható, majd a zsákokat ennek megfelelően kiosztjuk. Ezekből az egymástól néhány méterre lévő depóniákból a kötőanyagot kézzel elterítjük, majd azt talajmaróval azonnal szárazon bekeverjük. Az őrölt égetett mészpor kezelése nehezebb és balesetveszélyes. Célszerű ezért azt előre, az adagolástól függő adagokba zsákokba tölteni, majd a továbbiakban az előzőekben elmondottak szerint eljárni.

A kötéshez szükséges vizet locsolókocsi permetezheti ki a felszínre. Amennyiben a talajmaró kialakítása olyan, hogy azzal a nedvesítés is megoldható, akkor a vízadagolás és a nedves keverés egy

ütemben történhet. Ennek szintén feltétele, hogy a vízszállító tehergépkocsi és a talajmaró között folyamatos kapcsolat legyen.

A meszes talajstabilizáció építésekor a tömörítést csak a mész oltódásának lejátszódása után szabad elkezdni, mert oltódás közben a felszabaduló gőzök és gázok a réteg fellazulását eredményezik. Az oltódás időtartama mintegy 90 perc. Az oltódás folyamatának végét jelzi az, amikor felmelegedett réteg hőmérséklete a kezdeti hőmérsékletre lecsökken.

A bitumenstabilizáció kivitelezése annyiban különbözik az előbbiektől, hogy a talaj fellazítása után azonnal a kötőanyag adagolása és ennek megfelelően azonnal a nedves keverés történik.

Kis volumenű útépitéseknél a keverék előállítását helyszíni keveréssel, egy talajmaróval, mint vezérgéppel is elvégezhető. A szükséges gépek:

- gréder a felületek kialakításához, esetleg a felszín felszaggatásához,
- talajmaró, a lazításhoz és keveréshez,
- henger a tömörítéshez.

Ennél az eljárásnál célszerű akkora szakaszt munkába venni, amelyet a rendelkezésre álló idő alatt (egy műszak, a várható eső időpontja) el lehet készíteni. A talaj lazítását, a száraz és nedves keverést a talajmaró többszöri járatásával végezzük el. A kötőanyag adagolása és elosztása géppel vagy kézzel történhet, a vizet locsolókocsiból biztosítjuk. A locsolást közvetlenül követő nedves keverés után a réteget azonnal – meszes stabilizációnál esetleg valamivel hosszabb idő múlva – be kell tömöríteni.

A helyszíni keveréssel készülő stabilizációt el lehet készíteni géplánccal is. A géprendszer összeállításánál figyelembe kell venni, hogy:

- a géplánc egy menetben végezze el az összes részfeladatot,
- kevés gépegységből álljon,
- a gépsor tagjai egyenkapacitásúak legyenek.

A gépláncot a következő gépegységből kell összeállítani:

- összkerék hajtású traktor, amelynek mászó sebességfokozata három pont felfüggesztésű hidraulikus emelőrendszere, meghajtó tengelycsonkja van;
- gréder a profil alakítására a talaj félrehúzására és elterítésére;
- terítő és adagoló berendezés a kötőanyag elosztására, talajmaróval egybeépítve;
- talajmaró, amelyet a vontató tengelycsonkja hajt meg és olyan kialakítású, hogy keverés közben a vizet, illetve a bitument a keverőtérbe lehet adagolni;
- tehergépkocsik a cement, a bitumen és víz szállítására, mászó sebességfokozattal és elosztó egységgel felszerelve;
- gumihenger tömörítéshez (6–8 t-ás, önjáró);
- simahenger (6–8 t-ás, kéthengerlőjű).

A meszes és cementes talajstabilizáció utókezelést igényel, amellyel a felület állandó nedvesen tartását biztosítjuk. Ez megoldható öntözéssel, locsolókocsiból vagy a felület párologtatását megakadályozó műanyagfilm vagy bitemenemulzió bevonat készítésével.

Granulált kohósalak, pernye és erőművek zagyteri anyagából épülő alapok

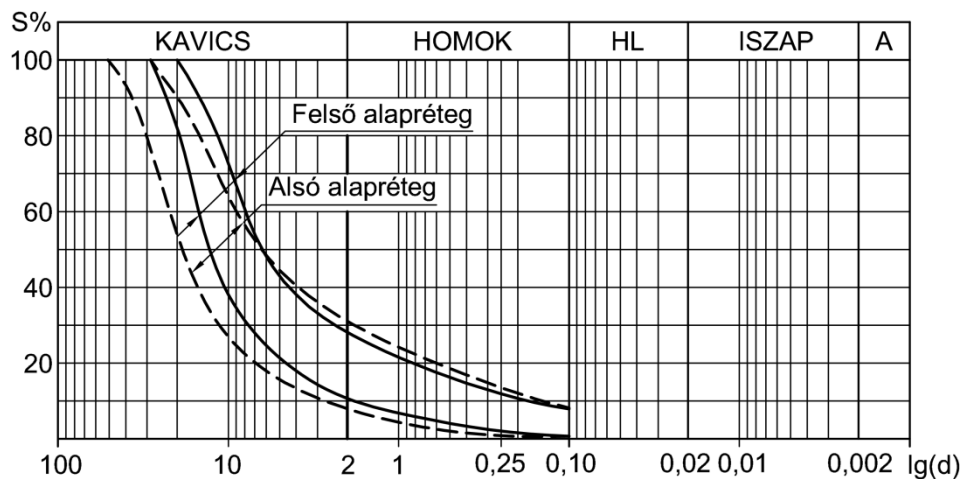
Az ipari termelés melléktermékeként jelentős mennyiségű környezetszennyező anyag keletkezik, amelynek hasznosítása úgy környezetvédelmi, mint nemzetgazdasági cél. Ezért jelentős a pernye, az erőművek zagyteri anyaga, valamint a granulált kohósalak felhasználása útépítési célokra.

Ezeket az anyagokat puzzolános tulajdonságuk jellemzi, ami azt jelenti, hogy erősen bázikus közegben, víz jelenlétében hidraulikus kötéseket hoznak létre. Ezek a kötések a cement kötésénél lényegesen lassabban alakulnak ki, ezért a keverékek beépítésével nem kell sietni. A kész keveréket tárolni lehet, illetve az nagy távolságra is elszállítható. A beépített keverék kötés utáni tulajdonságai a soványbetonhoz hasonlóak. Szilárdsága nem egyenletes, de stabilizációs pályaszerkezetek készítésére alkalmas.

Az ásványi anyag:

- zúzott kőtermék,
- murva,
- kőbányameddő,
- homokos kavics, esetleg homok.

A felhasznált kőanyagok ki kell elégíteni az előírt szemeloszlási követelményeket.



Ásványi anyag szemeloszlása granulált kohósalak kötőanyag alkalmazásakor

Granulált kohósalak és pernye alkalmazási feltételei

A granulált kohósalakban a 0,08 mm szemcse-átmérőnél kisebb finom résznek az aránya legalább 10 tömeg % legyen. Ilyen granulátumot a hazai gyártásban nem állítanak elő, azonban őrléssel előállítható. Ekkor az őrt granulátumban legalább 20–25% legyen a 0,08 mm átmérő alatti frakció.

A kötőanyagként felhasznált pernye izzítási vesztesége nem lehet nagyobb 8%-nál, a 0,45 mm alatti frakció pedig legalább 45% legyen.

A kötéshez szükséges meszet (2-5%) őrt égetett mészpor formájában célszerű felhasználni.

A keverési arányokat laboratóriumi vizsgálatokkal kell meghatározni. Tájékoztató adatként elfogadható, hogy a kellő (cementes talajstabilizációnak megfelelő) szilárdság eléréséhez szükséges kötőanyag mennyisége a határgöbékkel jelzett anyagokhoz:

- 8–20 tömeg % pernye,
- 2–5 tömeg % mész;

illetve:

- 15–20 tömeg % granulált kohósalak,
- 2–5 tömeg % mész.

A keverékeket helyszíni vagy keverőtelepi keveréssel készíthetjük. A keverék folyamatosan készíthető a beépítés ütemétől függetlenül. Ez a tulajdonság az erdészeti útépitésnél különösen előnyös, mert a keveréshez kis teljesítményű keverőgépet lehet használni.

A további burkolati rétegeket megépíthetjük közvetlenül a szilárdulás után, vagy akár a következő évben. Ekkor a felületet póruszárással, vagy felületi bevonással le kell zárni.

Vegyszerek alkalmazása talajok stabilizálására

Régi törekvés az útépitésben, hogy kis szállítási munkát igénylő építőanyagokkal és egyszerű eszközökkel lehessen utat építeni. Ezért kutatásokat folytatnak annak érdekében, hogy a megfelelő vegyszereket találjanak talajok tulajdonságainak megváltoztatására. A cél nem mindig a talajok stabilitásának növelése, hanem a talajok egyes kellemetlen tulajdonságainak megváltoztatása.

A vegyszeres talajkezelések célja az, hogy a talaj és víz kölcsönhatásából származó kellemetlen tulajdonságokat megszüntessék. A vegyszerek ezt úgy kívánják elérni, hogy a talajszemcsék felületén adszorbeálódó vizet nem engedik megkötni. A vegyi anyaggal történő talajkezelések eredménye erősen függ a talajszemcsék felületének reakció-képességétől és vegyi tulajdonságaitól. Ezeket a tulajdonságokat és folyamatokat még kevéssé ismerjük, ezért további kutatásokra van szükség.

Az erdészeti utak építésénél a következő vegyi anyagok alkalmazását javasolják:

- kloridok,
- szulfidok,
- RRP, CBV-75, CBV-77, SC-444, SCX, stb.

A kalciumkloridot és nátriumkloridot a makadámburkolatokat és más szemcsés anyagból épült (pl.: mechanikai stabilizáció) burkolatok anyagának stabilizálására javasolják. Ezek az anyagok csökkentik a fagyáspontot, valamint vízvisszatartó képességük (higroszkópositásuk) miatt a párolgást. A párolgás csökkentésének előnye, hogy tömörítés közben nem szárad ki a talaj, tehát azt hatékonyabban végezhetjük, a látszólagos kohézió fenntartása pedig a szemcséket összetartó erőket növelheti meg. A fagyáspont csökkenése azért kedvező, mert a réteg átfagyása lassabban történik meg, ezért az olvadás és fagyás periódusai időben elhúzódnak, kisebb károkat okozva a pályaszerkezet anyagában.

A szulfidok a papíripar mellékterméke. A szulfidokban található gyanták kötése átmeneti és csak száraz körülmények között ad bizonyos stabilitást a szemcsés anyagoknak.

Kötött talajok víz hatására fellépő kellemetlen tulajdonságait szüntetheti meg az RRP (Reynolds Road Packer), a CBV-75 és CBV-77 (Chemische Bodenverbesserung), stb. nevű vegyszerek. A 3–6 l/100m² koncentrációt 100–200-szoros hígításban a kezelendő földmű fellazított felső rétegére kell kipermetezni, majd bekeverni. Száraz időjárásakor a nedvesítést ismételni kell addig, amíg a felületegységre előírt vízmennyiséget ki nem permetezzük, majd az optimális tömörítési víztartalom

elérését kivárva gondosan be kell tömöríteni a földművet. A kezelés és tömörítés hatására egy víznek ellenálló, és megnövekedett teherbírású földművet kellene kapni. A kereskedelmi leírások szerint a trópusi agyagokon ezeket a vegyszereket sikerrel alkalmazták, de a hazai sikertelen laboratóriumi és a nem meggyőző helyszíni kísérletek miatt alkalmazásuk még nem javasolható.

Makadám szerkezetű alapok és burkolatok általános jellemzői

A nagyobb forgalmú erdészeti útjaink hagyományos pályaszerkezete. Ma már nem tekinthetők korszerű pályaszerkezeteknek részben utántömörödő tulajdonságuk, részben a nagy szállítási munkaigényük miatt.

Erdészeti utak pályaszerkezetében az egyszerűbb építési technológia miatt részesíthetők előnyben. Ezekre a szerkezetekre egységesen jellemző, hogy kötőanyagot nem tartalmaznak, stabilitásukat a nagy belső súrlódású zúzottkőnek és a kiékelésnek köszönhetik. A kiékelés feltétele, hogy a kiékelendő és a kiékelő anyagokat külön rétegekben, rétegenként építsék össze. A kész pályaszerkezet szemeloszlása szakaszos lefutású. Az anyagból a kohéziót adó részek hiányoznak, ezért a gumibroncsok által keltett szívohatásnak nem állnak ellen.

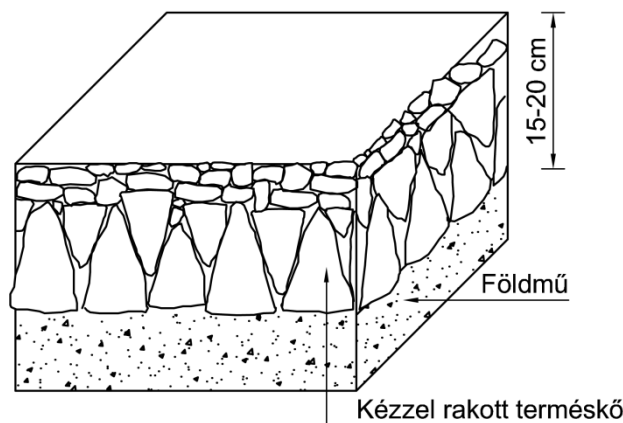
A nagy hézagokat tartalmazó alaprétegeket közvetlenül kötött talajú földműre építeni nem szabad, mert a kötött talaj a nagy szemcséket kenőanyaghoz hasonlóan síkossá teszi és a szerkezet a terhelés hatására elsüllyed. Ilyen esetben mindig minimálisan 10 cm vastag homokos kavics védőréteget kell a kötött talajú földmű felületére elhelyezni.

A zúzottkő alapok és burkolatok:

- Rakott terméskő útalap,
- Szórt útalap,
- Durva zúzottkőalap,
- Szakaszos szemeloszlású (vízzel kötött) makadám rendszerű alap és burkolat,
- Hézagkiöntéssel bevibrált zúzottkőalap.

Rakott terméskő alap

Klasszikus kiékelésen alapuló pályaszerkezet, nagy kézimunka- és anyagigénye miatt ma már nem használják. Kézzel rakott "B" vagy "C" minőségű helyszínen alakított alapkövekből készült, 15–20 cm vastagságban. A süvegformájú, alul legalább 150 cm² alapterületű köveket szorosan egymás mellé, a tengelyre merőleges sorokba rakták le, és felülről kisebb ék alakú kövekkel ékelték ki. A hézagokat forgácskővel töltötték ki. A hatékony kiékelést háromkerekű nehéz úthengerrel végzett tömörítéssel érték el.



Rakott terméskő útalap

Szórt útalap

A rakott terméskő alap nagy kézimunka igényét csökkentő, annál kisebb, vegyes szemeloszlású terméskőből készülő szerkezet. A $d_{\max}=150$ mm vegyes szemszerkezetű terméskövet a szállítójárműről az úttükörbe kell szórni, elegyengetni és hengerrel betömöríteni.

A kapott szerkezet műszakilag hátrányos tulajdonságú, mert nem történik meg a gondos kiékelés. Mivel szemeloszlási előírások nem vonatkoznak rá, a térkitöltés sem valósul meg, ami a stabilitás biztosításának másik feltétele. Teherbírása nem egyenletes. Az ilyen alapra épített burkolat a kisebb teherbírású szakaszokon rohamosan tönkremehet, amit normális útfenntartási munkával megszüntetni nem lehet. Alkalmazása nem javasolt, bár jelenleg a hegyvidéki erdészeti útépités leggyakrabban épített útalapja. Szórt útalap építése helyett célszerűbb lenne a kedvezőbb tulajdonságú durva zúzottkő alap, vagy a folyamatos szemeloszlású zúzottkő alap építése.

Durva zúzottkő alap

A durva zúzottkő alap Z 56/80, vagy Z 56/100 jelű zúzottkőből készül egy rétegben maximálisan 15 cm tömör vastagságban. A legnagyobb szemnagyság nem lehet nagyobb a tömör rétegvastagság $2/3$ -nál. A 15 cm-nél vastagabb réteget több vékonyabb réteg egymásra építésével kell kialakítani.

A zúzottkövet a tömör vastagság 20%-kal növelt rétegvastagságában kell elteríteni a betömörített tükörre, a padkaszivárgók elkészítése után. A zúzottkövet billenőplatós tehergépkocsival célszerű szállítani és a követ közvetlenül a tükörbe billenteni. Az elterítést gréder végzi. Az egyenletes laza terítési rétegvastagságot terítőládával is ki lehet alakítani, ami azért előnyös, mert így egy egyenletesen tömör, azonos laza rétegvastagságot lehet tömörítés előtt megvalósítani, ami az egyenletes tömörítés és így az egyenletes teherbírás feltétele is.

A tömörítést 13–15 t-s három hengerlőjű úthenger végezi, miközben a profil kialakítását folyamatosan ellenőrizni kell. A hengerjáratokat a szélén kell indítani, az egyes hengeremenetek $1/3$ – $1/4$ részben fedjék át egymást. A hengerlést szárazon kell kezdeni, majd 1 m^2 kőhöz $0,3$ – $0,5 \text{ m}^3$ vizet permetezve kell a hatékony tömörítést addig folytatni, amíg a henger már nem hagy nyomot, illetve a henger elé dobott kő összetörik. Az összetört „rózsásodott” köveket és a fészkes helyeket ki kell cserélni.

A hengerlés befejezése előtt gondoskodni kell a nagy hézagtartalmú zúzottkőréteg felső részében lévő hézagok kitöltéséről, a felület „bekötéséről”, ami megakadályozza a zúzottkőszemcsék

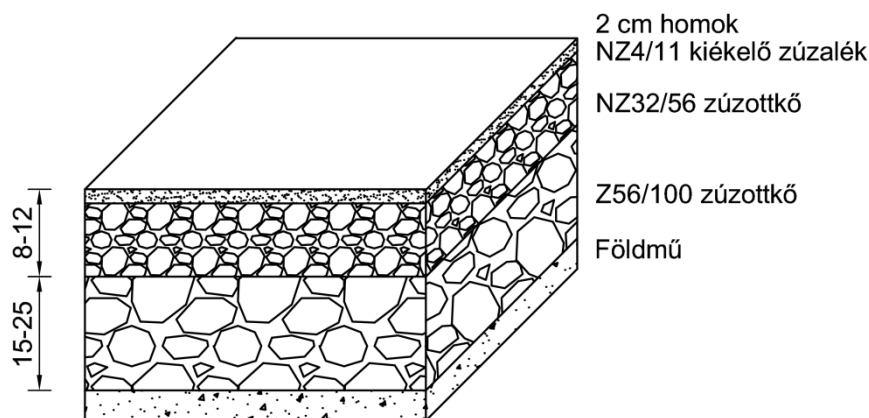
elmozdulását. Ehhez homokot, homokos kavicsot, mészkő vagy dolomit murvát kell sepréssel, hengerléssel és locsolással a hézagokba juttatni. A hengerlés befejezése után az alapot két hétre át kell adni a forgalomnak, amelynek tereléséről gondoskodni kell. Ez alatt az idő alatt az utántömörödés jelentős része lejátszódik, az építési hibák előjönnek. A hibákat ki kell javítani, a felületről lesodort részeket pedig vissza kell juttatni a felületre. Az így elkészített alapon a nehéz forgalom hatására még további jelentős utántömörödés következhet be.

Szakaszos szemeloszlású („vízzel kötött”) makadám alap és burkolat

A szakaszos szemeloszlású (az erdészeti útépítésben vízzel kötött, vagy egyszerű) makadám a durva zúzottkő szórt alap továbbfejlesztett változatának tekinthető. Az általános megoldás szerint szakaszos szemeloszlású makadám réteget egy jól betömörített 15–20–25 cm vastag zúzottkő szórt alapra építjük.

Első lépésként egy zúzottkő pályát hozunk létre. ekkor NZ 32/56 méretű zúzottkőből 8–10–12 cm vastagságot terítünk el, majd először szárazon, később nedvesen hengereljük. A teljes tömörség elérése előtt, amikor a zúzottkő réteg már elég stabil, elterítjük a NZ 4/11 mm nagyságú szemekből álló kiékelő zúzalékot („hengerlési zúzalékot”), amelynek mennyisége a tömör zúzottkőréteg 25%-a. További hengerléssel ezt a zúzalékréteget a zúzottkőréteg hézagaiba nyomjuk. A hengerlést addig kell végezni, amíg a henger már nem hagy nyomot. Végül 2 cm homokot terítünk a felületre a szabad hézagok kitöltésére, majd két hétre átadjuk a forgalomnak a durva zúzottkő alapnál említett utókezelés céljából.

A felület beköthető iszapolással is. Ekkor 1cm vastag iszapos homokréteget terítünk a zúzottkő rétegre, majd erre kerül a kiékelő zúzalék. Ezt bő locsolás mellett kell behengerelni, ami az iszapos homokpépet a hézagokba nyomja, majd 2 cm vastag védőhomokot terítünk el a felületen és az előbbiek szerint utókezeljük.



Durva zúzottkő alapra épített szakaszos szemeloszlású (vízzel kötött) makadám

Szakaszos szemeloszlású makadám fenntartása

A szakaszos szemeloszlású makadám burkolatként és alapként egyaránt használható. Burkolatként azonban a gumiabroncsos forgalom szívóhatásának csak akkor tud ellenállni, ha felületi bevonást helyezünk rá, vagy a látszólagos kohézió fenntartása érdekében biztosítjuk az optimális nedvességtartalmat, pl. kalcium kloridos kezeléssel. Ott, ahol az erdőállomány árnyékoló hatása miatt a megfelelő „nyirkos” állapot hosszabb ideig megmarad, a forgalom szívóhatásának viszonylag

jól ellenáll. A kiékeléshez mészkőzúzalékot használva, – annak cementálódása miatt – a szerkezet jobban ellenáll a gumiabroncsos forgalomnak. Az ilyen utak száraz időszakban azonban nagyon porosak.

Nagy gumiabroncsos forgalom hatására a vízzel kötött makadám burkolatok fenntartási igénye jelentősen megnő, amit folyamatosan megvalósítani nem lehet. Az ilyen burkolat gyakorlatilag fenntarthatatlanná válik. A felületen kialakulnak a nyomvályúk a ráhulló csapadékot összegyűjtik, ami felületi erózióhoz vezet. A rezgések hatására a sok fedőanyag bordásodást okoz, ami a forgalom számára káros és kényelmetlen. A vizes makadám burkolatok felületét gréderezéssel és hengerléssel lehet fenntartani. Ekkor a finom részt ismét egyenletes vastagságúra gyaluljuk és tömörítjük. A deformáció előrehaladott állapotában, amikor a zúzottkőréteg alakját is helyre kell állítani, már nem elég egy egyszerű gréderezés. Ilyenkor a felső réteget egy folyamatos szemeloszlású réteggé kell átalakítani. Ezt önjáró kötőréteggel lehet megvalósítani, ami a makadám felületén haladva 10-15 cm vastagságban azt fellazítja és a nagyobb szemcséket szétzúzza. Ezzel egy egyenletes vastagságú, folyamatos szemeloszlású laza réteg alakul ki, amelyet profilba hozva és betömörítve, a forgalom számára kedvező felület alakítunk ki. Később ezt a felületet gyalulással és tömörítéssel ismét jó állapotba lehet hozni.

Folytonos szemeloszlású zúzottkő alap

A zúzottkővet felhasználó kötőanyag nélküli alaprétegek építéséhez felhasználható legkorszerűbb anyag a szigorú szemeloszlási követelményeket kielégítő, csak zúzott anyagból előállított keverék. Ezt az anyagot a saját kőbányával rendelkező erdőgazdaságok tudnák előnyösen használni, mert jó tömörítést feltételezve minden forgalmi terhelést jól elviselhető, gazdaságos alapréteg építhető belőle.

A zúzottkőből, zúzalékból, zúzott homokból esetleg természetes homokból álló keverékben a maximális szemcseátmérő:

$$D_{\max} \leq \frac{v}{3}$$

ahol:

- v = a tömör réteg vastagsága (cm).

A tömör réteg vastagsága általában 12-30 cm.

A felhasználható kőanyag Kf C, Kf-D minőségi osztályú NZ jelű zúzottkő. A hézagminimumra törekedő szemeloszlást a Fuller-görbe szerint kell összeállítani. A betartandó szemeloszlási határokat a saját bánya anyagának vizsgálata alapján kell meghatározni a mechanikai stabilizációnál ismertetett módszerrel.

A 0,06 mm-nél kisebb szemcsék mennyisége beépítés után se haladhatja meg a 8%-ot, csökkentve ezzel az anyag fagyveszélyességét. Az alapréteg anyagát különböző frakciók keverésével állíthatjuk elő. A keverési arányokat a frakciók saját szemeloszlási görbéi és a határgörbék figyelembevételével kell meghatározni.

A frakciók összekeverhetők:

- gépben,
- úttükörben gréderrel.

Helyszíni keveréskor az anyagot az előírásnak megfelelő arányban az úttükörbe terítjük, majd gréderrel az egyik oldalról a mási oldalra tolva összekeverjük. A keverést addig kell végezni, amíg egyenletes keveréket kapunk.

A keverőgépben kevert anyaghoz a tömörítéshez szükséges víz is hozzáadható. A keverőgépből kikerülő egyenletes minőségű keverék szállításnál szétosztályozódhat, amit meg kell akadályozni.

A megkevert anyagot a tömör vastagságnál 20%-kal vastagabb laza rétegben terítjük el, majd optimális víztartalom mellett lapvibrátorral, vibrációs hengerekkel, illetve statikus simahengerrel 100%-os tömörségi fokig betömörítjük.

A műszaki előírások szerint használható 22, 32 és 56 mm maximális szemnagyságú zúzott anyagból előállított, FZKA0/22, FZKA0/32, FZKA0/56 jelű anyagok.

Hézagkiöntéssel bevibrált zúzottkő alap

A hézagkiöntéssel bevibrált zúzottkő alap készítésénél az elterített durva zúzottkő rétegre a tömör rétegvastagság 1/3-ának megfelelő vastagságban cement- vagy mészhabarcsot terítünk, és ezt a hézagokba vibráljuk. A megkötött habarcs az utántömörödést megakadályozza. Drága, ezért erdészeti utaknál nem használják.

Ennek az alaprétegnek a kedvező tulajdonságait a hazánkban elterjedt, az aszfaltok felé átmenetet jelentő itatott és kötőzúzalékos aszfaltmakadám szerkezetekkel tudjuk megvalósítani.

Hézagminimum elvén alapuló kötőanyag nélküli alapok, burkolatok

A hézagminimum elvén alapuló kötőanyag nélküli alaprétegek erdészeti utak alapjaiként építhetők, homok, kavics, homokos kavics, illetve murva felhasználásával. Közös jellemzőjük, hogy folyamatos szemeloszlású hézagszegény szerkezetet alkotnak. Típusai:

- Kavicsalap,
- Murva alapréteg,
- Mészköllisztrel kötött burkolat.

Kavicsalap

A hézagszegény folytonos szemeloszlású kavicsalap előállítására hazai előírás nincs. Az ágyazat anyagára vonatkozó előírások kevésbé szigorúak, mint a külföldön használt kavicsalapokkal szemben támasztott követelmények.

Az ágyazat anyagától megkívánjuk, hogy:

- az egyenlőtlenégi együttható (U) és az iszap-agyagtartalom ($d < 0,02$ mm) között a következő összefüggés álljon fenn:

$5 < U < 15$	$d < 0,02$ mm rész súlyaránya:	max. 10%
$15 < U < 50$	$d < 0,02$ mm rész súlyaránya:	10–20%
$U < 50$	$d < 0,02$ mm rész súlyaránya:	max. 20%
- az egyenlőtlenégi együttható legkisebb értéke: $U_{min} = 5$

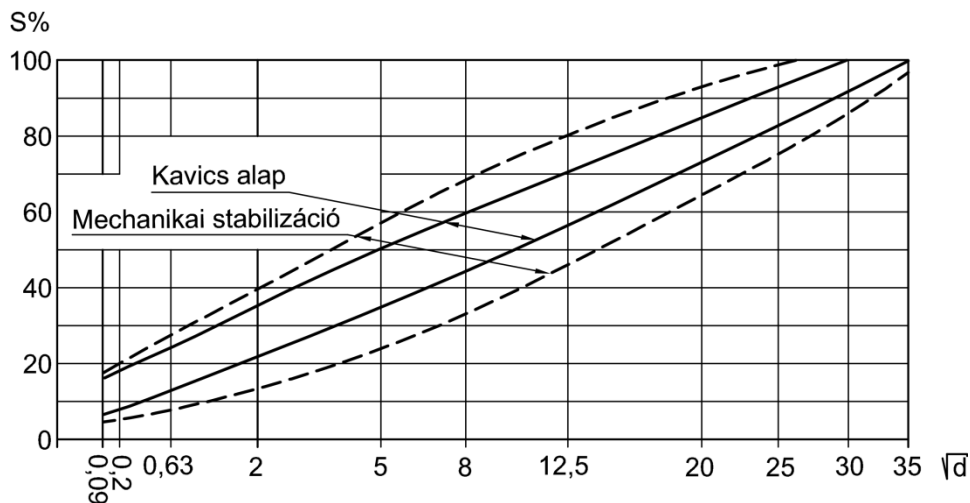
- a legnagyobb szemcseméret:

$$D_{max} = 2/3v$$

legyen, ahol a v az alkalmazott rétegvastagság 15–35 cm.

Az ágyazat anyagára megadott értékek nem elegendőek a kellő teherbírású alapréteg előállításához. Ehhez még a folyamatos és a hézagminimumot biztosító szemeloszlás is szükséges. Az elméletileg legtömörebb állapotot kifejező *Fuller*-görbétől megengedett eltérést szemeloszlási határok adják a 35 mm maximális szemcseméretnél. A mechanikai stabilizáció határgörbéivel összehasonlítva a kavics alapréteg szemeloszlása jobban megközelíti az elméletileg legtömörebb szemeloszlást, mint a mechanikai stabilizáció anyaga.

A szerkezet teherbírása tört kőanyag, vagy zúzott kavics bekeverésével növelhető, mert az fokozza az anyag belső súrlódását. A kavics alapréteg anyaga megfelelő szemeloszlású homokos kavicsból, vagy különböző szemeloszlású szemcsés anyagok összekeverésével állítható elő keverőgépben. Az előírt arányok betartása mellett végzett gondos, egyenletes keverés után a szétosztályozódást megakadályozva a tükörbe szállítjuk az anyagot, ahol a tömör vastagságnál 20%-kal vastagabb laza rétegben elterítjük, majd optimális víztartalom mellett 97%-os *Proctor*-tömörégi fokra tömörítjük. Tömörítéshez lapvibrátort, vibrációs hengert, gumiabroncsos hengert használhatunk.



Kavics alap és a mechanikai stabilizáció anyagának szemeloszlási határgörbéi

Murva alapréteg

Az erdészeti utak alapja megépíthető a kavics alapréteghez hasonlóan, mészkő vagy dolomit murva felhasználásával.

A folytonos szemeloszlást és hézagszegény szerkezetet biztosító *Fuller*-görbét kielégítő szemeloszlás murva, homok, esetleg zúzott kőanyag összekeverésével állítható elő. A legnagyobb szemcseméret 35–55 mm között választható a rendelkezésre álló alapanyagtól függően, amelynek alapján az elméleti szemeloszlási határgörbék megszerkeszthetők. Az építhető rétegvastagság: $v=15-35\text{cm}$

A természetben előforduló, megfelelő szemeloszlású természetes anyag vagy a keverőgépben, illetve tükörben gréderrel előállított keverék beépítése megegyezik a kavics alap vagy mechanikai stabilizációs réteg beépítésével. A réteget 97% *Proctor*-tömörégi fokra kell betömöríteni.

Mész-kőliszttel kötött burkolat

Burkolat építhető mészkő- és dolomitmurvából, ha a kőanyag kellő mennyiségű finom részt, mészkőlisztet tartalmaz.

A kötést a mészkőliszt karbonátosodása biztosítja, ezért a finom résznek ($d < 0,06$ mm) mintegy 10% súlyarányal kell a szemeloszlásban megjelenni.

A legnagyobb szemnagyság: $d_{max} = v/3$

Az építhető rétegvastagság: $v = 6-7$ cm

A legnagyobb szemcseméret: $d_{max} = 20-25$ mm

A megfelelő szemeloszlású anyagot a murvabányában célszerű előállítani majd a kész anyagot a szokásos módon beépíteni.

Ez a burkolati réteg jól használható a vízzel kötött makadám burkolatok átburkolására és egységes felületi állapotának helyreállítására.

Kohósalakkő alapréteg

Nagykohók jó minőségű salakjából a folytonos szemeloszlású zúzottkő alapokhoz hasonló réteg alakítható ki.

A szerkezet megfelelő szemeloszlású kohósalakból, vagy ha ilyen nem áll rendelkezésre, akkor kohósalakból, természetes homokból, illetve zúzott homokból készített kedvező szemeloszlású keverékből készítjük.

A szemeloszlásra vonatkozó előírások megegyeznek a folytonos szemeloszlású zúzottkő alapok szemeloszlási előírásaival. Alkalmazható megfelelő 0–140 mm közötti vegyes szemeloszlású anyagból készülő kohósalakkő réteg is, amelynek teherbírása azonban lényegesen alacsonyabb.

A kohósalakkő előnyös tulajdonsága, hogy locsolás hatására lassú hidraulikus kötések alakulnak ki, ami jelentős utólagos szilárdulást eredményez. A hatás 1–2% méz adagolásával fokozható.

A kohósalakkő alapréteg megépítése a kavics alapréteghez hasonlóan történik azzal a kiegészítéssel, hogy az optimális tömörítési víztartalom biztosítására kipermetezett vízben 1–2% meszet oldunk fel. A kohósalakkő alapréteg tehát *átmenetet képez a kötőanyag nélküli és a hidraulikus kötőanyaggal készülő alapok között.*

Soványbeton alapréteg

A soványbeton útalap C8–C10 minőségű betonból készül, amely kőanyag („adalékanyag”), portlandcement és víz keveréke.

A kőanyag lehet:

- homokos kavics HK 0/35,
- zúzott kőanyag,
- homok,
- zúzott kohósalakkő.

Ezek szemeloszlásának ki kell elégíteni a folytonos szemeloszlást és hézagminimumot biztosító *Fuller*-görbét, amelytől az előírt határgörbék mértékében el lehet térni.

A szemeloszlással kapcsolatos további előírás, hogy:

- az agyag iszaptartalom ($d < 0,02$ mm) max. 5%,
- $d < 5$ mm 40–60%,
- $d < 35$ mm legalább 90%,
- a 35 mm rostán fennmaradó rész legfeljebb 10%, amely teljes egészében essen át az 55 mm nyílású rostán.

A zúzott adalékanyag szemeloszlására is az előbbi előírások érvényesek, azzal az engedménnyel, hogy a maximális szemcseméret 55 mm-ig növelhető. A kielégítendő *Fuller*-görbe számítható, amelytől az eltérés csak korlátozott lehet.

A cement 350 vagy 250 portland, kohósalak portland vagy pernye portland cement, amelynek mennyiségét úgy kell megválasztani, hogy az alapbeton szilárdság 9000–12000 kN/m² között legyen. Szabványos kőanyag alkalmazásakor az előírt szilárdság 150–180 kg/m³ cement adagolásával érhető el.

A beton készítéséhez felhasznált víz ivóvíz minőségű legyen, amely nem zavaros és nem agresszív tulajdonságú. Célszerű laboratóriumi vizsgálattal a víz felhasználhatóságát ellenőrizni.

A soványbeton útalap építhető vastagsága: $v = 13–20$ cm

A beton alapanyagait (a kőanyagot, a cementet és a vizet) keverőgépben kell összekeverni úgy, hogy földneves konzisztenciájú anyagot kapjunk.

A beton elterítése előtt a tükröt végső formájára kell kialakítani, majd közvetlenül a terítés előtt meg kell nedvesíteni. Ennek az a célja, hogy a földmű a kötéshez szükséges vizet ne vonja ki a betonból.

A beton keveréket formasínek, zsaluzat vagy szegélyek közé terítik kézi erővel, vagy betonelosztóval. Az elterítést és elegyengetést kézzel lehúzópallóval, vagy bedolgozógéppel, finiserrel végzik. A terítés utáni tömörítést a finiser, vagy ennek hiányában vibrációs palló, lapvibrátor esetleg könnyű úthenger végezheti. Tömörítés közben és tömörítés után a profil helyességét és az egyenletességét ellenőrizni kell, a hibás helyeket ki kell javítani.

Az elkészült szerkezetet utókezelést igényel, amely folyamatos nedvesen tartást jelent. Ez megoldható:

- folyamatos locsolással,
- kazettázással,
- védőbevonat permetezésével.

Kazettázáskor a kész felületre talajból 1–2 négyzetméteres kazettákat építünk, és ezeket vízzel feltöltjük. Az egyszerű eljárás hátránya, hogy a kazettákat kialakító talaj, vagy homok a felszínről nehezen távolítható el.

A védőbevonat permetezésekor a megsikkadt betonfelületre 0,6–0,8 l/m² mennyiségben bitumenemulziót vagy egyéb folyékony anyagból álló védőbevonatot permeteznek, megakadályozva ezzel a beton kiszáradását.

A soványbeton alapréteget zsugorodási hézagok nélkül építik. A kis szilárdság miatt korán és sűrűn fellépő repedések azonban megnyílni nem tudnak, érdes törési felületükkel egymásba kapcsolódva a teherbíróképessége megmarad, de merevsége lecsökken.

A soványbeton útalapra legalább 10 cm asztfaltréteget kell építeni, hogy az esetleg kialakuló nagyobb repedések fölött az asztfaltréteg átrepedését megakadályozzuk.

A soványbeton útalap jól bedolgozható, kedvező felületképzési tulajdonságokkal rendelkező anyagból készül, nagy teherbírású alapréteg, amelyet szélesítésnél, tagolt felületű tereknél és folyó pályánál egyaránt használni lehet. Hátránya, hogy a beton szilárdulása az aszfalthoz viszonyítva lassú. A kötés ideje alatt utókezeleni kell és a forgalom elől is el kell zárni.

Erdészeti utak alapjaként nem terjedt el, mert a cementstabilizáció építésének technológiája viszonylag egyszerűbb.

Bitumenes alapok

Az útpályaszerkezetek építésénél általánosan elterjedt kötőanyag a bitumen, amelynek felhasználásával alap-, kötő- és kopóréteg, vagyis a teljes pályaszerkezet megépíthető.

Az erdészeti utak építésénél elterjedten használják a hideg vagy félmeleg eljárással, permetezéssel vagy keveréssel készülő, utántömörödő, aszfaltmakadám alapokat, amelyek burkolatként is használhatók. Ezek a szerkezetek átmenetnek tekinthetők a kötőanyag nélküli makadámok és a tömör aszfaltok között. A felületi tulajdonságokra igénytelenebb, illetve kis forgalom mellett hátrányos tulajdonságaik ellenére jelentőségük ma is nagy, mert építési technológiájuk egyszerű, nem kíván bonyolult berendezéseket. A hígított bitument felváltó kationaktív bitumenemulzió kötőanyag pedig a környezet terhelését is csökkenti.

BURKOLATOK

A gépjárművek gumiabroncsos forgalmát elviselő korszerű burkolatok készítése csak megfelelő kötőanyag felhasználásával lehetséges. Kötőanyag lehet:

- a cement, amely hidraulikus kötéseket hoz létre,
- a bitumen, amely a szemcsés ásványi váz kohézióját növeli és ezáltal biztosítja azokat a tulajdonságokat, amelyeket a burkolatoktól megkövetelünk.

Cement felhasználásával a betonburkolatok, míg bitumen felhasználásával az aszfaltok készülnek.

A betonburkolatok alkalmazása erdészeti útépitéseknél a közgazdasági és műszaki háttér hiánya miatt nem terjedt el.

Aszfaltok

Az erdészeti útépitések legelterjedtebb építőanyagai az aszfaltok, amelyeket szerkezetük, készítési és beépítési technológiájuk valamint a beépítés után lejátszódó tömörödésük alapján osztályozhatunk.

A szerkezet szempontjából jelentőséggel bír

- a kőanyag (kőváz) maximális szemnagysága,
- az ásványi rész (kőváz és töltőanyag) szemeloszlása,
- a kész aszfalt hézagviszonyai.

A kőanyag maximális szemcse nagysága meghatározza a beépíthető réteg vastagságát, míg a szemeloszlás megszabja az ásványi rész hézagviszonyait. A folytonos vagy folytonos-kihagyásos szemeloszlású kővázat keveréssel állítják elő, amely tömör aszfaltokat eredményez. A szakaszos szemeloszlású kővázból (2-3 frakció összekeverésével) készített aszfaltokból (aszfalt-makadámokból) a forgalom hatására utántömörödő szerkezet jön létre. A szakaszos szemeloszlás 2–3 frakció összekeverésével készül. A folytonos-kihagyásos szemeloszlású kővázat 4–5 frakció összekeverésével állítják elő, amelyből pl. nagyon tömör, de érdesítő zúzalékot befogadó réteg építhető.

Meleg eljárással készülő aszfaltokhoz utibitument, a félmeleg és hideg eljárással készülő aszfaltokhoz hígított bitument vagy bitumenemulzió kötőanyagot kell használni.

Az előállítás módja szerint az aszfaltok készülhetnek:

- főzéssel,
- keveréssel,
- permetezéssel.

A kevert aszfaltokat keverőgépekben állítják elő. A keverés történhet:

- melegen,
- félmelegen,
- hidegen.

A meleg eljárásakor a kőanyagot 170–220°C-ra hevítik fel, és ezen a hőfokon keverik össze a szintén félmelegített kötőanyaggal. A félmeleg eljárással készülő aszfaltok előállításánál a kőanyagot nem, a kötőanyagot viszont 80–120°C-ra melegítik fel. Hideg keverésnél a kőanyagot és a kötőanyagot normál hőmérsékleten keverik össze. A kész keveréket tehergépkocsikkal szállítják a beépítés helyére, és ott kezdetlegesebb módon kézzel, fejlettebb módszernél géppel (finiserrel) terítik szét, majd tömörítik be. A meleg és félmeleg keverékek beépítését még kihűlés előtt el kell végezni.

Permetezéssel készülnek az aszfaltmakadámok és a felületi bevonatok. A kötőanyagot bitumenszóró gépkocsikkal melegen, vagy hidegen permetezik a felületre, majd erre terítik a zúzalékot.

A főzéssel készülő (habarcsosított) aszfaltokat keverés után még tovább főzik. Ezekre jellemző, hogy hézagtartalom nélkül készülnek. Erdőgazdasági jelentőségük nincs.

Aszfaltmakadám burkolatok

Átmenetet képeznek a makadám rendszerű és a tömör aszfalt pályaszerkezeti rétegek között. Teherbírásukat a durva szemcsékből álló, érdes, nagy belső súrlódású, jól kiékelte kőváz biztosítja, amelynek szemeloszlása szakaszos, ezért hézagtartalmuk magas. A forgalom hatására utántömörödik, sőt a szemcsék aprózódnak, így kötőanyaggal be nem vont szemcsefelületek keletkeznek. Ezért a stabilitás csak akkor marad fenn, ha a friss törési felületeket a kötőanyag bevonja. Erre legalkalmasabb kötőanyag a hígított bitumen. Ha kötőanyagként bitumenemulziót használunk, akkor a megtört emulzió már nem tud új felületeket bevonni, de azonnal nagyobb stabilitást ad a szerkezetnek és az utántömörödés kisebb lesz. Előnye az is, hogy nem kell megvárni a hígítóanyag elpárolgását az újabb tömör réteg ráépítése előtt. A nyitott szemszerkezetű aszfaltmakadám burkolatokat záróréteggel kell ellátni a vízzárás biztosítása érdekében. Ez lehet felületi bevonás, vagy egyéb vékony rétegben felhordható aszfalt-választék.

Az aszfaltmakadám burkolatok hátrányos tulajdonságai miatt a közúti gyakorlatból kiszorultak. Erdészeti utak pályaszerkezeteként előnyei és viszonylag alacsony építési költségei miatt alkalmazhatók, főként ott, ahol a kivitelező rendelkezik a szükséges gépparkkal, illetve az építési anyagot a közeli kőbányából biztosítani lehet.

Az aszfaltmakadám burkolatok permetezéssel (itatott aszfaltmakadám) kötőzúzalék felhasználásával (kötőzúzalékos aszfaltmakadám) és keveréssel (kevert aszfaltmakadám) készülnek.

Itatott aszfaltmakadám

A vízzel kötött makadámurkolatok bitumenes kötőanyaggal készített fejlettebb, permetezéssel készülő változata. Permetezéssel a bitumenadagolást nem lehet pontosan beállítani, ezért gyakran alakulnak ki „izzadó” vagy „sovány” foltok amit ki kell javítani. Végleges tömörsége csak a forgalom hatására alakul ki (utántömörödő), a túl nagy forgalom alatt könnyen deformálódik. Építésük közepes erdészeti forgalomig javasolható.

Az építés fő lépései a következők:

- zúzottkő pálya készítése,
- kötőanyag kipermetezése,
- zúzalék-terítés.

A teherbíró alapra 5–7 cm vastagságú zúzottkő pályát kell építeni. Ehhez NZ 22/32, illetve NZ 32/56 mm szemnagyságú zúzott követ kell az úttükörben elteríteni, majd behengerelni.

Az így elkészített zúzottkő pályára ki kell permetezni a bitument, majd azonnal el kell teríteni a kiékelő zúzalékot és be kell tömöríteni.

Ezt az első itatást egy második itatás is követheti, amikor kevesebb kötőanyagot permeteznek ki és kevesebb kiékelő zúzalékot terítenek el.

Az első itatáskor 4 kg/m² bitument permetezünk ki, és azonnal elterítjük a 22 kg/m² NZ 11/22 mm szemnagyságú kiékelő zúzalékot. A zúzalékot nehéz úthengerrel a hézagokba nyomjuk. Ezután következik a második itatás és zúzalékterítés, amelyhez 2 kg/m² hígított bitument és 18 kg/m² KZ 8/11 zúzalékot használunk fel.

Az elkészült rétegre ezután lehetőleg azonnal, de legfeljebb 4–6 hét elteltével záróréteget kell helyezni. A későbbi lezárás a hígított bitumen oldóanyagának gyors elpárolgását megkönnyíti és a forgalom hatására az utántömörödés jelentős része lejátszódik.

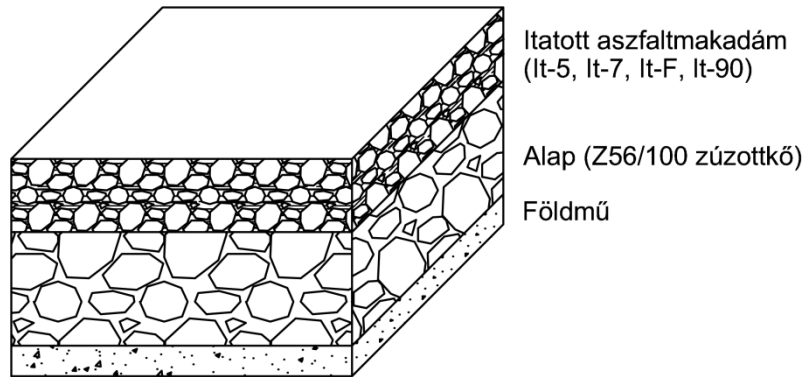
A lezárás történhet kevert záróréteggel (HAB-5 vagy HAB-8) vagy felületi bevonással. A hígított bitumen oldószerének elpárolgását gátolni ezeknek a rétegeknek nem szabad, mert ez a burkolat korai tönkremeneteléhez vezethet.

It-90 jelű itatott aszfaltmakadám kétszeri itatással és kiékeléssel készül. A zúzottkő laza terítési vastagsága 6 cm (90 kg/m²), a kész szerkezet tömör vastagsága záróréteg nélkül 6 cm.

It-5 jelű itatott aszfaltmakadám csökkentett vastagságban, egyszeri permetezéssel és kiékeléssel készül. A zúzottkő laza terítési vastagsága 5 cm, a kész szerkezet tömör összvastagsága záróréteggel 5,5 cm.

It-7 jelű aszfaltmakadám normál vastagságban, kétszeri permetezéssel és kiékeléssel készül. A zúzottkő laza terítési vastagsága 7 cm, tömör összvastagsága záróréteggel 7,5 cm.

It-F jelű itatott aszfaltmakadám normál vastagságban, egyszeri permetezéssel és kiékeléssel készül. A zúzottkő laza terítési vastagsága 7 cm, tömör összvastagsága záróréteggel 7,5 cm.



Itatott aszfaltmakadám

Kötőzúzalékos aszfaltmakadám

A kötőzúzalékos aszfaltmakadám az itatott aszfaltmakadám fejlettebb változata. Ennél a szerkezetnél a zúzottkő pályát keverőgépben előre megkevert és melegen vagy hidegen elterített és behengerelt kötőzúzalék köti be.

Zúzottkő alapra, vagy más teherbíró rétegre 5–7 cm vastag zúzottkő pályát kell építeni NZ 22/32, vagy NZ 32/56 zúzottkőből. Ezt a réteget $1,5 \text{ kg/m}^2$ hígított bitumennel kell alápermetezni, majd erre helyezük el egy, vagy két részletben a keverőgépben hígított bitumennel összekevert folytonos szemeloszlású zúzalékot, a kötőzúzalékot.

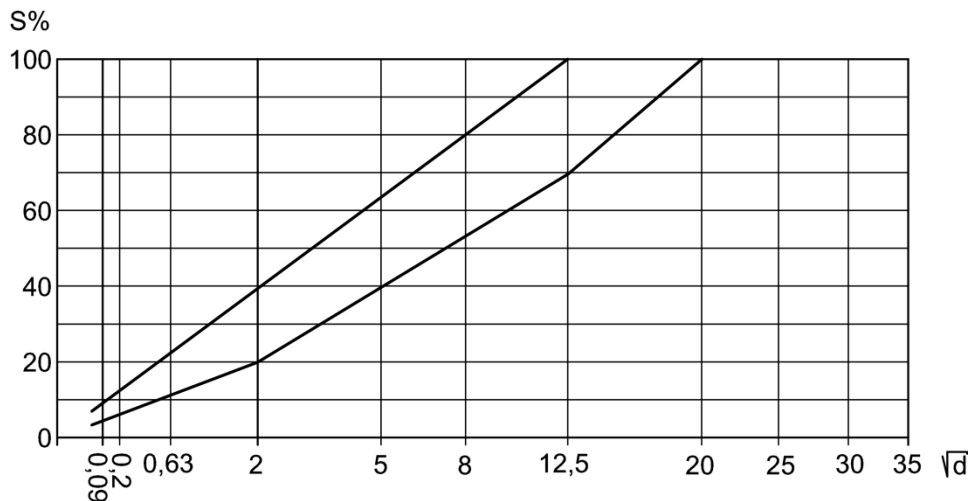
Terítés közben folyamatosan hengerelni kell, miközben a kötőzúzalék egy része benyomódik a zúzottkő hézagaiba, másik része vékony rétegben a felületen marad.

Megfelelő forgalom és meleg hatására a felület „elaszfaltosodik”, és az utántömörödés jelentős része megtörténik. A jó vízzárás érdekében a felületet valamilyen záróréteggel kell ellátni.

A kötőzúzalék természetes homok, zúzott homok és zúzalék felhasználásával készül a következő összetétel szerint:

- 20% természetes homok (0/4 szem nagysággal),
- 30% zúzott homok (0/4 szem nagysággal),
- 50% zúzalék (4/11 és 11/22 szem nagyságú frakciók 1–1 arányú keveréke).

A kőváz összetétele feleljen meg a folyamatos szemeloszlás feltételeinek. A kötőzúzalékhoz használt hígított bitumen mennyisége 5,0–6,5 tömeg % a kőanyag tömegére vonatkoztatva.



Kötőzúzalék kővázának szemeloszlása

Kötőzúzalékos aszfaltmakadám változatai

Köt-35 egyrétegű kötőzúzalékos aszfaltmakadám. A Z 22/45, vagy NZ 22/32 jelű zúzottkőből készített réteg laza vastagsága 6 cm (90 kg/m^2). A kötőzúzalék terítés egy rétegben 25 kg/m^2 , majd 10 kg/m^2 pótlást kap a kiegyenlítéshez.

Köt-60 kétrétegű kötőzúzalékos aszfaltmakadám. A Z 22/45, vagy NZ 22/32 jelű zúzottkőből készített réteg laza vastagsága 6 cm (90 kg/m^2). A kötőzúzalékot kétszer 25 kg/m^2 mennyiségben terítik szét, rétegenként betömörítve, további 10 kg/m^2 kötőzúzalékot használva a kiegyenlítésre.

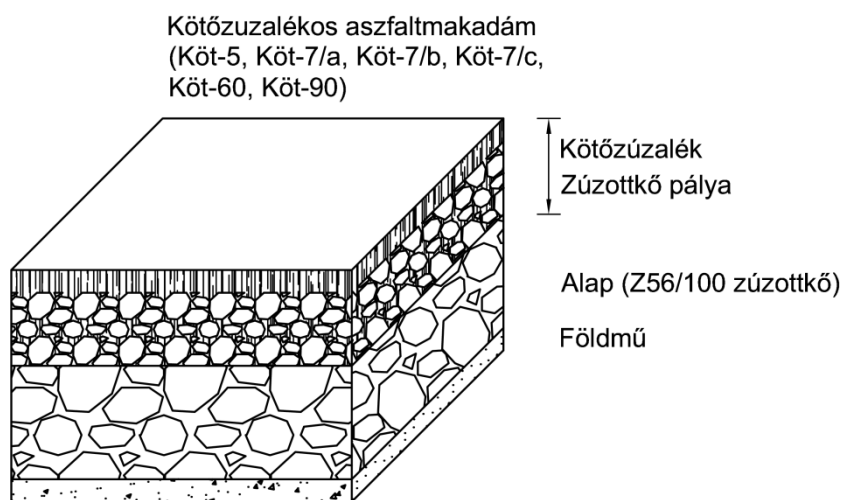
Mind a két változatnál kopórétegbe építve 20 kg/m^2 kevert záróréteggel azonnal lezárandó.

Köt-5 jelű csökkentett vastagságú, egy kötőzúzalékos réteggel bekötött változat. A NZ 22/32 zúzottkő réteg laza terítési vastagsága 5 cm (75 kg/m^2). A kötőzúzalék egy rétegben 40 kg/m^2 és 10 kg/m^2 kiegyenlítő réteg. Összes tömör vastagság záróréteggel 6–7 cm.

Köt-7/a jelű normál vastagságú, egy kötőzúzalékos réteggel bekötött változat. A NZ 32/56 zúzottkő réteg laza terítési vastagsága 7 cm. A kötőzúzalék egy rétegben 40 kg/m^2 és 10 kg/m^2 kiegyenlítőréteg. Összes tömör vastagság záróréteggel 7,5–8,5 cm.

Köt-7/b jelű általában használt normál vastagságú, két kötőzúzalékos réteggel bekötött változat. A NZ 32/56 zúzottkő réteg laza terítési vastagsága 7 cm. A kötőzúzalék két rétegben $30+30 \text{ kg/m}^2$ és 10 kg/m^2 kiegyenlítőréteg, tehát összesen 70 kg/m^2 mennyiségű. Összes tömör vastagsága záróréteggel 8–9 cm.

Köt-7/c jelű alapként alkalmazott réteg, amely egy réteg kötőzúzalékos bekötéssel készül. A NZ 32/56 zúzottkő réteg laza terítési vastagsága 7 cm. Az egy rétegben elterített kötőzúzalék mennyisége 35 kg/m^2 . Kiegyenlítő és záróréteg nem készül. Összes tömör vastagság 7–8 cm.



Kötőzúzalékos aszfaltmakadám

Kevert aszfaltmakadám

Az aszfaltmakadám burkolatok legnagyobb teherbírású és legnagyobb stabilitású változata, amely teljes egészében keveréssel előállított szerkezet.

A kétrétegű KM-120 típusú kevert aszfaltmakadám alsó rétege NZ 11/22 és NZ 22/32 zúzalék 1:2 arányú keveréke, a felső réteg NZ 0/4 és NZ4/11 zúzalék 1:2 arányú keveréke.

A KM-60 kevert aszfaltmakadám kőváza NZ 4/11, vagy NZ 11/22 zúzalék , 3/12 mm vagy 5/12 mm, esetleg 3/20 mm nagyságú zúzalékkal készül.

A kötőanyag higított bitumen, amelynek mennyiségét a felhasznált zúzalék szemnagysága határozza meg:

- alsó rétegnél: 3,0-3,5%,
- felső rétegnél: 5,5-6,0%.

A kővázat a kötőanyaggal kényszerkeverőgépben melegen vagy félmelegen összekeverik. Meleg keveréskor a zúzalékot szárítódobban 70–120°C-ra fel kell melegíteni.

Száraz zúzalék melegítését el lehet hagyni. A higított bitument 80–120°C hőmérsékleten kell a keverőtérbe adagolni.

A beépítés első lépésében az anyagot kézzel, terítőládával vagy finisserrel egyenletes vastagságú és tömörségű rétegben kell elteríteni. Az alsó réteget ezután 12–14 tonnás úthenger 2–3 járatával előtömörítik, így a nem teljesen tömör alsó réteghez a következő réteg jól hozzá tud kötni.

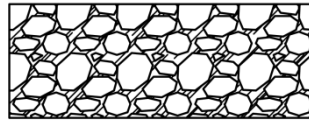
Még aznap a felső réteget meg kell építeni. Ennek anyagát terítőládával vagy finisserrel célszerű elteríteni majd nehéz hengerrel behengerelni, tovább tömörítve a még friss alsó réteget is.

KM-120 jelű kevert aszfaltmakadám burkolat 120 kg/m² összmennyiséggel, 6 cm vastagságban, két rétegben készül. Az alsó, durvább réteg kialakításához 80 kg/m² mennyiségű anyagot használunk.

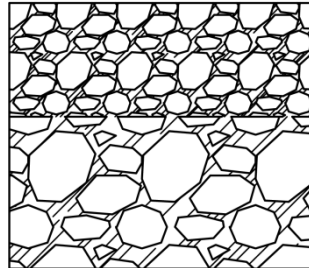
KM-60 jelű aszfaltmakadám-szőnyeg 60 kg/m² anyag felhasználásával készül egy rétegben. Készítésére és építésére értelemszerűen alkalmazhatók az előbb elmondottak.

Kopóréteggént építve kevert záróréteggel (HAB-8), vagy felületi bevonással kell ellátni.

KM-60 szőnyeg



KM-120 burkolat



Kevert aszfaltmakadám

Tömör aszfalt alapok és burkolatok

A tömör aszfaltból készülő meleg bitumenes alap-, kötő- és kopórétegek anyaga a betonelv alapján összeállított kőváz, töltőanyag és utibitumen kötőanyag hézagszegény keveréke. A keveréket forró állapotban keverőgépben keverik össze és forró állapotban építik be. A kész szerkezet szabad hézagtartalma az aszfalt stabilitását biztosítja.

A kőváz legnagyobb szemcseátmérője, szemeloszlása, szemcseformája, a bitumen minősége és mennyisége befolyásolja a kész keverékek tömöríthetőségét, stabilitását, kopásellenállását, felületi struktúráját, valamint a beépíthető réteg vastagságát.

Az aszfaltbeton burkolatok nagy teherbírással és jó felületi tulajdonsággal rendelkeznek. Nagy forgalmú erdészeti utak drága, de hosszú élettartamú, kis fenntartási igényű burkolata. A meleg bitumenes útalapok az aszfaltbeton burkolatok alaprétegekként valamint záróréteggel ellátva erdészeti utak burkolataként építhetők meg.

Követelmények a tömör aszfaltok alapanyagaival szemben

Az aszfaltanyagok tulajdonságait alapvetően meghatározzák a készítésükhöz felhasznált alapanyagok tulajdonságai.

Az aszfaltok kötőanyaga: 70/100, 50/70, 35/50, 20/30 jelű utibitumen. A keverék készítéséhez felhasznált bitument a választéknak és a beépítés helyének megfelelően kell kiválasztani.

Az aszfaltot felépítő ásványi anyagot szemnagyságuk alapján a következő három csoportba soroljuk:

- töltőanyag
- homok
- kőanyag

A töltőanyag az aszfalt ásványi keverékének 0,09 mm alatti része, amely lehet a porleválasztók anyaga illetve mészkőliszt. Csökkenti a kőváz hézagtartalmát, merevíti a bitument és ezzel magas hőfokon is biztosítja az aszfalt stabilitását.

A homok 0,09–2,0 mm közötti frakció, amely egyrészt biztosítja a szemeloszlás és hézag-tartalom egyenletességét, másrészt befolyásolja a bedolgozhatóságát. A szemeloszlásnál lényeges, hogy a 0,02 mm alatti szemcsefrakció 5%-nál kevesebb legyen. Aszfaltok készítéséhez zúzott és természetes homokot lehet felhasználni. A zúzott homok nagy belső sűrűlódásával a stabilitást növeli, de egyben a bedolgozhatóságot csökkenti. A gömbölyű szemű természetes homok csökkenti a kőváz belső sűrűlódását ezzel biztosítja a jó bedolgozhatóságot és tömöríthetőséget, de kisebb stabilitást kölcsönöz az anyagnak.

A kőanyag az ásványi rész 2,0 mm feletti része. Felhasználhatók a zúzottkő termékek 2,0 mm feletti frakciói, a folyami vagy bányakitermelésű kavics és a természetes állapotban előforduló murva 2,0 mm feletti frakciói. Ezekben az anyagokban 0,02 mm alatti frakció nem haladhatja meg a 10%-ot.

A kőváz kőanyagának minőségét az aszfaltválaszték burkolatban elfoglalt helye határozza meg így:

- Bitumenes alaprétegben: Kf D, illetve Kf C kőzetfizikai osztályba sorolt osztályozatlan homokos kavics, osztályozott zúzott murva, zúzott osztályozott kavics és zúzott vagy granulált osztályozott kohósalak használható, amely megfelel a Z, vagy NZ szemeloszlási minőségnek;
- Aszfaltbeton kopóréteghez: Kf A kőzetfizikai csoportba sorolt, KZ minőségű zúzottkő használható fel.

Tömör aszfaltok hézagviszonyai

A tömör aszfaltok beépítés után háromfázisú diszperz rendszert alkotnak. A szabad hézag (h%) döntően befolyásolja a kész pályaszerkezeti réteg felületi tulajdonságait, teherbíróképességét és állékonyágát (stabilitását).

A túl kicsi hézag ($h\% < 0,5-1,0\%$) miatt beépítés közben a tömörítés a felszínre nyomja a bitument. A felület simává, csúszóssá, „elzsírosodottá” válik. Valahol nem is lesz hézag. A sűrű folyadékként viselkedő bitumenben terhelés hatására a semleges feszültségekhez hasonló feszültségállapot alakul ki, ami az anyag teherbírását és stabilitását csökkenti.

A nagy szabad hézagtartalom ($h\% 6-7\%$) szintén kedvezőtlen. A réteg felszíne ilyenkor nyílt, nem eléggé vízzáró, télen a bejutó víz megfagyva szétfeszíti az anyagot. A levegővel jobban érintkező bitumen oxidációja felgyorsul, hamarabb öregszik és ezzel kötőképessége is gyorsabban lecsökkenik.

A kedvező mennyiségű szabad hézagtartalom tartománya hosszú forgalom után 3–5%.

A szabad hézagtartalom nagyságát – annak fontossága miatt – a keverék tervezésekor az előzetes számítások alapján megadott mennyiségű anyagok összemérésével készített próbatesten, a kész aszfaltkeverék ellenőrzésekor a friss aszfaltból készített próbatesten, a beépített aszfaltréteg minősítésekor fúrt magmintákon vizsgáljuk.

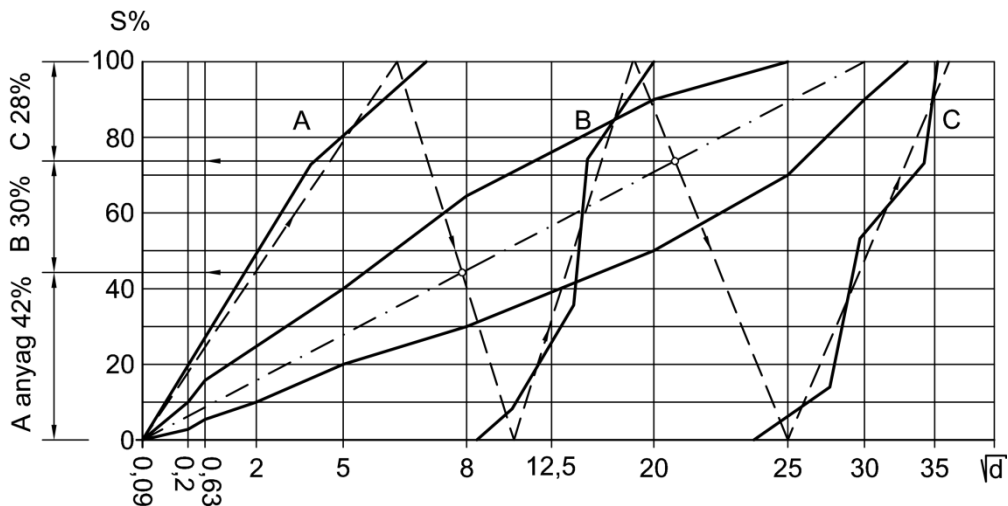
Tömör aszfaltok kőváza

A tömör aszfaltok kővázának ki kell elégíteni az aszfaltválasztékra előírt szemeloszlást. Elméletileg ez a legtömörebb állapotot adó folytonos szemeloszlást megközelítő szemeloszlás lenne, amelytől azonban céljainknak megfelelően el kell térni. Az aszfalt kővázát ezért különböző szemeloszlású kőanyagok keverésével állítják elő úgy, hogy az kedvező hézagtartalmú és a célnak megfelelő tulajdonságú aszfaltválasztékot adjon.

Különböző szemeloszlású kővázak:

- „homok-hasas” szemeloszlás nagyobb mennyiségű finom frakciót tartalmaz. A hézagtartalom megnő ($h_k = 15\text{--}22\%$), a jó tömörség mellett az előírt mennyiségű szabad hézag is kialakulhat.
- folytonos-kihagyásos szemeloszlás az aszfaltréteg érdesítését teszi lehetővé. A sok töltőanyagból és homokból álló habarcsrészt tartalmazó réteg beépítése közben a felületre kiszórt nagy szemű érdesítő zúzalékot befogadja, ami jelentős makro érdeséget kölcsönöz a felületnek.

Az egyes alkotók mennyiségét a *Rotfuchs-féle grafikus szerkesztéssel* határozhatjuk meg. A szerkesztés első lépéseként megrajzoljuk az összetevők saját szemeloszlási görbéinek kiegyenlítő vonalát úgy, hogy a kiegyenlítő vonal fölé és alá eső területek azonosak legyenek. A határgörbék közé behúzzuk a választott szemeloszlás görbét (eredményvonal). Az egyes összetevők kiegyenlítő vonalainak felső végpontját összekötve a következő alkotó kiegyenlítő vonalának alsó kezdőpontjával olyan szerkesztési segédvonalakat kapunk, amelyek a választott szemeloszlás vonalát metszik. A metszéspontokat az ordinátára kivetítve megkapjuk az összetevők arányát.



Rotfuchs-féle szerkesztés elve

Tömör aszfaltok összetételének meghatározása

A tömör aszfaltok összetételének meghatározásakor az a feladatunk, hogy az adott kővázhhoz olyan bitumentartalmat rendeljünk, amely biztosítja a tervezett szabad hézagok mennyiségét és az előírt mechanikai tulajdonságokat.

Az alkalmassági vizsgálatot *Marshall-próbatesteken* végezzük. A próbatesteket ötféle bitumenadagolással kell elkészíteni úgy, hogy az adagolás a keverékre megengedett határértékek között helyezkedjen el. Az előkészített kővázat és bitument 140°C -on összekeverjük, majd 140°C -on $101,6\text{ mm}$ átmérőjű $63,5\text{ mm}$ magasságú korong alakú próbatesteket készítünk meghatározott tömörítési munkával. (A próbatestek készítésénél 3140 J/m^3 fajlagos tömörítőmunkát kell alkalmazni. Ez azt jelenti, hogy egy $4,55\text{ kg}$ tömegű döngölőt $0,46\text{ m}$ magasságból 75-ször ejtünk le a próbatest mindkét oldalára.) Az így elkészített próbatestek következő jellemzőit kell meghatározni:

- halomsűrűség: S_{aM}

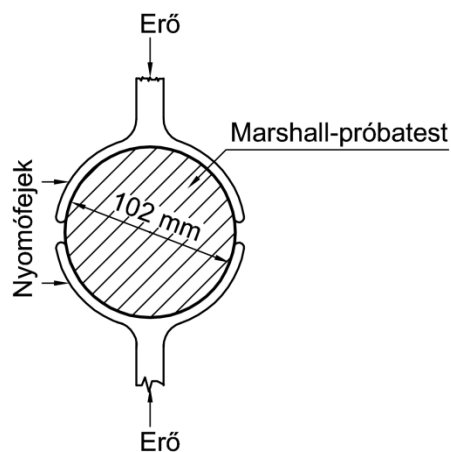
- szabad hézagtartalom: MH
- bitumentelítettség: t_b
- Marshall-stabilitás: MS
- Marshall-folyás: MF
- merevségi hányados: MS/MF

A Marshall-próbatestek mechanikai vizsgálatát Marshall-nyomógéppel végezzük el. A nyomógép a 60°C hőmérsékletűre beállított próbatestet 50 mm/perc előtolással két körpalást alakú nyomófejjel palást irányában terheli.

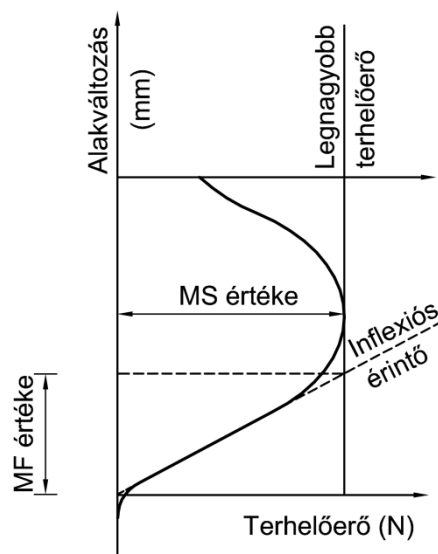
A Marshall-stabilitás (MS) az a maximális erő N-ban kifejezve, amelyet a törésig terhelt próbatest a vizsgálat során felvett.

A Marshall-folyás (MF) érték az a mm-ben kifejezett összenyomódás, amelyet a próbatesten a kezdeti és a legnagyobb erő kialakulása között észlelünk.

A terhelési vizsgálat közben felvett erő-út görbe iránytangense a merevségi hányados, vagyis a Marshall-stabilitás és folyásérték hányadosa (MS/MF).



Marshall-féle nyomófej



Bitumenadagolás meghatározása

A próbatesten elvégzett vizsgálatok eredményeként kapott jellemző értékeket kiértékelés céljából a $B\%$ bitumentartalom függvényében kell ábrázolni, ahol az egyes görbék lefutása jellegzetes

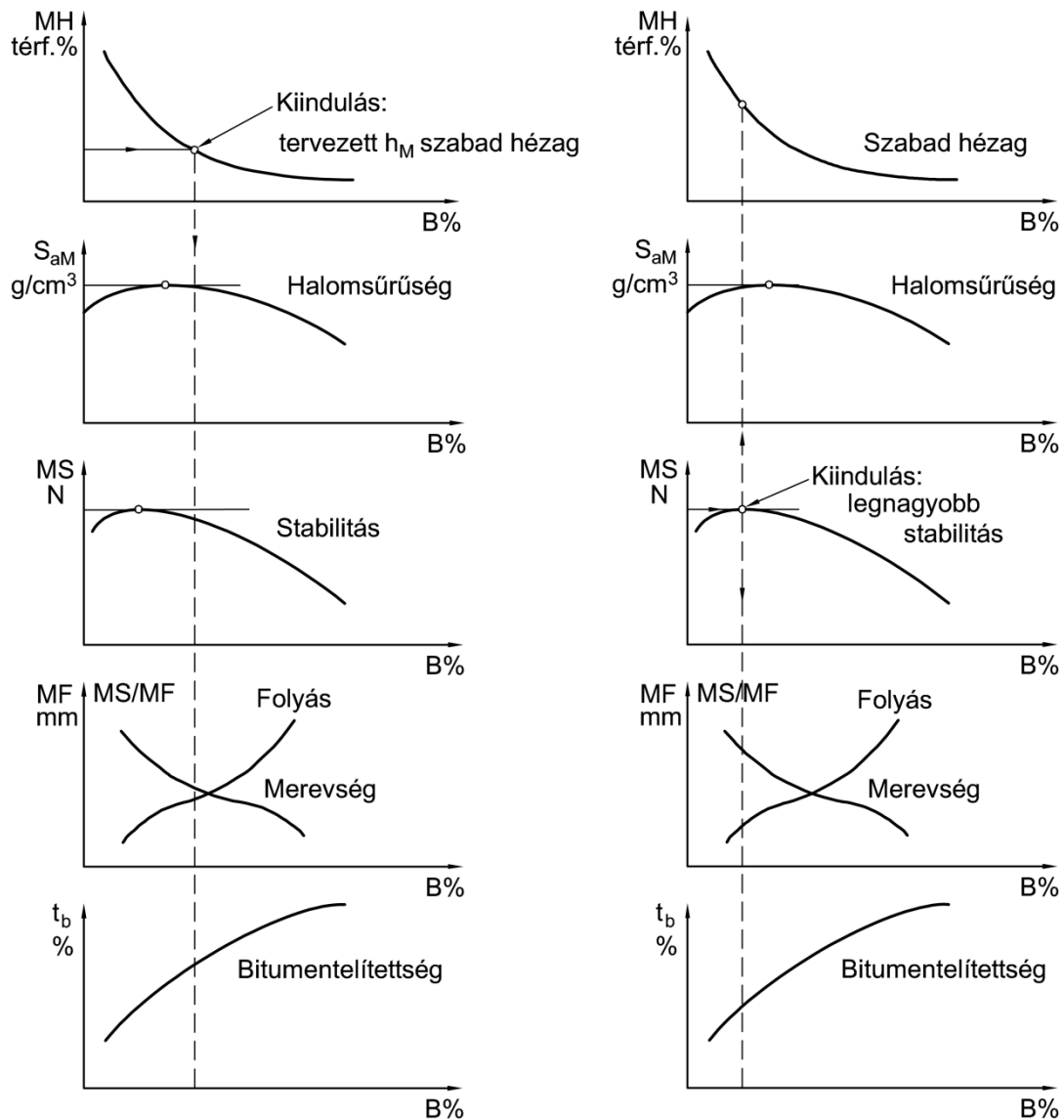
A diagramok értékelése alapján kell a bitumenadagolást meghatározni aszerint, hogy aszfaltbeton típusú burkolati réteg, vagy meleg bitumenes útalap anyagának tervezését végezzük.

Kopóréteg anyagát szolgáltató aszfaltbeton típusú választékoknál a $B\%$ bitumentartalmat az $MH = 3-4\%$ szabad hézag helyén kell kiválasztani az $MH\%-B\%$ görbe alapján. Az így meghatározott bitumentartalom általában nem esik az s_{oM} és MS görbék maximumához, ezért ellenőrizni kell a többi diagramon, hogy az előírt értékek teljesülnek-e.

A bitumenes útalapokban a legnagyobb stabilitás biztosítása a cél. A tervezett $B\%$ bitumentartalmat ezért a Marshall-stabilitás (MS) és a halomsűrűség (s_{oM}) maximumánál kell megválasztani. Ennek következtében a szabad hézag mennyisége megnő. Ez alapréteg esetén nem jelent problémát, mert erre egy kopóréteg kerül, ami megakadályozza a víz behatolását és az anyag szétfagyását, illetve az oxidációt és bitumen öregedését. A választéktól függően előírt minimumot, alsó-felső határértékeket ekkor is be kell tartani.

A pályaszerkezet élettartamát a tömörítés és forgalom hatására kialakuló végleges $h\%$ szabad hézagtartalom befolyásolja. Mivel a tömörség értékét $97-98\%$ -ban szokás előírni, ezért tervezésnél az $MH\%$ Marshall-próbatest szabad hézagát (a tervezési hézagtartalmat) $2-3\%$ -kal kisebbre kell választani.

Az aszfalt pályaszerkezeti rétegek építésénél a károsan kis tömörség mellett kerülni kell a „túltömörítést” is, mert így 0% vagy negatív szabad hézagot hozunk létre, annak összes kedvezőtlen hatásával együtt.



Marshall próbatestek jelleggörbéi aszfaltbetonoknál és meleg bitumenes útalapoknál

Meleg bitumenes útalap alkalmazása kopóréteggént

Az erdészeti utak pályaszerkezetében a meleg bitumenes útalap választékokat kedvező áruk miatt a legfelső kopórétegbe szokták beépíteni. Ekkor célszerű a Marshall-stabilitás maximumától eltérve az MH szabad hézagtartalmat az alsó határérték körül tervezni, mert ezzel a kopóréteggel szemben támasztott más irányú igényeket is ki lehet elégíteni. A *kopórétegbe épített meleg bitumenes útalapot felületi bevonással kell ellátni*, hogy a víz beszívargását és ezzel a szétfagyás veszélyét csökkentsük.

Tömör aszfaltok készítése

A tömör aszfaltkeverékeket aszfaltkeverő telepeken állítják elő.

Az aszfaltkeverő berendezés fő részei:

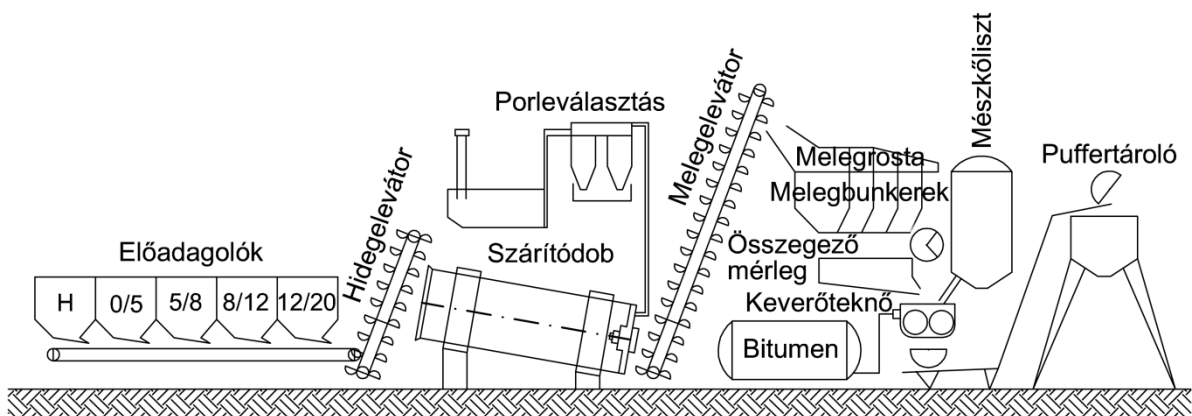
- *előadagolók*, amelyek a kőváz frakcióit térfogat arány alapján adagolják egy szállítószalagra,
- *hideg elevátor*, amely a szállítószalagon érkező kőanyagot a szárítódobba juttatja,

- *szárítódob*, amelyben megtörténik a kőanyag felmelegítése, kiszárítása és a por leválasztása,
- *meleg elevátor*, amely a meleg kőanyagot a meleg rostákra szállítja,
- *meleg rosták*, ahol a kőanyagot frakciókra választják szét,
- *meleg bunkerek*, amelyben a meleg kőzetet frakciók szerint tárolják,
- *összegező mérleg*, amely a kőzetfrakciókat súlyarány szerint beméri,
- *keverőtér*, ahol a keverés történik,
- *bitumen tartály és adagoló*,
- *mészköliszt tartály és adagoló*,
- *porleválasztó*, amely a keletkező port leválasztja,
- *kőpor tároló*, amely tárolja a porleválasztó anyagát és lehetővé teszi annak visszaadagolását a kővázhoz.

A rakodógéppel feltöltött *előadagoló tartályaiból térfogat szerinti adagolással* az előírt keverési arálynak megfelelő mennyiségű kőanyag kerül egy szállítószalagra, amelyet a hideg elevátor a közel vízszintes tengely körül forgó szárítódobba juttat. A szárítódobban a kőanyag elveszti nedvességtartalmát és kellő hőmérsékletre melegszik fel, valamint megtörténik a por leválasztása is. A tiszta, száraz anyagot innen a meleg elevátor a meleg rostákra juttatja, ahol a kőanyag újra frakciókra osztályozódik. Az osztályozott anyag a meleg bunkerekbe kerül, ahonnan összegező mérleg segítségével az előírt szemeloszlásnak megfelelő keveréket állítják elő és engedik be a keverőtérbe. A mészköliszt, illetve visszanyert szárított kőpor töltőanyagot hideg állapotban szállítócsiga adagolja a keverőtérbe, súly szerint pontosan bemérve. A keverőtérbe rövid száraz keverés után bepermetezik a súly szerint bemért bitumént. Előírt keverési idő eltelte után a kész meleg aszfalt puffertárolóba jut, ahonnan tehergépkocsikkal történik a kiszállítás az építés helyére.

Az aszfaltkeverékek gyártása közben nagyon lényeges az egyes összetevők megfelelő hőmérséklete. Ez biztosítja:

- a tökéletes keverést,
- megakadályozza a bitumen krakkolódását (elégését),
- elég hőtartalékot kölcsönöz a rövid ideig tartó tároláshoz, illetve a szállításhoz, ezzel biztosítva a beépítéshez szükséges hőmérsékletet is.



Aszfaltkeverő berendezés vázlatos elrendezése

Aszfaltkeverék szállítása

A kész aszfaltkeveréket tehergépkocsival szállítják a beépítés helyére. A szállítási távolságot az aszfalt aszfalttárolóban mért hőmérséklete, az időjárás és a szállítóközi típusa határozza meg. Ezek függvényében olyan távolságra lehet a meleg anyagot szállítani, hogy annak hőmérséklete ne csökkenjen a beépítési hőmérséklet alá.

Az aszfalt lehűlése:

- nyitott tehergépkocsin 36 °C/óra
- ponyvával letakart tehergépkocsin 10 °C/óra
- hőszigetelt tehergépkocsin 5 °C/óra.

Ezt figyelembe véve, 20 km/óra átlagsebességet és 20 °C megengedett hőmérsékletcsökkenést feltételezve a legnagyobb szállítási távolságok:

- nyitott tehergépkocsival 12 km,
- ponyvázott tehergépkocsival 40 km,
- hőszigetelt tehergépkocsival 80 km lehet.

Tömör aszfaltok beépítése

A tömör aszfaltok beépítésével kapcsolatos teendők három csoportba oszthatók:

- az alap előkészítése,
- a szegélyek kialakítása,
- a keverék beépítése.

A meleg bitumenes alapréteget új utak építésénél a teherbíró földműre, vagy nem utántömörödő, teherbíró alpra kell építeni.

Utak korszerűsítésénél a bitumenes alapréteget csak a profilozási munkák (javítás, áthengerlés vagy kiegyenlítés) befejezése után lehet megépíteni. Alapként szolgáló régi makadampályán a nagyobb deformációkat meg kell szüntetni, a be nem kötött, mozgó zúzottkő- és kavicszemeket a szennyeződéssel együtt el kell távolítani.

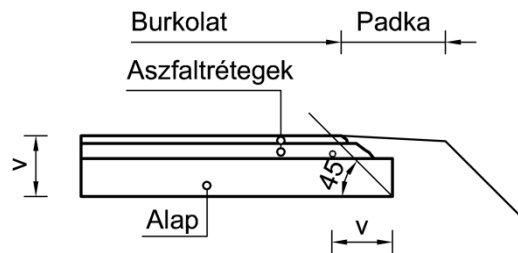
Az aszfaltréteg építése előtt a következő előírásokat kell betartani:

- az aszfaltbeton jellegű pályaszerkezeti réteget csak szennyeződéstől megtisztított, hó- és jégmentes, száraz felületre szabad ráépíteni,
- a bitumenes alapréteget +3 °C, kötő- és kopóréteget +5 °C léghőmérséklet alatt nem szabad építeni,
- a rétegek kifogástalan ragasztásáról bitumenemulzió kipermetezésével kell gondoskodni (hígított bitument használni tilos),
- az alapot az első aszfaltréteg építése előtt, illetve a régi burkolatot az új aszfaltréteg építése előtt 0,5–1,0 kg/m² bitumenemulzióval kell lepermetezni,
- kötő- és kopóréteg építése előtt 5%-nál nagyobb hosszúságú szakaszon a meglévő bitumenes alapréteg, illetve kötőréteg felületére 0,3–0,8 kg/m² bitumenemulziót csak akkor kell kipermetezni, ha az a kifogástalan tapadás biztosításához szükséges,

- a bitumenemulzió kipermetezése, illetve az új réteg építése előtt a felület szennyeződését mindig el kell távolítani, és a további elszennyeződést meg kell akadályozni.

A szegély kialakításakor fontos a megtámasztást és a lezárást biztosítani:

- a tömör aszfaltból készülő rétegeket tartalmazó pályaszerkezetet úgy kell felépíteni, hogy az alsóbb rétegeket a felső réteg szélétől számítva a saját vastagságával szélesebbre építjük,
- a kiemelt és süllyesztett szegélyt, vagy a szegélyezés egyéb formáját az erdészeti utaknál nem használjuk.



Szegély kialakítás tömör aszfaltburkolatoknál

Az aszfalt terítése

Az aszfaltbeépítés első lépése az aszfalt terítése, amelynek követelményei az alábbiak:

- a terítés a tömörödést figyelembevevő vastagságban, profilhelyesen, hullámmentesen történjen,
- az elterített réteg egyenletes tömörségű legyen, hogy az esetleges utántömörödés hullámokat ne képezzen,
- a terítés közben az aszfalt hőmérséklete számottevően ne csökkenjen.

A terítés történhet:

- kézzel,
- gréderrel,
- aszfaltfiniserrel (aszfalt bedolgozó géppel).

A kézi terítés ma már erdészeti utak építésénél sem ajánlható, mert a viszonylag nagy értékű anyag előnyös tulajdonságait nem érdemes a gyengébb minőségű beépítéssel elrontani. Kézi terítéskor a tehergépkocsiból az aszfaltot tiszta acéllemezzre kell leereszteni úgy, hogy karoláson belül lapáttal, vagy talicskával a bedolgozás helyére lehessen juttatni, lehűlés és tömörödés nélkül. Az elterítéshez gereblyét, kézi lehúzópallót kell használni. Az elterített rétegnek egyenletes vastagságúnak és egyenletesen tömörnek (lazának) kell lenni.

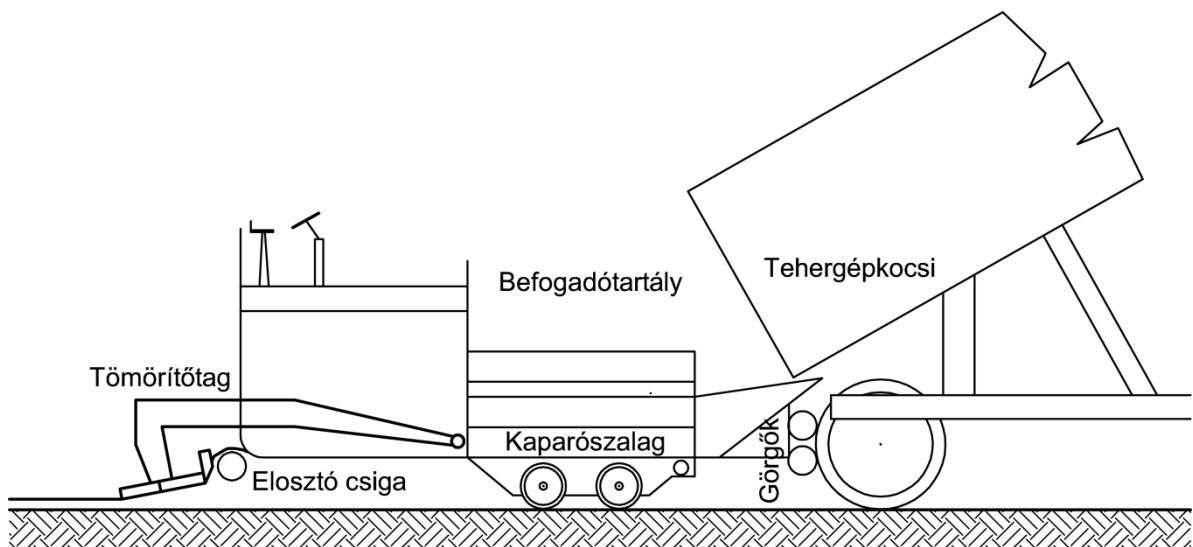
Gréderrel az aszfaltot teríteni nem célszerű még erdészeti utakon sem. Ezzel a módszerrel a keskeny burkolaton az általában előforduló vékony rétegeket nem lehet kellő minőségben megépíteni.

Az aszfaltkeverék elterítését és előtömörítését aszfaltfiniserrel lehet a legtökéletesebben elvégezni. Az aszfaltfiniser részei:

- befogadó tartály a kaparó (szállító) szalaggal,

- elosztócsiga,
- terítőgerenda.

Az aszfaltfiniser gumikeréken vagy lánctalpakon lassan előrehaladó berendezés, amelynek befogadótartályába tehergépkocsi billenti az aszfaltot. A feltöltés közben a finisernek folyamatosan haladni kell, ezért a tehergépkocsit a billentés alatt maga előtt tolja. A tárolótartályból kaparószalag juttatja az aszfaltot a keresztirányú elosztócsigához, amely egyenletes rétegben és laza tömörségben elteríti az anyagot a terítőgerenda előtt.



Aszfaltfiniser jellegrajza

Aszfaltfiniserek típusai

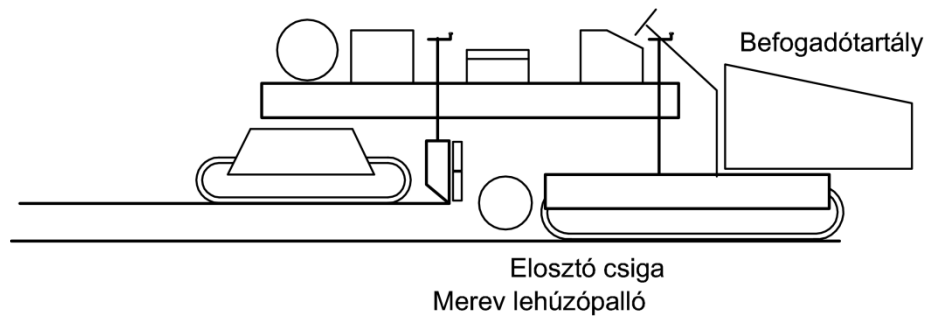
Az aszfaltfiniserek a terítőgerenda rendszere alapján lehetnek:

- merev terítőgerendás finiserek,
- úszó terítőgerendás finiserek.

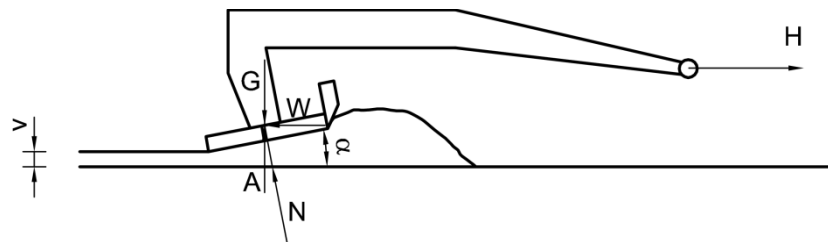
Az erdészeti utak építésénél jól használhatók a tömörítőtag nélküli, merev terítőgerendás aszfaltterítő gépek. Ezek csak egy egyenletesen vastag, laza réteget tudnak kialakítani. Előnyük, hogy a megállásoknál kisebb keresztirányú hullámot képeznek, ezért kevésbé érzékenyek a folyamatos anyagellátásra.

A legkorszerűbb úszó terítőgerendás finisereknél a terítőgerenda fűtött, valamint vibrációs és döngölő taggal egészülnek ki. Az előtömörítés kb. 92% relatív *Marshall-tömörséget* érhet el..

Az úszó terítőgerenda – amely jelentősen lecsökkenti az alap egyenetlenségeit – a következő elven működik. A G súlyú terítőpalló α lapos szögben fekszik fel az aszfaltra. A vízszintes vonóerő (H) és a reakcióerők (A és W), amelynek eredője (N) a lassú menet közben dinamikus egyensúlyban tartják a terítőgerendát. A kívánt rétegvastagságot az α szög változtatásával lehet beállítani. A finiser megállásakor megbomló egyensúlyi helyzet miatt a terítőpalló lesüllyed, aminek következménye a felületen kialakuló hullám lesz. A hullámosság elkerülése miatt a finiser folyamatos haladását jól szervezett anyagellátással kell biztosítani. Az úszógerendás finiserek szintvezérléssel is elláthatók.



Merev terítőgerendás aszfalterítő gép



Úszó terítőgerenda működése

Az aszfalt tömörítése

Az elterítést az aszfalt tömörítése követi, amely 97–98% relatív Marshall-tömöriségre történjen. A tömörítésre annyi idő áll rendelkezésünkre, amíg a 110–150°C terítési hőmérsékletű aszfalt 80–100°C hőmérsékletre hűl le, mert a lehűlt aszfalt eredményesen nem tömöríthető.

A tömörítést különféle hengerek végzik:

- acélköpenyű statikus hengerek: leggyakrabban ezt használják (5-16 tonnás);
- önjáró gumihengerek: 7db szögletes keresztmetszetű gumiabroncsuk van. Vastag réteget is hatékonyan tömörítenek;
- acélköpenyű vibrációs hengerek: ritkán használtak, mert irányváltás előtt a vibrációt ki kell kapcsolni. Tömörítő hatása jelentős.

A gyors és hatékony tömörítés feltétele egy hengerlési séma kidolgozása, amely összhangot teremt az aszfaltfiniser és a különböző hengerek munkája között. Az erdészeti utakon egy menetben általában 3,00–4,00 m széles sávot építünk meg. Ehhez többnyire két hengert (50 t/óra keverőtelep kapacitásnál három) kell a finiser mögött munkába állítani. Egy könnyű, vagy közepes henger előtömörít, erősen megközelítve a finisert. A főtömörítést egy-két közepes vagy nehéz henger végzi.

A hatékony és korszerű „hot and dry” tömörítési módnál már az első hengerlést forró, száraz gumikkal nehéz henger végzi, szorosan a finiser után igen forró anyagot bedolgozva. A második – acélhengerlőjű – henger utóhengerlést és simítást végez.

A hengerlés közben a következő szabályokat kell betartani:

- a henger hajtott kerekével halad a finiser felé, mert a tolt kerék hullámokat okoz;
- a hengerlést oldalt, alulról kell kezdeni és oda-vissza ugyanazon a sávon kell haladni, sávot váltani csak kihűlt aszfalton lehet;
- a sávok között fél-egyharmad átfedést kell biztosítani;

- acélhengerek palástját kevés választóvízzel kell letörölni, hogy az aszfaltot a sok folyadék ne hűtse le, az aszfalt feltapadásának megakadályozására gázolajat használni tilos;
- a henger megállása, lökészerű irányváltása, a vibráció kikapcsolásának elmulasztása irányváltás előtt egyenetlenséget okoz;
- gumihengert főtömörítésre csak forró gumival szabad használni, a felmelegítés betömörített, de még forró szakaszokon történjen;
- sávokban végzett tömörítéskor a széleken még 1–2 hengerjárat áthaladása szükséges;
- a hosszvarratokat gondosan kell kialakítani, az új forró aszfaltot 4–5cm-es átfedéssel kell elteríteni úgy, hogy az a régi aszfalt szélét felmelegítse. Az első nehéz hengernek a hideg sávon haladva az új aszfaltra 10-15cm-es sávban átnyúlva kell tömörítenie.

Tömör aszfaltok választékai

A tömör aszfaltok választékainak jelölése a választék nevének rövidítését (pl.: AC alap) és a legnagyobb szemcseátmérőt jelző számból áll, külön „F” betűvel jelölve a fokozott igénybevételre kialakított anyagokat és „NM” jelöléssel a nagy modulusú aszfaltokat.

A *meleg bitumenes alapréteget* (AC alap) nagy forgalmú utak alsó és felső alaprétegeként, erdészeti utaknál záróréteggel ellátva burkolatként előnyösen használható, mert

- ára kedvező a készítéséhez felhasználhat helyi homokos-kavics miatt,
- teherbírása és stabilitása az erdészeti utak forgalmának megfelel, amennyiben az előírt összetétel és a gondos beépítés biztosított,
- könnyen bedolgozható a sok gömbölyű szemcse miatt.

A meleg bitumenes alapok keveréktípusai: AC 16 alap, AC 22 alap, AC 32 alap, AC 32 alap (F). A Marshall-próbatest szabad hézagtartalma 4,0–8,0 térfogat %, stabilitása 3,5–4,0 kN.

A *kötőréteg* (AC kötő) feladata, hogy a kopórétegben fellépő vízszintes irányú feszültséget lecsökkentve az alaprétegre juttassa, valamint a kopóréteg és a felső alapréteg együttdolgozását, összekötését biztosítsa. A kötőréteg keveréktípusai: AC 11 kötő, AC 16 kötő (NM), AC 22 kötő, AC 22 kötő (F), AC 22 kötő (NM). Kötőréteget csak nagy forgalmi terheléseknél kell építeni, kisebb forgalmú utakon és erdészeti utakon építése szükségtelen.

A *kopóréteg* feladata, hogy rajta a forgalom gyorsan, biztonságosan és alacsony költséggel bonyolódjon. Ezért:

- felülete a forgalom biztonságának megfelelően érdes legyen,
- stabilitása olyan legyen, hogy az alakváltozásoknak (nyomvályúképződésnek) ellenálljon,
- teherbírása az élettartam alatti forgalom terhelését elviselje.

Az aszfaltbeton kopóréteg keveréktípusai: AC 4 kopó, AC 8 kopó, AC 11 kopó, AC 11 kopó (F), AC 16 kopó (F). A próbatest szabad hézagtartalma 1,5–2,5 térfogat %, stabilitása 6,0–8,0 kN.

Az egyes aszfaltválasztékok felhasználását a beépítés helye és a forgalmi terhelés határozza meg. Eszerint megkülönböztetünk:

- mérsékelt igénybevételű (M jelű),
- normál igénybevételű (N jelű),
- fokozott igénybevételű (F jelű)

kategóriát.

Az erdészeti utakat ezek szerint M esetleg N kategóriába kell besorolni. Az építhető rétegvastagságot a legnagyobb szemcseátmérő és a betömöríthető vastagság adja.

Hézagszegény hidegaszfaltok

A hézagszegény hidegaszfaltok *kis forgalmú utak burkolata*, útkorszerűsítéseknél és *pályaszerkezet felújításoknál kiegyenlítőréteg* lehet. A hígított bitumen vagy bitumenemulzió kötőanyag és folytonos, illetve szakaszos szemeloszlású ásványi anyag felhasználásával, félmeleg vagy hideg keveréssel előállított hézagszegény keverékek beépítése hidegen, esetleg hosszabb tárolás után is elvégezhető.

Hidegen bedolgozható aszfaltbeton

A hidegen bedolgozható aszfaltbeton (HAB) *hígított bitumen kötőanyag, valamint töltőanyagból, zúzott homokból és zúzalékból összeállított folytonos szemeloszlású kőváz keveréke*. A hígított bitumen kötőanyag miatt ezek utántömörödő szerkezetek. Ez a tulajdonsága a hígítóanyag elpárolgásáig marad meg. Előnye, hogy a keveréket egyszerű gépekkel, egyszerű eljárással lehet elkészíteni. A kötőanyagot 70–100°C-ra kell felmelegíteni és a kővázhoz keverni. A félmeleg eljárással előállított keveréket célszerű azonnal beépíteni, de hidegen is beépíthető. Nagyobb tömegben deponálható, mert a hígítóanyag csak a depónia külső kérgéből távozik el. Deponáláskor a hígított bitumenhez nagyobb mennyiségű tapadásjavítót kell adagolni. Ezzel megakadályozható, hogy tárolás közben az aszfaltra jutó víz a kötőanyagot lemossa. A réteg beépítése hidegen 10–20°C hőmérsékleten történik, ezért vékony, 1–2 cm vastag rétegben záróréteggént is alkalmazható.

A hazai előírások szerint háromféle változatban állítható elő:

- HAB-5 jelű záróréteg 0/5, ill. 0/8 mm közötti szemeloszlással,
- HAB-8 jelű záróréteg 0/8, ill. 9/12,5 mm közötti szemeloszlással,
- HAB-20 jelű záróréteg 0/20 illetve 0/25 mm közötti szemeloszlással.

A szükséges bitumenmennyiséget 4,5–6,0% között kell tervezni.

Kationaktív bitumenemulzió kötőanyagú alapok és burkolatok

Az emulziós aszfaltkeverék (EA) *L-EA60 jelű kationaktív bitumenemulzióból, ásványi anyagból vagy ásványi anyagok keverékéből* (zúzott kavics, homokos kavics, osztályozott és zúzott salakkő, esetleg töltőanyag) áll. Típusai:

- alaprétegbe építve A-EA0/20, A-EA0/35,
- kopóréteggént beépítve Ko-EA0/20,
- kötőréteggént használható a K-EA0/20 jelű választék, amit az erdészeti útépitésben nem használunk.

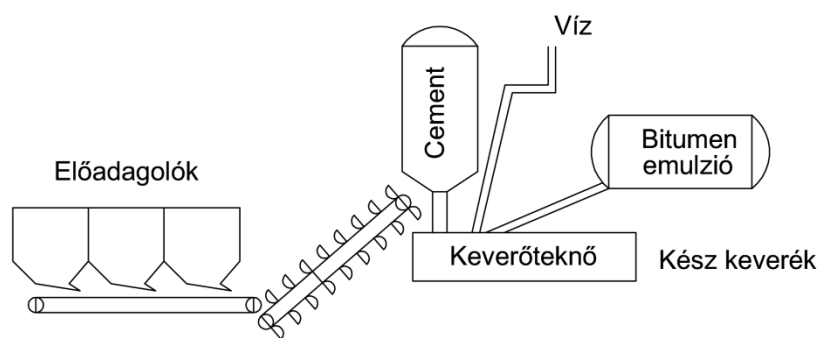
A kőváz tervezett szemeloszlását a Rotfuchs-féle szerkesztés elve alapján kell összeállítani. A kationaktív bitumenemulzió mennyiségét a tömör aszfaltoknál megismert alkalmassági vizsgálathoz

hasonlóan kell meghatározni. Optimálisnak azt a keveréket kell elfogadni, amelynek Marshall-stabilitása a legnagyobb, folyási értéke a legkisebb.

Az emulziós aszfaltok gyártására megfelel minden olyan hagyományos beton vagy aszfaltkeverő berendezés, amelybe az adalékanyagok, a bitumenemulzió és a víz adagolása megoldható. Keveréskor az emulzió részben megtörik, de a végleges törés csak tömörítéskor következik be.

A keveréket a beépítés helyére billenőplatós tehergépkocsival célszerű szállítani, ahol az elterítést 5–15 cm vastagságban gréder vagy finiser végzi. A tömörítéshez gumi- és vibrációs henger használható. Mivel a tömörítés hatására következik be az emulzió végleges megtörése, ezért ezt a műveletet gondosan kell elvégezni. A kész felületet felületi zárással kell ellátni.

A hideg kavicsaszfalt tárolható, eközben a keveréket időnként meg kell locsolni, hogy ki ne száradjon. Beépítés előtt az optimális tömörítési víztartalmat be kell állítani.



Keverőtelep folyamatos üzemű keverőteknővel

A FELÜLETI ZÁRÁS ÉS AZ ÚTFENNTARTÁS ANYAGAI

Felületek lezárására és az útfenntartás céljaira elsősorban azok az anyagok felelnek meg, amelyek vékony rétegben (2-3 cm) beépíthetők, kész keverék formájában tárolhatók és a forgalomnak beépítés után azonnal átadhatók. Ilyen a KM-60 kevert aszfaltmakadám, vagy a HAB-5, HAB-8 hígított bitumennel készülő aszfaltbeton záróréteg. A burkolatok vízzárását, az érdesség helyreállítását vékonyabb rétegek készítésével végezzük el, mint amilyen a póruszárás és a felületi bevonás. Az útfenntartás fontos anyaga a tárolható hideg keverék, amely a tömegesen fellépő burkolatkárok gyors helyreállítását teszi lehetővé.

Felületi (pórus) zárás

Repedezett felületű, elöregedett aszfaltok állagmegóvására használható réteg, amely egy kipermetezett bitumenemulzió rétegre hengerelt homokterítésből áll.

A felhasznált kötőanyag az időjárástól függően gyorsan törő (RG) vagy közepesen törő (EK) kationaktív bitumenemulzió. A kipermetezendő emulzió mennyisége visszamaradó bitumenre számítva 0,3–0,5 kg/m², mely 60%-os bitumenemulziót használva 0,5–0,9 kg/m² emulziót jelent. A bevonandó felület legyen pormentes. A kissé nedves, nyirkos felület az emulzió jobb terülését elősegíti.

A kötőanyag kipermetezésénél a következő szempontokat kell figyelembe venni:

- ha fajlagosan kis mennyiségű bitumenemulziót kell kipermetezni, akkor célszerű azt vízzel hígítani úgy, hogy pH-ja 4–5 fölé ne emelkedjen, mert akkor megtörik,
- fagypont körül a bitumenemulziót a benne levő víz fagyveszélyessége miatt 20–25°C-ra melegítve szabad permetezni,
- a kipermetezést követő 15–20 percen belül bekövetkező eső – intenzitásától függően – az emulziót lemoshatja a pályáról.

A homok egyenletes szemeloszlású iszap- és agyagmentes legyen, legnagyobb szemnagysága a 2 mm-t ne haladja meg. A homokot kézzel vagy géppel kell elteríteni. Célszerű, ha ilyenkor a homok enyhén nedves. Terítés után a homokot gumihenger 1–2 járatával a kötőanyagba be kell nyomni. A bitumenemulzió megtörése után a felület a forgalomnak átadható.

Felületi bevonás

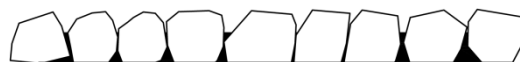
A felületi bevonásnak az a szerepe, hogy:

- a burkolatot vízzáróvá tegye,
- állapotát megóvja,
- kisimult felületeket érdesítse.

A felületi bevonatok négyféle változatban készülhetnek:

- egyrétegű bevonatok egyszeri kötőanyag permetezéssel, egyszeri zúzalékolással, (BZ jelű),
- kétrétegű bevonatok kétszeri kötőanyag permetezéssel és kétszeri zúzalékolással (BZBz jelű),
- egyrétegű bevonatok kettős zúzalékolással (BZz jelű),
- kétrétegű inverz felületi bevonatok kétszeri kötőanyag permetezéssel és kétszeri zúzalékolással, az alsó rétegben a kisebb zúzalékkal (BzBZ jelű).

Az erdészeti útépítésnél a BZ és BZBz jelű bevonatok használata terjedt el és annak használata javasolt a továbbiakban is.



Egyrétegű bevonat



Kétrétegű bevonat



Egyrétegű bevonat kettős zúzalékolással



Kétrétegű inverz bevonat

Felületi bevonatok

Felületi bevonatok alapanyagai

A hígított bitumen kötőanyaggal készülő felületi bevonás (FB/HB) a hígítóanyag elpárolgásáig kézimunka igényes, utókezelésre szorul. Az így kialakított réteg élettartama a hígított bitumen készítéséhez felhasznált puhább bitumen miatt rövidebb.

Felületi bevonatok készítésére legelőnyösebben használható kötőanyag a kationaktív bitumen-emulzió (FB/E). A felületet a forgalomnak az emulzió megtörése után rövid időn belül át lehet adni, utókezelést nem igényel. Erdészeti utak építésénél tehát alkalmazása ajánlható.

A felületi bevonatokhoz felhasználható szemcsés anyagok a forgalom nagyságától és a kötőanyag fajtájától függően:

- hígított bitumenes felületi bevonatoknál CC UNZ kőzetfizikai csoportú és termékostályú zúzott szemcsés anyagok,
- kationaktív bitumenemulziós felületi bevonatoknál BB UNZ, illetve BB UKZ kőzetfizikai csoportú és termékostályú zúzott szemcsés anyagok lehetnek.

A felületi bevonás készítésére csak tiszta, szennyeződés és pormentes zúzalék használható, mert a szennyezettség nehezíti a kőzet felületének benedvesítését. Fontos, hogy a szemcsék kubikus alakúak legyenek.

A felhasználható zúzalékok:

- egyrétegű felületi bevonáshoz:

BE kötőanyaghoz	2/5	5/8	8/12	12/16	16/20
HB kötőanyaghoz	5/12	8/12	12/16	16/20	20/25
- kétrétegű felületi bevonathoz:

bitumenemulzió kötőanyagánál:					
alsó rétegben	5/8	8/12	12/16	16/20	20/25
felső rétegben	2/5	2/5	5/8	8/12	12/16
hígított bitumen kötőanyagánál:					
alsó rétegben	12/16	16/20	20/25	25/30	30/37
felső rétegben	8/12	5/8	5/8	8/12	12/16

A kötőanyag HB-R 150/300 és HB-A 150/300 hígított bitumen, vagy gyorsan törő (Gy-R60, GY-FB60 típusú) kationaktív bitumenemulzió lehet. Porózus felületnél több, zárt felületnél kevesebb kötőanyagot kell felhasználni.

Felületi bevonatok készítése

A felületi bevonás készítése előtt a bevonandó felületet le kell tisztítani. Hígított bitumennel használva a tisztítás csak söpréssel történhet, mert a felületnek száraznak kell maradni. Kationaktív bitumenemulzió használatakor a felület mosható, mert a nedves útfelület nem akadályozza az építést. A permetezést a felületi zárásnál alkalmazotthoz hasonlóan kell elvégezni úgy, hogy az egymás mellé kerülő sávok között 10–20 cm átfedés legyen. A zúzalék elterítése az emulzió szórását 5–10 percen belül kövesse azért, hogy zúzalékszemek bevonódása még az emulzió megtörése előtt megtörténjen. Erre a célra a zúzalékterítő adapterrel ellátott gépkocsik a legalkalmasabbak, amelyek

az egyenletes elterítést biztosítják. Az elterített zúzalékot gumi vagy simahenger járatásával kell a kötőanyagba beágyazni.

A többrétegű felületi bevonat készítése megegyezik az egyrétegű készítésével. A második réteg építése akkor kezdődhet meg, amikor az alsó rétegben az emulzió törése befejeződött. A hosszabb várakozás a felület elszennyeződése miatt kerülendő.

A hígított bitumenes felületi bevonat az építés után azonnal átadható egy terelt, lassú forgalomnak. A kationaktív bitumenemulziós felületi bevonatot a bitumenemulzió teljes megtörése és a víz elpárolgása után (2–4 óra) lehet a forgalomnak átadni.

A kationaktív bitumenemulziós felületi bevonat készítése után 24 órán belül a kipergett szemek eltávolításáról gondoskodni kell. A kőfelverődést 1–2 napig sebességkorlátozással (40 km/h) kell csökkenteni.

Hígított bitumenes felületi bevonatoknál a forgalom által lesodort zúzottkőszemeket a burkolat felületére egyenletesen vissza kell seperni és a hiányzó zúzottkővet pótolni kell. A felületen megjelenő bitumendús „izzadáson” foltokra a lepergett vagy új zúzottkő elterítésével le kell fedni. Az utókezelés időszakára sebesség-korlátozást kell elrendelni.

Finn Aszfalt

Egy védett technológiával készülő eruptív kőanyagból és a speciálisan erre a célra kifejlesztett úgynevezett finn bitumenből áll.

A száraz kőanyagot hidegen keveri össze az MX-30 jelű finn mobil aszfaltkeverő. A beépítés szintvezérlésű aszfaltfiniserrel történik.

A teljes technológia szabadalmaztatott és az engedélyes cég a szaktanácsadástól a beépítésig teljes szolgáltatást nyújt.

Jelenleg háromféle Finn Aszfalt készül:

- FA-8
- FA-12
- FA-20

Az építhető rétegvastagság: $v = 2 \sim 2,5 D_{max}$

Tárolható hideg fenntartási keverék

Útfenntartás körébe sorolt állapotfenntartáshoz célszerűen felhasználhatók a bitumenemulzióval készített tárolható, hideg fenntartási keverék. Ez közepes törési idejű bitumenemulzió, 5/8, 5/12 vagy 5/20 jelű zúzalék keverékéből állítható elő a hideg kavicsaszfalt keverékhez hasonlóan, többlet vízadagolás nélkül. A felhasznált zúzalék víztartalma se legyen 1,0–1,5%-nál több. Az emulzió mennyisége visszamaradó bitumenre számítva:

- | | |
|----------------------------|-----------------|
| • 5/12 zúzalékot használva | 4,8–5,2 tömeg % |
| • 5/10 zúzalékot használva | 3,7–4,2 tömeg % |
| • 5/8 zúzalékot használva | 5,0–5,4 tömeg % |

A kész keveréket több héten keresztül tárolni lehet anélkül, hogy összetapadna, legfeljebb néhány cm vastag kéreg alakul ki a depónia felületén.

Pályaszerkezet anyagának újrahasznosítása helyszíni hideg keveréssel

A helyszíni hideg újrahasznosítást (helyszíni *hideg REMIX*) a nagyon tönkrement, deformálódott, nem vízzáró, megerősítésre szoruló pályaszerkezetek felújításakor használhatjuk a meglévő pályaszerkezet anyagának felhasználásával. Készítéskor egy speciális célgéppel a pályaszerkezetet adott mélységig felmarják, homogenizálják, a szemeloszlást kiegészítő kőanyag hozzáadásával javítják, egyben a vastagságot megnövelik, majd kötőanyag hozzákeverésével és tömörítéssel elkészítik az új, alapnak használható réteget. Erre az alaprétegre a forgalom igényeit kielégítő burkolatot kell építeni.

A helyszíni hideg újrahasznosítás három változatban valósítható meg:

- hidraulikus kötőanyaggal, célszerűen cementtel,
- bitumen kötőanyaggal, célszerűen kationaktív bitumenemulzióval, vagy habosított bitumennel,
- hidraulikus és bitumen alapú kötőanyagok együttes alkalmazásával.

Hidraulikus kötőanyaggal akkor célszerű készíteni, ha a teherbírás alacsony, a bontásra szánt anyagkeverék kedvezőtlen szemeloszlású, a megmunkálandó anyag kereszt- és hosszirányban egyenlőtlen.

Bitumen alapú kötőanyag használata javasolt, ha

- a teherbírás megfelelő,
- a megmunkálandó anyagban az aszfalt aránya magas (50%-nál több),
- a bontásra szánt anyag szemeloszlása egyenletes,
- a hajlékony pályaszerkezet megtartása a cél.

Vegyes kötésű keverék egyesíti a hidraulikus és bitumen kötésű alapréteg előnyeit. A teherbírást növeli, a hidraulikus kötéskor keletkező repedéseket számát csökkenti.

A megfelelő eljárást és a kötőanyag adagolást a próbamarás anyagának laboratóriumi vizsgálatával lehet megállapítani.

Hidraulikus kötőanyag felhasználásával készülő újrahasznosítás kötőanyaga a cement, amelyből erdészeti utakon a helyszíni cementes talajstabilizáció szilárdságát biztosító adagolást kell alkalmazni.

Az újrahasznosítás bitumenes kötőanyaga a bitumen emulzió. Az emulzió bitumentartalma 60-65% között legyen, törése 1 óra elteltével fejeződjön be. A bitumenadagolást laboratóriumban kell meghatározni.

A kötőanyag szükséglet tájékoztató mennyisége:

- cement 3-6%,
- bitumenemulzió 2-6%.

Az építés munkafázisai:

- Padkanyesés, ároktisztítás;
- Az egyenetlen, vegyes anyagból álló felső réteg átdarálása 15-20 cm vastagságban;
- Profil kiegyenlítése, keresztdőlés kialakítása;
- A anyag pótlására vagy vastagításra szánt kőanyag elterítése;
- Együttes marás, keverés;
- Kötőanyag adagolás, ami történhet egyszerűen a felületre szórással, vagy célgéppel a maróba juttatva;
- Nedvesítés, nedves keverés;
- Tömörítés, profil kialakítása;
- Utókezelés hidraulikus kötőanyag használatakor.

A hideg remix eljárásnál célszerű speciális célgépet használni, de erdészeti utakon, megfelelő munkaszervezéssel a helyszíni keveréssel készülő cementes talajstabilizációnál ismertetett eljárás is alkalmazható.

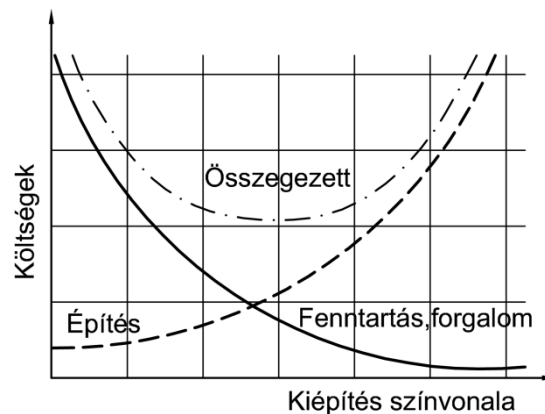
ERDÉSZETI UTAK PÁLYASZERKEZETÉNEK TERVEZÉSE

ERDÉSZETI UTAK PÁLYASZERKEZETÉNEK TERVEZÉSE

Erdészeti utak pályaszerkezet-tervezésének általános szempontjai

A pályaszerkezet tervezésekor az a feladatunk, hogy olyan teherbírású és felépítésű pályaszerkezetet hozzunk létre, amely az út élettartama alatt áthaladó forgalom elviselésére alkalmas, normális nagyságú útfenntartás mellett. Az út használata folyamán leromló pályaszerkezet teherbírása fokozatosan csökken, majd elér egy olyan állapotot, amikor biztonságosan a további forgalom elviselésére alkalmatlanná válik. Ilyenkor a pályaszerkezetet meg kell erősíteni úgy, hogy a lecsökkent teherbírású régi pályaszerkezet megmaradt teherbírását még figyelembe vesszük. A pályaszerkezetek megerősítésének tervezett időpontját már a tervezés időpontjában fel kell mérni.

Az utak pályaszerkezetének ellen kell állni a forgalom és az időjárás rongáló hatásának, egyben ki kell elégíteni a forgalom által keltett igényeket is. Az erdészeti utak pályaszerkezetének tervezésekor közgazdasági szempontokat is figyelembe kell venni. A pályaszerkezeteket ebből a szempontból úgy kell megtervezni, hogy azokra az út élettartama alatt – ami nem azonos a pályaszerkezet élettartamával – a legkisebb költségeket kelljen fordítani. Adott szállítási és forgalmi igénybevétel mellett meg kell keresni azt a megoldást, amelynél az építési, útfenntartási és forgalmi költségek összege a minimumot adja. Helytelen a gazdaságosság érve mögé bújva csupán az építési költségek minimumára törekedni, figyelmen kívül hagyva a később szükségessé váló útfenntartási költségeket. A pályaszerkezet tervezése tehát egy összetett műszaki, közgazdasági probléma, amelyet hosszú távú szemlélettel kell végezni.



Forgalom, építés, fenntartás költségei, és a kiepipítés színvonala

Erdészeti utak pályaszerkezet-tervezésének lépései

Az erdészeti utak pályaszerkezetének tervezése nem tekinthető egyszerűen méretezésnek, hanem az egy átfogó műszaki- közgazdasági vizsgálatot igénylő rendszer, amely a következő lépésekből áll:

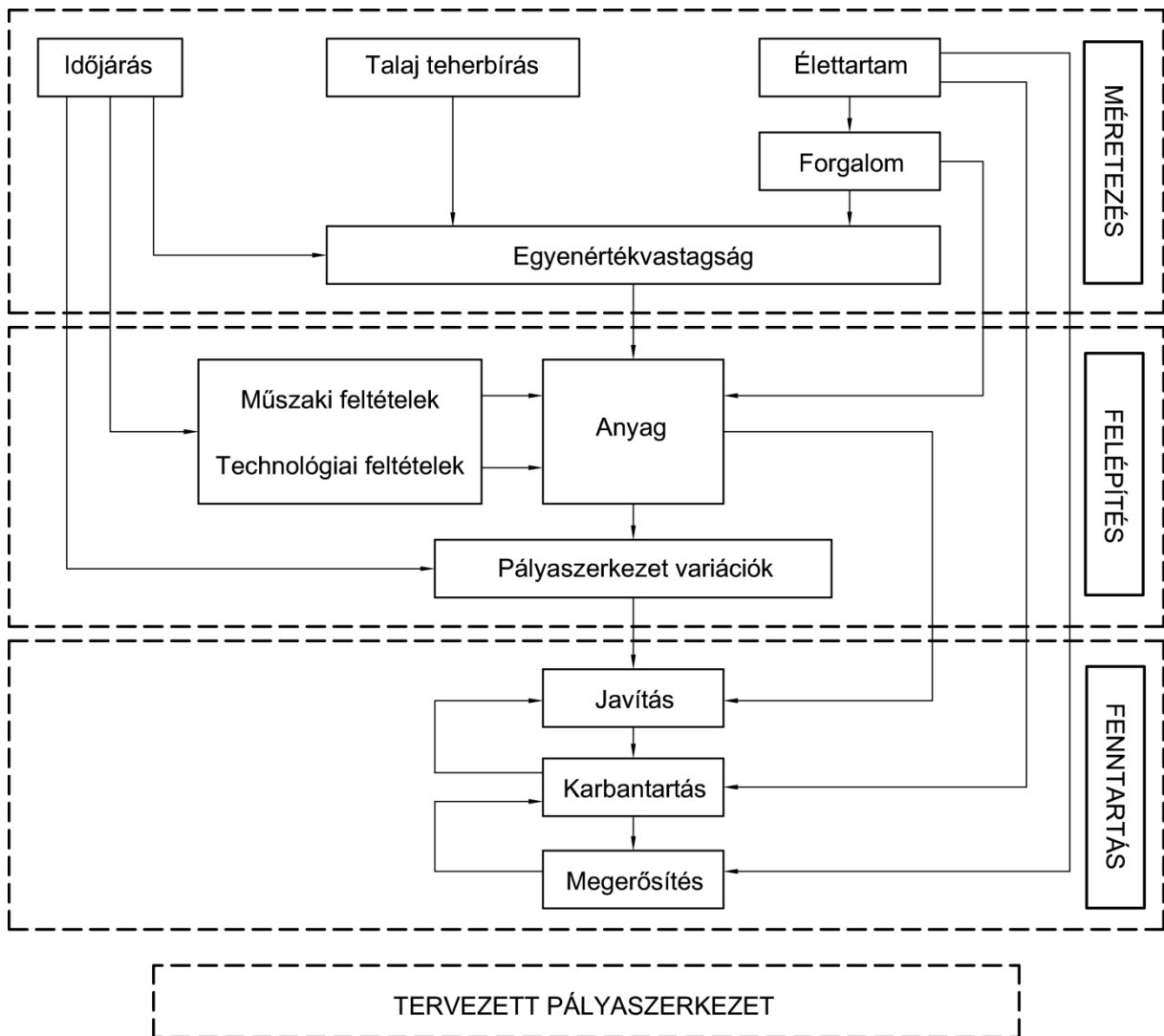
- méretezés,
- felépítés megtervezése,
- útfenntartási igények számbavétele, pályaszerkezet gazdálkodás.

Méretezéskor a pályaszerkezet teherbírását határozzuk meg úgy, hogy az a forgalom terhelését az élettartam alatt elviselje.

A felépítés tervezésekor a rendelkezésre álló eszközállomány, technológia és különböző anyagok alapján műszakilag azonos értékű pályaszerkezet variációkat dolgozunk ki.

Az útfenntartási igények számbavételekor felmérjük a javítási igényeket, kijelöljük a karbantartási ciklusokat és meghatározzuk a felújítás, megerősítés, várható időpontját.

A különböző változatok közül azt kell kiválasztani, amelynél az építési, forgalmi és fenntartási költségek összege az élettartam alatt a minimumot adja. A pályaszerkezetek ilyen szemléletű tervezése már nem egyszerű méretezés, hanem azt pályaszerkezet gazdálkodásnak tekinthetjük.



Erdészeti utak pályaszerkezet-tervezésének lépései

HAJLÉKONY PÁLYASZERKEZETEK MÉRETEZÉSE TEHERBÍRÁSRA

Méretezési módszerek

A hajlékony útpályaszerkezetek méretezésére alapvetően kétféle módszer alakult ki:

- a szemi empirikus módszerek,
- a mechanikai alapokon álló módszerek.

A szemi empirikus módszerek gyakorlati megfigyeléseken, nagyminta kísérleteken és elméleti alapokon nyugvó méretezési módszerek.

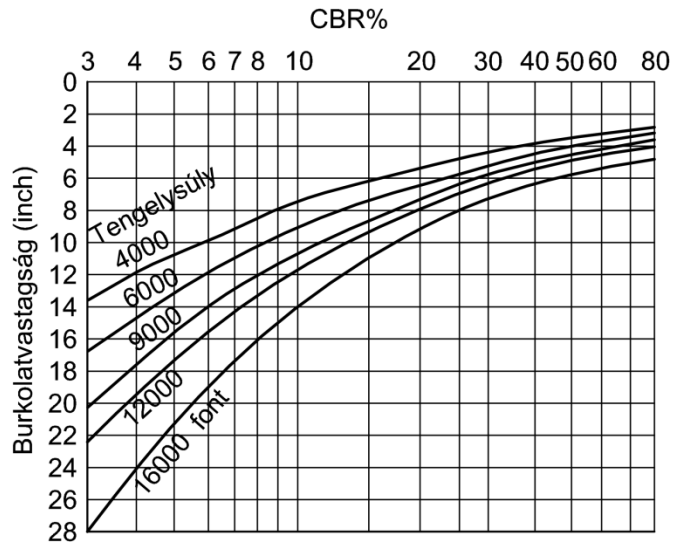
A mechanikai alapú méretezési módszerek a pályaszerkezetet rugalmasságtani alapon számítható többrétegű szerkezetnek fogják fel. Egy sor közelítéssel és egyszerűsítéssel a terhelés hatására az egyes rétegekben ébredő feszültségeket és alakváltozásokat a rétegekre jellemző anyagállandókkal számítják, majd méretezési kritériumok alapján méretezik, vagy ellenőrzik a pályaszerkezetet.

Az erdészeti utak pályaszerkezetének méretezésénél a mechanikai alapú módszer bevezetésével meg kell várni azt az időt, amikor ez a méretezési módszer a közúti gyakorlatban elterjedt és ott kellő tapasztalat gyűlik össze. Ezeket saját tapasztalatainkkal összevetve kell kidolgozni az erdészeti utak sajátos viszonyainak megfelelő mechanikai alapú méretezési eljárást.

A szemi empirikus alapon álló módszer kiforrott, áttekinthető, könnyen kezelhető, ezért széles körben elterjedt, de tovább ma már jelentősen nem fejleszthető eljárás. Ez az alapja a korábban alkalmazott és általánosan elterjedt Hajlékony Útpályaszerkezetek Méretezési Utasításának (HUMU) is, amelynek elveit az Erdészeti Utak Tervezési Irányelvei (EUTI) is átvett és ma is alkalmaz.

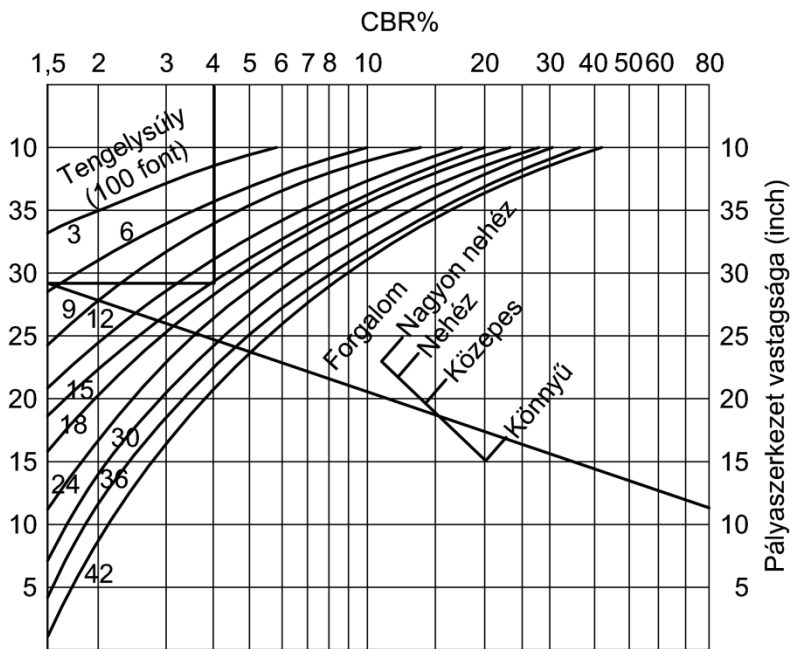
CBR alapú méretezési módszer

A zúzottkő pályaszerkezetek méretezésére az 1940-es években dolgoztak ki szemi empirikus módszereket, amelyek közül leginkább a Porter által bevezetett *CBR módszer* terjedt el, ami sok tönkrement és bevált vastagságú burkolat adatának az elemzésén alapul. A módszer elve, hogy minél alacsonyabb a talaj teherbírása, annál vastagabb pályaszerkezet szükséges. A vastagság és a talajteherbírás közötti összefüggés egy parabolával közelíthető. Az egyetlen parabolával leírt összefüggést később kiegészítették úgy, hogy egy görbesereget adtak meg, ahol a paraméterként a mértékadó legnagyobb keréksúly szerepel. Ezzel egyszersmind érzékeltetni lehetett a forgalomnak, mint paraméternek a fontosságát, és hatását is.



CBR alapú méretezési görbék

A fejlesztés további útját jelentette az, amikor a mértékadó keréksúllyal jellemzett görbesereget egy *nomogramos korrekcióval* egészítették ki úgy, hogy a könnyű, közepes és nehéz forgalom nagyságára is tekintettel lehetett lenni.



CBR alapú méretezési nomogram

Ebből az időből származik Fergus tapasztalati képlete is, amely szerint a szükséges zúzottkőréteg vastagsága fordítottan arányos a földmű CBR-ben kifejezett teherbírásával:

$$H = k \cdot CBR^{-0,6}$$

ahol:

- H = zúzottkő réteg szükséges vastagsága,
- k = állandó,

- $CBR \%$ = talajteherbírás.

Különböző teherbírású altalajon a pályaszerkezet szükséges vastagsága számítható, ha ismert H_1 rétegvastagság, amely kielégítően viselkedik a CBR_1 teherbírású földművön.

Ekkor a CBR_2 teherbírású földművön a pályaszerkezet szükséges vastagsága:

$$H_2 = H_1 \cdot \left[\frac{CBR_1}{CBR_2} \right]^{0,6}$$

Ezek a pályaszerkezet méretezési módszerek kimondottan zúzottkő pályaszerkezetek méretezésére alkalmasak. A zúzottkő rétegre helyezett vékony aszfaltburkolatokat teherbírás szempontjából alig vették figyelembe, azok szerepét a portalanításban és az útfenntartási munkák hatékony csökkentésében látták.

AASHO nagyminta kísérlet

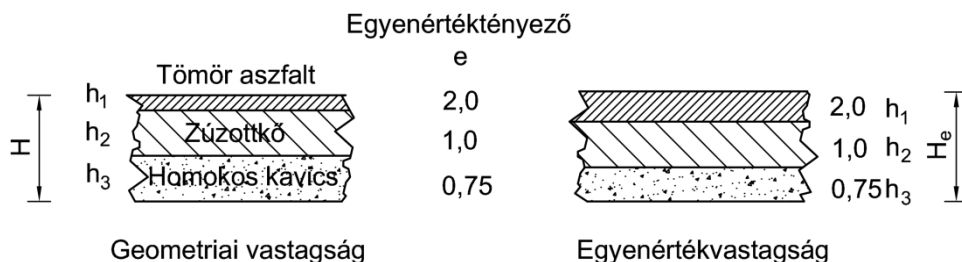
Az empirikus pályaszerkezet-méretezési eljárások fejlődésére jelentős hatást gyakorolt az 1958–59 években végzett nagyszabású kísérlet, amelyet az USA-ban 800 millió dollár költséggel folytattak. Az „AASHO útkísérlet” néven ismert, sok tanulságot adó kísérletsorozat Illinois államban, Ottawa közelében, hazánkkal közel azonos klímájú területen, egyenletesen kis teherbírású földműre ($CBR = 2,5\%$) épített pályaszerkezeteken valósult meg.

A 6 db, összesen mintegy 20 km hosszú, zárt hurokalakú, több sáv széles pálya 470-féle pályaszerkezetből épült meg. Ezek egységesen a földműre helyezett homokos kavics – zúzottkő – aszfalt rétegekből álltak. Azért, hogy variációkat teherbírás szempontjából egymással össze lehessen hasonlítani, a pályaszerkezetet egy olyan egyrétegű elméleti pályaszerkezetté alakították át, amely teherbírás szempontjából egyenértékű a vizsgált pályaszerkezettel és anyaga a középső réteget képező zúzottkő anyagával egyezik meg. A helyettesítő réteg vastagsága, amelyet egyenérték-vastagságnak nevezünk, a

$$H_e = 2,0 h_1 + 1,0 h_2 + 0,75 h_3$$

összefüggéssel számítható. Dimenziója: ecm.

Az együtthatók – az egyenérték-tényezők – azt fejezik ki, hogy valamely réteg teherbírása hogyan viszonyul egy szabványos zúzottkőpálya teherbírásához. Az AASHO kísérletben ez azt jelenti, hogy 1 cm geometriai vastagságú tömör aszfalt réteg teherbírása (egyenérték-tényezője $e_1 = 2,0$) megfelel 2 cm geometriai vastagságú zúzottkőrétegnek, ugyanígy az $e_3 = 0,75$ egyenérték-tényező a homokos kavicsréteg esetében azt jelenti, hogy 10 cm vastag homokos kavicsréteg teherbírása 7,5 cm vastagságú zúzottkőréteg teherbírásával egyezik meg.



Egyenértékvastagság értelmezése az AASHO nagyminta kísérletben

Műforgalom és a pályaszerkezet elhasználódásának folyamata

A forgalmat műforgalommal biztosították, amelyben:

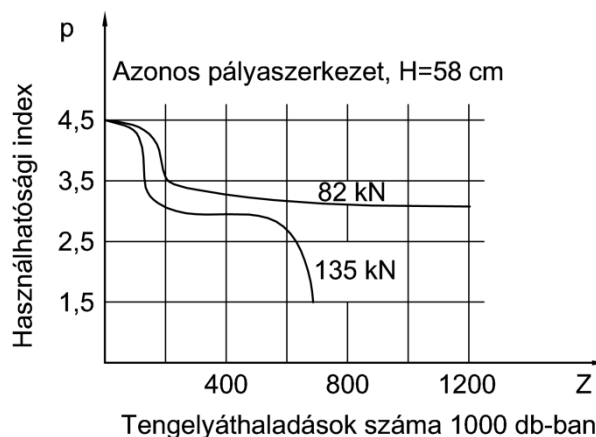
- az egyes (solo) tengelyek 6 változatban (9 kN és 136 kN tengelyterhelés között),
- a kettős (tandem) tengelyek (tengelytáv kisebb 2,00 m) 4 változatban (109 kN és 218 kN tengelyterhelés között) szerepeltek.

Az egyes járművek csak a számukra kijelölt nyomon közlekedhettek, ezzel jól megfigyelhetővé vált a különböző tengelysúlyok hatása az azonos pályaszerkezeteken.

A pályaszerkezetek állapotát minden második héten értékelték, amelynek eredményeiből egy használhatósági indexet képeztek. A használhatósági index ($PSI = p$) 4–5 közötti értéke kiváló állapotú, 1–2 közötti értéke tönkrement, igen rossz állapotú pályaszerkezetet jellemzett.

A kísérlet alapján jól meg lehetett ismerni a pályaszerkezetek elhasználódásának folyamatát. Példaként egy $H_e = 58$ ecm egyenérték-vastagságú pályaszerkezetten a 135 kN tengelysúly hatása a következő: 150–200 ezer áthaladás után a $p = 3$ értékre csökkent, mintegy 600 ezer áthaladáskor elérte a $p = 2,5$ -öt, ami után rohamos romlás következett be és mintegy 640 ezer áthaladás után a $p = 1,5$ tönkrement állapotot jelző értéket mutatott. Ugyanezen a pályaszerkezet-variáción a 82 kN súlyú tengely 200–300 ezer áthaladásának hatására a $p = 3$ értékre változott, majd utána nem, vagy csak lassan csökkent.

A pályaszerkezet tönkremenetele számos esetben úgy következett be, hogy a $p = 2,5$ index elérése után a romlás rohamossá vált és hamar elérte a $p = 1,5$ értéket, ezért a pályaszerkezet élettartamát azzal a tengelyáthaladási számmal jelzik, amely mellett a használhatósági index a még éppen elfogadható minőséget jelző $p = 2,5$ értékig csökken.



Pályaszerkezet elhasználódásának folyamata

Pályaszerkezet elhasználódása és a forgalom

Az AASHO útkísérlet során a kísérleti eredményeket regressziós analízissel értékelték ki. Keresték azt az összefüggést, amely megadja annak a pályaszerkezetnek a vastagságát, amely az adott talajviszonyok között ($CBR = 2,5\%$) a T tengelysúlyú járművek Z áthaladási számát elviseli úgy, hogy közben a pályaszerkezet élettartama kimerül, amelyhez tartozó használhatósági index: $p=2,5$. A kapott regressziós vonal az esetek 50%-ában alulméretezéshez vezetett volna, ezért azt a szórásmező

felső része felé tolták el úgy, hogy az esetek 97%-ában azt felülről burkolja. Így a forgalom és teherbírás viszonya:

$$H_{ez} = -52,00 + 14,00 \cdot \lg Z + 0,375 T$$

ahol:

- H_{ez} = pályaszerkezet szükséges egyenérték-vastagsága (ecm),
- T = tengelysúly (kN),
- Z = T súlyú tengelyek áthaladási száma (db).

A valóságban különböző súlyú tengelyeken gördülő járművek vesznek részt a forgalomban, ezért bevezették a 100 kN egységtengely áthaladás (100 kN e.t.á.) fogalmát, amely db számban azt fejezi ki, hogy a forgalomban résztvevő járművek összes tengely-áthaladási száma hány darab 100 kN egységtengely áthaladásnak felel meg. A különböző súlyú tengelyeket tengelysúly átszámítási értékkel (b) lehet 100 kN súlyú tengelyre átszámítani. A tengelysúly átszámítási érték megadja, hogy egy db T súlyú tengely áthaladása hány db 100 kN súlyú tengely áthaladásának felel meg. A tengelyátszámítás értéket ki lehet számítani, ha a H_e egyenérték-vastagságot a 100 kN súlyú és a T súlyú tengelyek áthaladási számaival is kifejezzük. A tengelyátszámítási érték egyes tengelyek esetén:

$$H_e = -52,00 + 14,00 \cdot \lg Z_{100} + 0,375 \cdot 100 = -52,00 + 14,00 \cdot \lg Z_T + 0,375 T$$

Innen:

$$14,00 \cdot (\lg Z_{100} - \lg Z_T) = 0,375 \cdot (T - 100)$$

$$14,00 \cdot \lg \frac{Z_{100}}{Z_T} = 0,375 \cdot (T - 100)$$

Elvégezve a

$$\frac{Z_{100}}{Z_T} = b$$

helyettesítést:

$$\lg b = 0,0268 \cdot (T - 100)$$

vagy más alakban:

$$b = 10^{0,0268 \cdot (T - 100)}$$

Ez az egyenlet egy negyedfokú, de még jobban egy hatodfokú parabolával közelíthető:

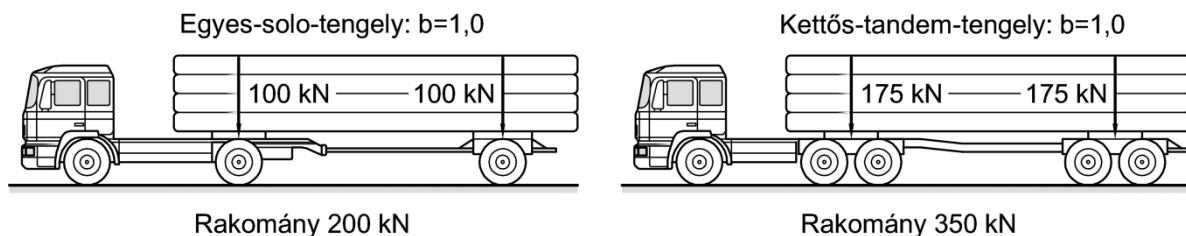
$$b \approx \left(\frac{T}{100} \right)^4 \approx \left(\frac{T}{100} \right)^6$$

A tengelysúly átszámítási érték tehát közelítően a tengelysúly negyedik-hatodik hatványa szerint változik, ami azt jelenti, hogyha két tengely súlya közül az egyik kétszerese a másiknak, akkor az azonos fáradást okozó tengely-áthaladási számok között legalább $24 = 16$ -szoros különbség van.

A tengelyátszámítási érték kettős tengelyek esetén:

$$b = 10^{0,01493 \cdot (T-175)}$$

A pályaszerkezet elhasználódása szempontjából a kettős tengely elrendezés lényegesen kedvezőbb, mert $b = 1,0$ tengelysúly átszámítási értéke a 175 kN súlyú kettős tengelynek van. Ennek hatása úgy érzékelhető, hogy azonos elhasználódást okoz egy 200 kN összsúlyú egyes tengelyeken gördülő és egy 350 kN összsúlyú kettős tengelyeken gördülő nyerges-vontatós tehergépkocsi.



Azonos elhasználódást okozó tehergépkocsik

Pályaszerkezet szükséges egyenérték-vastagsága

A pályaszerkezet szükséges egyenérték-vastagsága az AASHO útkísérlet talajviszonyai mellett, 100 kN egységtengety áthaladást figyelembe véve úgy kapjuk, ha az eredeti képletbe a 100 kN-os tengelyekre vonatkozó értékeket helyettesítjük:

$$H_e = -52,00 + 14,00 \cdot \lg Z_{100} + 0,375 \cdot 100$$

az összevonásokat elvégezve és a:

$$Z_{100} = F_{100}$$

helyettesítés után a következő összefüggéshez jutunk:

$$H_e = -14,50 + 14,00 \cdot \lg F_{100},$$

ahol:

- F_{100} = élettartam alatti forgalom nagysága 100 kN e.t.á. (db).

Az AASHO kísérletektől független régebbi – a Fergus-tól származó CBR-módszer *Asphalt Institut* által módosított – tapasztalati összefüggés szerint a különböző teherbírású talajokon szükséges pályaszerkezetek vastagságai fordítva arányosak a talaj teherbírását jellemző CBR%-ok, 0,4-ik hatványával:

$$\frac{H}{H_1} = \frac{CBR_1^{0,4}}{CBR^{0,4}}$$

innen kifejezve:

$$H = H_1 \cdot \left(\frac{CBR_1}{CBR} \right)^{0,4}$$

A képletbe CBR_1 helyébe az AASHO útkísérlet talajának teherbírását jelző $CBR=2,5\%$ -ot, H_1 helyébe az ilyen talajviszonyok mellett szükséges H_e értékét helyettesítve megkapjuk a hajlékony útpályaszerkezetek méretezésére szolgáló teljes összefüggést:

$$H_{esz} = (-14,5 + 14,00 \cdot \lg F_{100}) \cdot \left(\frac{2,5}{CBR\%} \right)^{0,4}$$

Ezzel a képlettel kiszámítható, hogy adott talajteherbírás mellett milyen egyenérték-vastagságú (teherbírású) pályaszerkezetet kell építeni ahhoz, hogy az a választott élettartam alatti forgalmat elviselje. A tervezés következő lépésében a pályaszerkezetet úgy kell felépíteni a különböző teherbírású és vastagságú rétegekből, hogy az a szükséges egyenérték-vastagságot elérje.

Tervezett pályaszerkezet egyenérték-vastagsága

A tervezett pályaszerkezet egyenérték-vastagságát a rétegek geometriai vastagsága és a rétegek teherbírására jellemző egyenérték-tényezők segítségével lehet kiszámítani:

$$H_e = \sum_{i=1}^n h_i \cdot e_i$$

ahol:

- H_e = tervezett pályaszerkezet egyenérték-vastagsága (ecm),
- h_i = i -ik réteg valódi (geometriai) vastagsága (cm),
- e_i = i -ik réteg anyagára jellemző egyenérték-tényező,
- n = pályaszerkezet rétegeinek száma.

A forgalom, a talajteherbírás és az egyenérték-vastagság közötti kapcsolatot leíró összefüggés statisztikai korrelációs alapokon született, amely szorosan csak az AASHO kísérletben vizsgált pályaszerkezet-variációkra érvényes, feltételezve a

$$H_e = 2,0 h_1 + 1,0 h_2 + 0,75 h_3$$

összefüggést. A kísérlet maga csak igen korlátozott felvilágosítást adott arra, hogy a különböző anyagfajtákat milyen egyenérték-tényezővel lehet számításba venni. Nem áll rendelkezésünkre olyan elméleti és kísérleti úton alátámasztott eljárás, amellyel az AASHO kísérletekben nem használt (pl.: cementes talajstabilizáció) vagy az azóta elterjedt új anyagokra (pl: pernye kötőanyagú alapok, drénaszfaltok stb.) az egyenérték-tényezőt meg lehetne határozni.

Az egyenérték-tényezőket a hazai gyakorlat számára egy bizottság alakította ki, amely a behajlás-mérésekben nagy tapasztalatokkal bíró kutatók reális mérlegelésén alapuló véleményének összegzésén alapul. Az egyenérték-tényezők kialakításának alapja az AASHO útkísérletben használt egyenérték-tényezők voltak, amelyekhez viszonyították az egyes pályaszerkezetek teherbírását. A viszonyítás alapja a széleskörű szakmai áttekintésen alapuló reális szakmai becslésen kívül a hazai pályaszerkezetépítési módszerek és tapasztalatok voltak, amelyeket befolyásolt az egyes rétegek

preferálandó vagy kevésbé értékes volta. A pályaszerkezeti rétegek egyenérték-tényezőit táblázat tartalmazza.

AASHO kísérlet eredményei a méretezésre

Az AASHO útkísérletek eredeti célja az volt, hogy az úthasználati díjakat az elhasználódást előidéző rongálásokkal arányosan állapítsák meg. A pályaszerkezet leromlásáról gyűjtött óriási adathalmaz feldolgozása azonban a pályaszerkezet tervezésben hasznosult. A kidolgozott méretezési módszeren kívül még több fontos eredményt hozott:

- jól leírja a pályaszerkezetek állapotváltozásának folyamatát;
- megbízható eredményt ad a nehéz járművek hatásáról a $p = 2,5$ illetve a $p = 1,5$ szintekkel jellemzett élettartamra;
- bizonyította, hogy a leromlást a nehéz tengelyek forgalma okozza hatványozottan;
- felhívta a figyelmet arra, hogy a könnyű tehergépkocsik és a személygépkocsik rongáló hatása teljesen elhanyagolható;
- bizonyította, hogy a forgalom egységtengety áthaladásokra átszámítható;
- kialakított egy olyan méretezési elvet, amely szerint a réteges felépítésű pályaszerkezet az anyagok tulajdonságait figyelembe véve átszámítható egy egyenértékű egyrétegű pályaszerkezetté;
- kezdettől fogva eredményesen használható módszert adott a hajlékony pályaszerkezetek méretezésére, különösen a $CBR = 2-4\%$ körüli talajteherbírásra.

Az AASHO kísérlet tapasztalatait felhasználó méretezési módszer széles körben elterjedt, mert:

- a valóságot jól tükröző, reális eredményeket ad, különösen, ha a kísérlet körülményeihez közelítünk,
- a tervezés áttekinthetően, egyszerűen, gyorsan elvégezhető,
- ismert útépitési anyagok mellett megbízható pályaszerkezetek hozhatók létre.

A kedvező tapasztalatok ellenére fel kell hívni a figyelmet arra, hogy

- a módszer mechanikailag nem megalapozott,
- általánosítására alig van lehetőség,
- új anyagokkal nem ad egzakt megoldást.

Hajlékony pályaszerkezetek méretezése az erdészeti utakon

A hajlékony útpályaszerkezetek méretezésére kidolgozott hazai módszer alapja is az AASHO útkísérlet volt, amelynek eredményeit a hazai viszonyokra adaptálták. Azért esett a választás erre a módszerre, mert az adott időszakban – 1971-ben – ennél biztonságosabb, bizonyos elvi-gyakorlati megalapozottsággal rendelkező, egyszerű módszer nem állt rendelkezésre. A közutak hajlékony pályaszerkezeteit ettől kezdve a Hajlékony Útpályaszerkezetek Méretezési Utasítása (HUMU) alapján méretezték. (A közútépítésben jelenleg a mechanikai alapokon kidolgozott típus pályaszerkezeteket alkalmaznak.)

Az erdészeti utak hajlékony pályaszerkezetének méretezésére abban az időben általánosan elterjedt módszer nem állt rendelkezésre. Célszerűnek látszott, hogy a HUMU jól áttekinthető, egyszerű módszere alapján méretezzük az erdészeti utak pályaszerkezetét is. Indokolta ezt az is, hogy ezeken az utakon a pályaszerkezet hasonlít az AASHO kísérletben vizsgáltakhoz. Felmerült azonban a kétség, hogy az erdészeti utak sajátos forgalmi viszonyai nem jelentenek-e olyan eltérést, ami a HUMU változatlan használatát elviekben is korlátozná. Az erdészeti utak élettartam alatti forgalma ugyanis

megegyezik a kisforgalmú közutak forgalmával, vagy annál jóval kisebb. Ez a forgalom nem egyenletesen, hanem forgalmi csúcsokban jelentkezik, közben a forgalom gyakorlatilag elhanyagolható.

Az elméleti megállapítások, a kísérleti eredmények és a gyakorlati megfigyelések alapján az erdészeti utak hajlékony pályaszerkezetének méretezésére vonatkozó szabályokat a következőképpen foglalhatjuk össze:

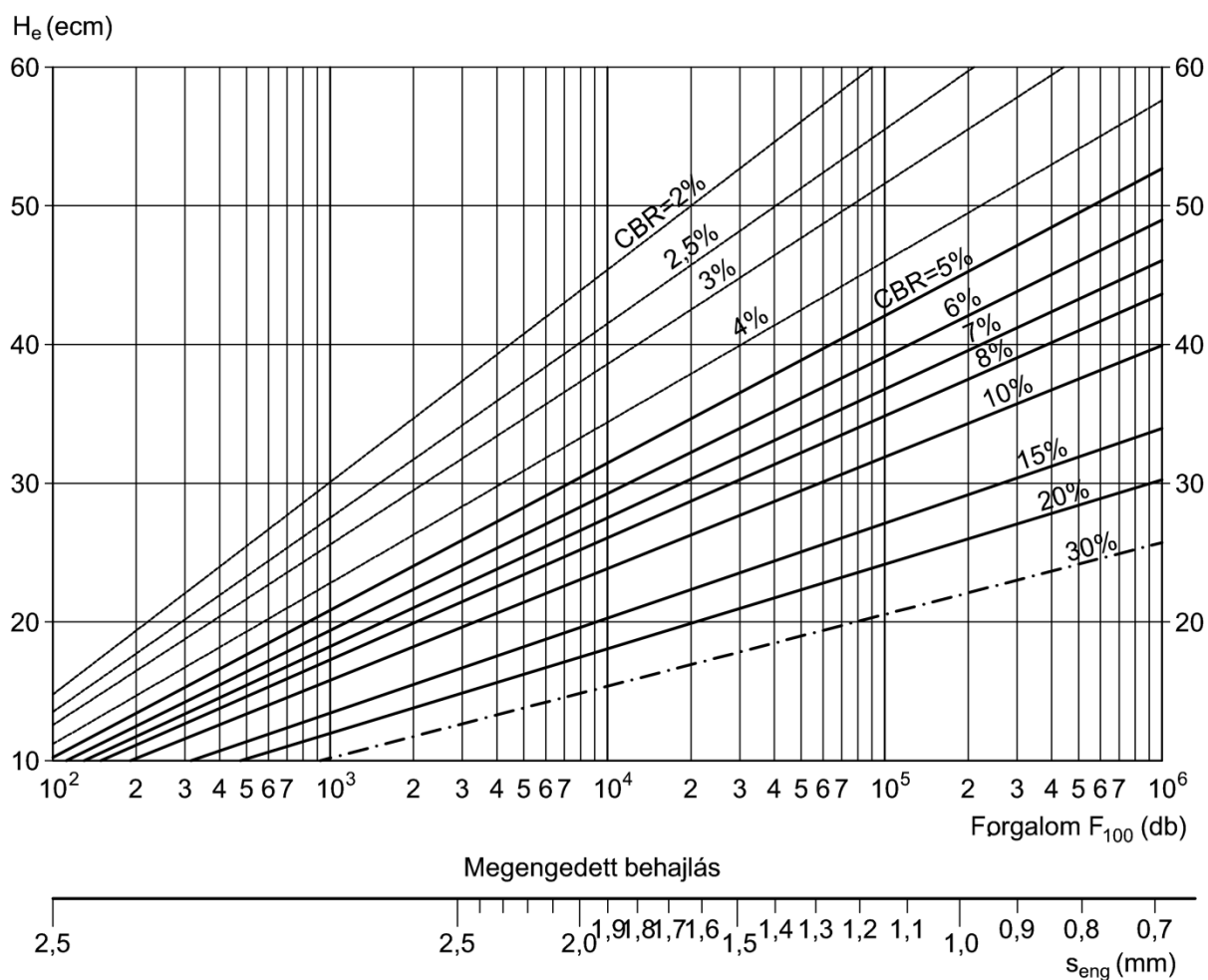
Az erdészeti utak hajlékony pályaszerkezetének egyenérték-vastagságát:

$$H_e = (-14,5 + 14,00 \cdot \lg F_{100}) \cdot \left(\frac{2,5\%}{CBR\%} \right)^{0,4}$$

összefüggéssel állapítjuk meg annak figyelembevételével, hogy az egyenérték-vastagság 10 ecm-nél kisebb nem lehet ($H_{emin} = 10$ ecm) és a figyelembe vehető legnagyobb talajteherbírás $CBR_{max} = 30\%$. A 20 CBR%-nál nagyobb talajteherbírást célszerű laboratóriumi vizsgálatokkal indokolni.

Az összefüggés csak a hajlékony pályaszerkezetek méretezésére használható megalapozottan. Hajlékonynak tekintjük a pályaszerkezetet akkor, ha az legalább egy bitumen kötőanyagú réteget tartalmaz és nincs benne soványbeton, vagy ezt meghaladó szilárdságú réteg. Amennyiben a tervezett pályaszerkezet ennek a feltételnek nem felel meg, de egyéb módszer hiánya miatt a méretezést mégis így végezzük, a kapott eredmény megbízhatóságát egy megalapozott becslés megbízhatóságával vehetjük azonos értékűnek.

A méretezésre használt numerikus alapösszefüggést diagram formájában szokták megadni; ami szemléletes képet ad az egyes paraméterek hatásáról és egyszerűbbé teszi a szükséges pályaszerkezet-vastagság meghatározását.



Méretezési diagram

Tervezési paraméterek hatása a pályaszerkezet vastagságára

A pályaszerkezet tervezett egyenérték-vastagsága az élettartam alatti forgalom nagyságától és a földmű teherbírásától függ.

A forgalom hatása erősen csillapítva érvényesül, mivel a pályaszerkezet egyenérték-vastagsága a forgalom logaritmusával arányos. Egyenletes forgalmat feltételezve ez azt is jelenti, hogy az út élettartamának jelentős (pl.: 10-szeres) emelése viszonylag kis beruházási költségtöbblettel megvalósítható. Ezért erdészeti utak pályaszerkezetének méretezésekor az élettartamot célszerű legalább 20 év-re választani.

A CBR%-ban bekövetkező 1%-os változás megközelítően ugyanakkora pályaszerkezet vastagítást igényel, mint amikor a forgalmat (ezzel együtt az élettartamot) kétszeresére növeljük. Ebből következően a két paraméter közül a talaj teherbírása befolyásolja jobban a pályaszerkezet vastagságát. Fontos, hogy a megépült földmű teherbírása érje el a számításba vett teherbírás értéket, hiszen olcsóbb a szakszerű tömörítést elvégezni, mint a pályaszerkezetet indokolatlanul vastagabbra építeni.

Tervezési forgalom

A pályaszerkezet teherbírását az élettartam alatt áthaladó forgalommal jellemezhetjük, amelyet 100 kN-os egységtengely áthaladásban fejezünk ki. Először meg kell határozni a tervezési élettartamot, majd ennek ismeretében a keletkező szállítási feladatokat és a szállítójárművek típusát.

A tervezési élettartamot 10–20 év között célszerű felvenni. A tervezési időszak forgalmát a gazdálkodási tervek alapján lehet kiszámítani, mert a mértékadó nehézforgalmat az erdőgazdálkodással összefüggő szállítási feladatok adják.

A forgalomelemzés lépései a következők:

- tervezési élettartam megállapítása,
- tervezett út gravitációs körzetének lehatárolása (anyagmozgatási tervek, feltérési alaptervek és tapasztalat alapján),
- élettartam alatt leszállítandó fatérfogat meghatározása,
- szállítójárművek vagy szerelvények jellemzőinek felderítése, amelyek: a szállítmány súlya ($1 \text{ m}^3 \approx 10 \text{ kN}$), tengelysúlyok (üresen, rakottan) és ezek értékei 100 kN-os e.t.á.-ban kifejezve (b)
- járműtípusonként az általuk leszállított fatömeg a tervezett élettartam alatt.

A leszállítandó fatömeg és a szállítást végző gépjárművek típusának ismeretében meg tudjuk határozni a szállítójárművek fordulóinak számát típusonként, ehhez hozzáadva az egyéb forgalomkeltő hatásokból eredő fordulók számát megkapjuk az élettartam alatt teljesített fordulók összes számát szállítójármű típusonként:

$$N_j = \frac{Q_j}{q_j} + n_j$$

ahol:

- N_j = j -ik szállítójármű fordulóinak száma a „ t ” tervezési időszak alatt (db),
- Q_j = j -ik szállítójárművel leszállított összes fatömeg (kN),
- q_j = j -ik szállítójármű raksúlya (kN),
- n_j = j -ik szállítójármű egyéb fordulóinak száma (db).

A szállítójármű műszaki adatai alapján kiszámítható egy forduló forgalom terhelése 100 kN egységtengely-áthaladásban:

$$f_{100j} = \sum_{i=1}^n b_{iü} + \sum_{i=1}^n b_{ir}$$

ahol:

- f_{100j} = j -ik szállítójármű egy fordulója 100 kN e.t. áthaladásban,
- n = j -ik szállítójármű tengelyeinek száma,
- $b_{iü}$ = üres szállítójármű i -ik tengelyéhez tartozó tengelysúly-átszámítási érték,
- b_{ir} = rakott szállítójármű i -ik tengelyéhez tartozó tengelysúly-átszámítási érték.

A b_i értéket a tengelysúlyok függvényében táblázat tartalmazza külön egyes- és kettőstengelyekre vonatkoztatva. (Kettőstengelynek vehető az a két egymást követő tengely, melyek távolsága 2,0 m-nél kisebb.) A fordulók száma és az egy forduló által okozott hatás ismeretében a mértékadó forgalom:

$$F_{100} = \sum_{j=1}^m N_j \cdot f_{100j}$$

ahol:

- F_{100} = tervezési időszak forgalma 100 kN e.t. áthaladásban (db),
- m = szállítójárművek típusának száma.

A mértékadó forgalom számításának másik módszere szerint minden gépjárműfordulót először fatömegben fejezünk ki:

$$Q_j' = Q_j + n_j \cdot q_j$$

Ahol Q_j az élettartam alatti forgalommal leszállított fatömeg. Ezt a fatömeget forgalomterhelésre kell átszámítani úgy, hogy kiszámítjuk az adott j típusú szállítójármű egy fordulójában leszállított fatömeg 1 m^3 -re eső fajlagos forgalomterhelést, vagyis:

$$T = \frac{f_{100}}{q}$$

ahol:

- T = fajlagos forgalomterhelés (db 100 kN e.t.á./m³).

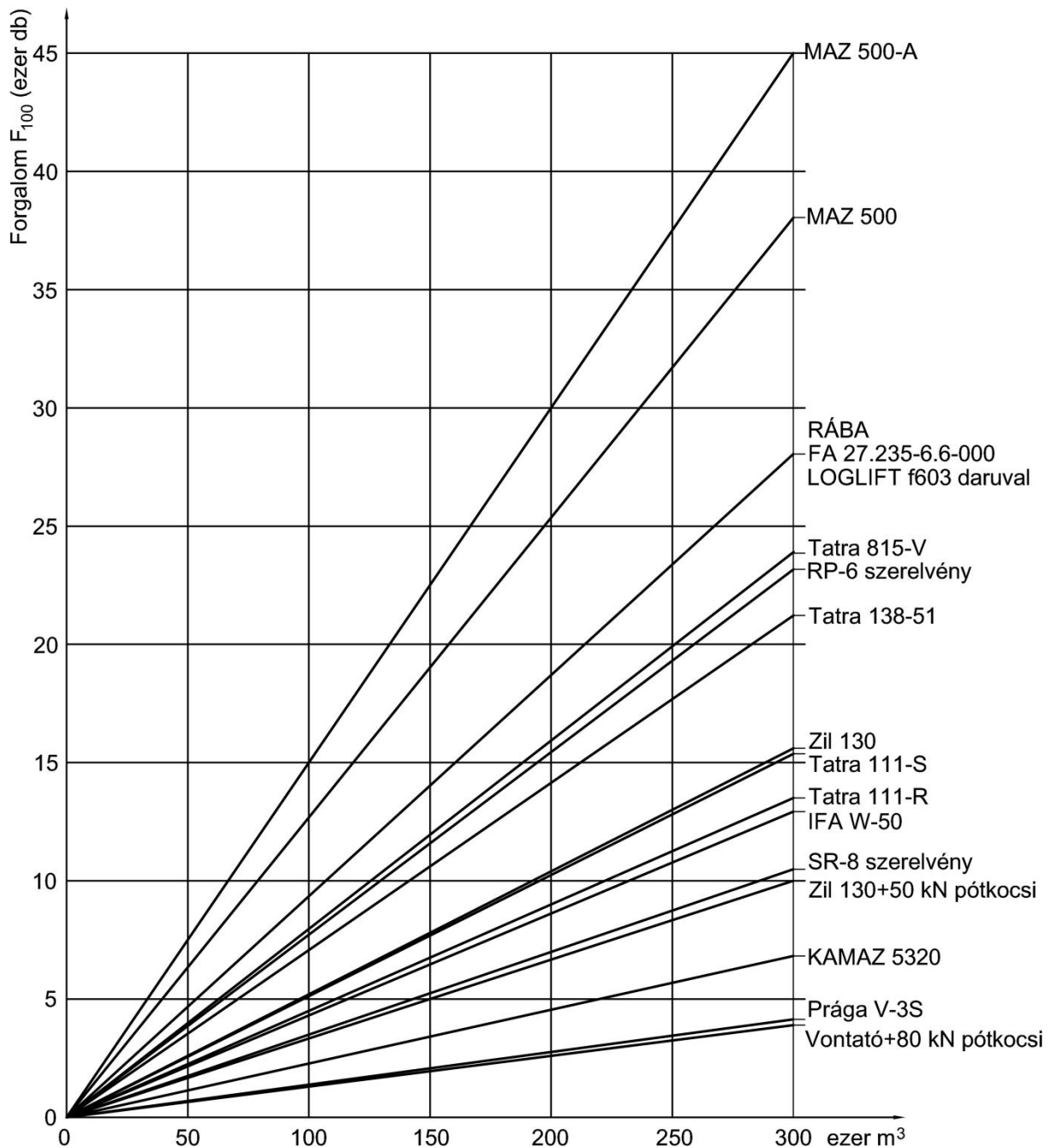
A fajlagos forgalomterhelés alapján az a szállítójármű a kedvezőbb, amelynél ez az érték alacsony, mert ugyanannyi faanyag leszállításánál keletkező kisebb terhelés a pályaszerkezetet is jobban megkíméli.

A mértékadó forgalom:

$$F_{100} = \sum_{j=1}^m Q_j' \cdot T_j$$

ahol:

- T_j = j -ik jármű fajlagos forgalomterhelése (db 100 kN e.t.á./m³).



Különböző járművekkel leszállított fatérfogat forgalomterhelése

Földmű tervezési teherbírása

A földmű tervezési teherbírását jellemző CBR% értékét meghatározhatjuk táblázatokból vagy laboratóriumi vizsgálatokkal.

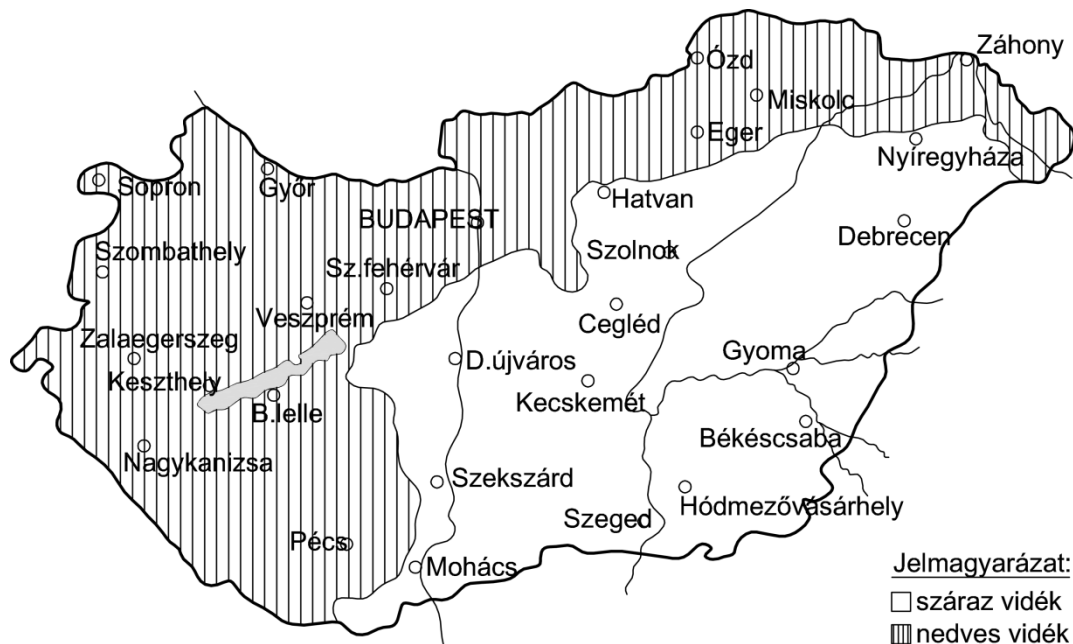
A táblázat használatakor:

- a talajokat szemeloszlási és plasztikus tulajdonságuk alapján I–VI. osztályba,
- útépités körülményeit pedig kedvező (K) és nem kedvező (NK) kategóriába soroljuk.

Kedvező (K) az állapot, ha az út az ország száraz vidékén fekszik és a pályaszerkezet vízzáró. Ellenkező esetben a nem kedvező (NK) esetre vonatkozó értéket kell figyelembe venni.

Vízárónak tekinthető a pályaszerkezet, ha legalább egy vízáró réteget tartalmaz. Nem vízáró réteg az itatott aszfaltmakadám a hézagos zúzottkő és 10 cm-nél vastagabb mechanikailag nem stabil szemcsés réteg.

Tervezéskor feltételezzük, hogy a földmű építése szabályosan történik, vagyis, hogy a földmű felső 0,50 m vastag rétegének tömörségi foka legalább $T_{rp} = 90\%$, ez alatt pedig legalább $T_{rp} = 85\%$, a tömörítést az optimális víztartalom környékén végzik és a földmű építés közben nem ázik el. Amennyiben ezeket a feltételeket nem lehet betartani, a reálisan lecsökkentett teherbírásra kell a méretezést elvégezni, ez azonban gazdaságtalanabb, mint a földmű gondos megépítése, mert mint láttuk a pályaszerkezet vastagságát mértékadóan a földmű teherbírása határozza meg.



Éghajlati térképvázlat

Szükséges és tervezett egyenérték-vastagság

A pályaszerkezet szükséges egyenérték-vastagságát (H_{esz}) az élettartam alatti forgalom (F_{100}) és a földmű teherbírása ismeretében a már ismert képlettel, illetve az annak alapján szerkesztett diagrammal lehet megállapítani. A tervezett pályaszerkezet egyenérték-vastagsága (H_e) a szükséges egyenérték-vastagságnál vékonyabb nem lehet túlméretezés pedig gazdaságossági okokból az 5%-ot nem haladhatja meg.

$$H_{esz} < H_e < 1,05 \cdot H_{esz}$$

A tervezett pályaszerkezet egyenérték-vastagsága:

$$H_e = \sum_{i=1}^n h_i \cdot e_i$$

ahol:

- h_i = i -ik réteg valódi (geometriai) vastagsága (cm),
- e_i = i -ik réteg anyagára jellemző egyenérték-tényező,
- n = pályaszerkezet rétegeinek száma.

HAJLÉKONY PÁLYASZERKEZETEK FELÉPÍTÉSE ERDÉSZETI UTAKON

A pályaszerkezet felépítésének tervezésekor a méretezés eredményeként kapott egységnyi teherbírású rétegvastagság (egyenérték-vastagság) helyettesítése a feladatunk, a ténylegesen építendő rétegek egyenérték-tényezőinek felhasználásával.

Védőréteg méretezése

A védőréteget a pályaszerkezet és a földmű határán építjük be

- legalsó alapréteggként (a pályaszerkezet részeként),
- vagy fagyvédő rétegnek javított talajréteggként (a földmű felső szintjére).

A legalsó alapréteggként beépített réteg anyaga szigorú előírásokat kielégítő jól osztályozott, tiszta, iszapmentes homokos kavics réteg, amelynek egyenlőtlenességi mutatója nagyobb 7-nél esetleg 5-nél, valamint iszap- és agyagtartalma kisebb 3-6%-nál és a homokliszt-iszap és agyagtartalom együttesen 15% alatti legyen.

A földmű felső szintjére kerülő javított talajréteg anyagára vonatkozó előírások lazábbak. Az egyenlőtlenességi mutató legyen nagyobb 5-nél, az iszap- és agyagtartalma kisebb 10%-nál és a homokliszt-iszap és agyagtartalom együttesen kisebb 25%-nál. Az ilyen anyagból készült védőréteg a pályaszerkezet teherbírásába nem, de hőszigetelő képességével a fagyvédő vastagságba beszámít. Ennek a rétegnek vízvezető szerepe nincs, de lecsökkent teherbírású vagy olvadási és fagykára érzékeny talajú földmű teherbírását növelheti.

Modernebb felfogás szerint a drága homokos kavics, vagy szemcsés anyagú védőréteg a talaj tulajdonságait figyelembe vevő stabilizációval helyettesíthető. Ennek előnye az, hogy a helyi anyagot használjuk fel, valamint a stabilizáció jobb hőszigetelő hatását kihasználva a fagyhatást lecsökkentjük.

Pályaszerkezet részét képező legalsó alapréteg méretezése

A lecsökkent teherbírású ($CBR < 5\%$) földmű felületére célszerű egy olyan vastagságú jó minőségű homokos kavics ($e_j = 0,5$) vagy stabilizációs ($e_j = 1,0-1,2$) védőréteg (legalsó alapréteg) tervezése, amelynek felületén a teherbírás eléri a pályaszerkezet alatt megkívánt $CBR = 5-6\%$ értéket.

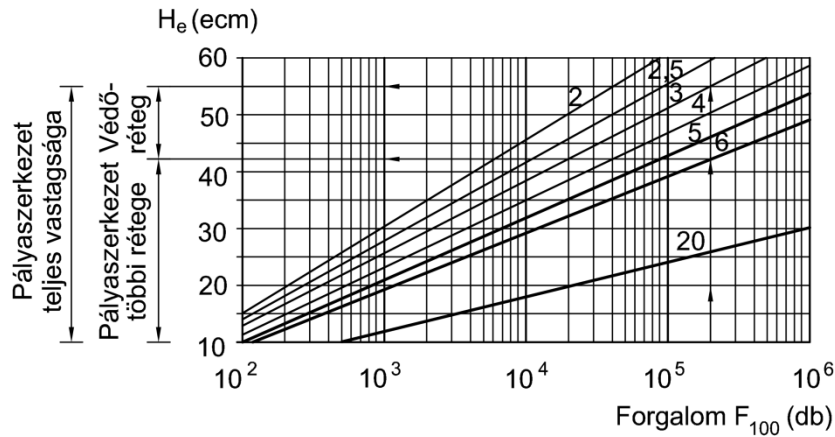
Ez a védőréteg tehát a pályaszerkezet része, vastagságát a méretezési diagramon határozhatjuk meg. A tervezési forgalom függőlegesében az alacsony teherbírású ($CBR = 2-4\%$) és a védőréteg felületén megkívánt magasabb teherbírású ($CBR = 5-6\%$) jelző vonalak között a Δh_e erősítő réteg egyenérték-vastagságát leolvassuk.

Ebből a védőréteg valódi vastagsága számítható:

$$h_v = \frac{\Delta h_e}{e_v}$$

ahol:

- h_v = védőréteg vastagsága (cm),
- Δh_e = védőréteg egyenérték-vastagsága (ecm),
- e_v = védőréteg egyenérték-tényezője.



Védőréteg (legalsó alap) vastagságának meghatározása

Fagyvédő réteg méretezése

Ennek a védőrétegnek a szerepe a fagy és oladási károkat érzékeny földművek megóvása a télvégi káros hatásoktól. A méretezéskor a pályaszerkezet H' fagyálló összvastagságát kiegészítjük egy h_{vf} védőréteg vastagsággal úgy, hogy a szükséges F fagyálló összvastagságot hozzuk létre. Az F fagyálló összvastagságot erdészeti utaknál táblázatból választjuk ki.

A táblázatból kiválasztott F fagyálló összvastagságot a pályaszerkezet fagyálló összvastagságából és a védőréteg vastagságából kell összeállítani:

$$F = H' + h_{vf}$$

ahol:

- F = fagyálló összvastagság,
- h_{vf} = védőréteg fagyálló összvastagsága,
- H' = pályaszerkezet fagyálló összvastagsága.

$$H' = \sum_{i=1}^n h_i \cdot f_i$$

ahol:

- h_i = i -ik réteg valódi vastagsága,
- f_i = a réteg hőszigetelő- és lemezhatására jellemző érték (táblázatból),
- n = pályaszerkezet rétegeinek száma.

Az előbbi képletből kifejezhető a védőréteg fagyálló összvastagsága:

$$h_{vf} = F - H' = F - \sum_{i=1}^n h_i \cdot f_i$$

ahol:

- h_{vf} = védőréteg fagyálló összvastagsága.

amelyből a védőréteg valódi vastagsága:

$$h_v = \frac{h_{vf}}{f_v}$$

ahol

- f_v = védőréteg fagyálló egyenértéke.

A pályaszerkezet felépítésének elvei

A pályaszerkezet rétegeinek kiválasztását és azok egymásra építését teljes pályaszerkezetté csak kellő műszaki és közgazdasági megfontolások alapján lehet elvégezni. A legfontosabb alapszemponatok a következők:

- a rétegek minősége, teherbírása és az ezeket kifejező egyenérték-tényezők alulról felfelé fokozatosan növekedjenek;
- a szerkezeti rétegek a technológiai vastagságot ne lépjék túl, vastagabb réteget több azonos réteg egybeépítésével alakíthatunk ki;
- törekedni kell a nagyobb élettartamú aszfaltrétegek beépítésére;
- hígított bitumenes alapréteget és burkolatot akkor tervezzünk, ha a tömör aszfaltot felszerelés hiányában nem tudjuk előállítani és beépíteni,
- hígított bitumenes alapok fölé meleg eljárással készült tömör aszfaltburkolatot nem szabad tervezni, mert a hígító anyagot bezárjuk,
- zúzottkő alapok helyett előnyösebb stabilizációs alapréteget alkalmazni;
- hézagos zúzottkő alapot kötött talajú földműre csak 10 cm vastag homokos kavicsréteg közbeiktatásával szabad elhelyezni;
- soványbeton alapra min. 10 cm vastag aszfaltréteg építése szükséges az átrepedések meggátolására;
- gyenge, elázott, vagy kis teherbírású földműre utántömörödő pályaszerkezet építése a célszerű, mert ez a kialakuló nagy alakváltozásokat kisebb károsodással tudja követni.

Szemponatok a pályaszerkezet rétegeinek megválasztásához

A műszakilag egyenértékű pályaszerkezetek közül közgazdasági, építési és gépesítési szempontok alapján kell a megfelelő variánst kiválasztani. Az összehasonlító elemzésekhez meg kell határozni az egyes pályaszerkezeti rétegek fajlagos építési költségét, majd a teljes pályaszerkezet építési költségének 1 m²-re eső részét. A reális képhez ismerni kell ezen kívül a pályaszerkezet fenntartására fordítandó költségeket is. A rétegek megválasztásának szempontjai az alábbiak:

- a nagyobb szilárdságú de nagyobb szállítási költséggel is terhelt anyagot burkolati rétegek építéséhez használjuk fel.
- az alaprétegbe a régen használt zúzottkő alapok helyett inkább a helyi anyagok felhasználásával készülő stabilizált burkolatalapokat kell építeni.
- erdészeti utakon a felső alapréteget meleg bitumenes útalapból építhetjük. Ez burkolati réteg is lehet, ha felületi bevonással látjuk el.
- az erdészeti utak korszerű burkolata lehet a helyi anyagot is felhasználó kavics-aszfaltbeton (KAB).

PÁLYASZERKEZET MEGERŐSÍTÉSÉNEK TERVEZÉSE

Ahhoz, hogy az élettartama végén lévő pályaszerkezet a további forgalmat el tudja viselni, illetve egy adott pályaszerkezet a megnövekedett forgalmi igényeket ki tudja elégíteni, szükségessé válik egy újabb, erősítőréteg építése. Az erősítő réteg vastagságát kétféleképpen határozhatjuk meg:

- terhelés hatására kialakuló rugalmas alakváltozások (behajlások) nagysága alapján,
- pályaszerkezet-feltárással, a lecsökkent teherbírású pályaszerkezet anyagára jellemző egyenérték-tényező felhasználásával számítva.

Összefüggés a rugalmas alakváltozás és a forgalomterhelés között

A pályaszerkezet teherbírásán azt az igénybevételt értjük, amelynek túllépése után az anyagot rendeltetészerűen nem lehet tovább használni. Az igénybevételt esetünkben a teherismétlődések számával jellemezzük. Ennek hatására az anyag tönkremenetele a fáradás miatt alakul ki. A fáradás és a végbe menő átalakulások a rugalmas alakváltozás nagyságának változásával jellemezhetők, amelynek nagysága behajlásméréssel határozható meg. A behajlás értéke tehát magában foglalja a teherismétlődéseknek azt a számát, amely a pályaszerkezet élettartama végéig áthaladhat. Ezzel a pályaszerkezet még hátralévő élettartama megadható.

Az AASHO útkísérlet tapasztalatai szerint a T tengelysúlyok, illetve a Z tengelyáthaladási számok növelésével a kezdeti s_0 behajlás értéke fokozatosan növekszik egy pillanatnyi s értékre. A kísérleti adatok korrelációs elemzése kimutatta, hogy azonos használhatósági index (pl. $p = 2,5$) által jelzett minőségi állapotnál az eredeti behajlás és a tengelyáthaladási szám között szoros kapcsolat áll fenn, amelyre a pályaszerkezet H_e egyenérték-vastagsága nincs hatással. Ez azt jelenti, hogy létezik egy olyan kezdeti behajlás, amelynek nagysága meghatározza azt a 100 kN e.t. áthaladásban kifejezett forgalmat, amit az élettartam alatt a pályaszerkezet el fog viselni. Ezt a behajlást megengedett behajlásnak nevezzük.

A megengedett behajlás és a forgalom (100 kN e.t.) közötti összefüggés:

$$\lg F_{100} = 5,27 - 4,55 \cdot \lg s_{eng}$$

vagy más formában:

$$F_{100} = \frac{10^{5,27}}{s_{eng}^{4,55}}$$

A pályaszerkezet teherbírását befolyásoló tényezők

A pályaszerkezet pillanatnyi teherbírását sok tényező befolyásolja:

- a pályaszerkezetet alátámasztó földmű teherbírása, amely a víztartalom változásával változik,
- a pályaszerkezeti rétegek anyaga és kora.

Az utakon végzett tavaszi behajlásméréseket kiértékelve azt tapasztalhatjuk, hogy homokos talajon a teherbírás általában jó, míg kötött talajon gyakran alacsony. Ennek magyarázata az lehet, hogy a szemcsés talajokon épült utak esetében az elmaradt karbantartások kevésbé érzékeltek negatív hatásukat.

A behajlások értéke a pálya közepén 20–30%-kal kisebb, mint a pálya szélétől kb. 50 cm-re. (6 m-es burkolatot figyelembe véve.) Ez magyarázza meg az egy forgalmi sávos erdészeti utaknál a bukolatszélek korai tönkremenetelét, amelyet csak gondos útfenntartással tudunk lassítani.

A behajlások nagyságára hatással van az időjárás is. A tavaszi hónapokban a földmű nagyobb víztartalma miatt lecsökkent teherbírás nagyobb behajlásokat eredményez. A földmű kiszáradásával nő a teherbírás, csökkennek a behajlások. A minimális behajlásokat a nyár vége felé mérhetjük.

A vastag aszfaltrétegek teherbírása függ a hőmérséklettől is. Mintegy 10°C hőmérsékletváltozás 0,10 mm behajlás módosulást eredményez.

A fahasználatok tervezésekor és a szállítások szervezésekor figyelembe kell venni az út teherbíróképességének változását, ha nem akarjuk idő előtt tönkretenni a fahasználatra kijelölt terület úthálózatát. Célszerű lenne ezért az erdőgazdaságokban a tervezett fahasználatok és a szállítások előtt legalább két évvel és évenként tavasszal és nyár végén behajlásmérésekkel ellenőrizni az utak teherbírását és a döntéseket ez alapján meghozni.

Erősítő réteg méretezése behajlások alapján

Az AASHO útkísérlet során kimutatták, hogy a pályaszerkezet egyenérték-vastagsága és a behajlás között:

$$H_1 = A - B \cdot \lg s_1$$

alakú összefüggés áll fenn. Legyen egy adott pályaszerkezet H_1 egyenérték-vastagságú, amelyhez s_1 behajlás tartozik. Növeljük ennek a pályaszerkezetnek a vastagságát ΔH értékkel H_2 vastagságig, amely vastagsághoz az előbbi behajlásnál kisebb s_2 érték tartozik.

Felírható:

$$\begin{aligned} H_1 &= A - B \cdot \lg s_1 \\ H_2 &= A - B \cdot \lg s_2 \end{aligned}$$

A két egyenlet egymásból kivonva az erősítőréteg vastagságát (ΔH) kapjuk:

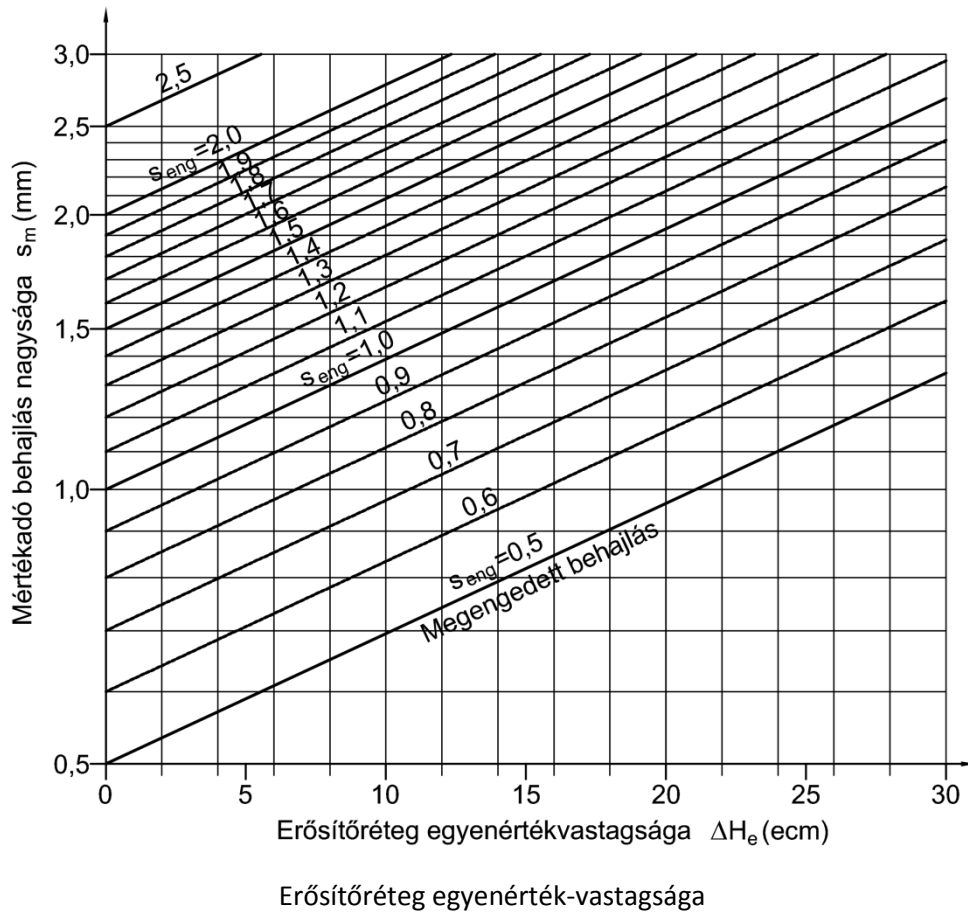
$$\Delta H = H_2 - H_1 = B \cdot (\lg s_1 - \lg s_2)$$

illetve más formában:

$$\Delta H = B \cdot \lg \frac{s_1}{s_2}$$

B -t anyagállandónak tekintve a méretezés elvégezhető, mert a $H_1 + \Delta H = H_2$ megerősített pályaszerkezet behajlásának akkorának kell lenni, hogy a tervezési időszak F_{100} forgalmát elviselje, vagyis ez az F_{100} forgalomhoz tartozó megengedett behajlás lesz ($s_2 = s_{eng}$), míg az s_1 behajlás a H_1 vastagságú megerősítendő pályaszerkezeten mért behajlások közül a mértékadó behajlás ($s_1 = s_m$). A B anyagállandó nagyságának szilárdságtani értelmezése nem megoldott. Nagyságát hosszú ideig $B = 70$ értékben állapították meg, amely egy jó átlagértéknek tekinthető. Ezért a képlet végleges formája, amely alapján diagram is készíthető:

$$\Delta H_e = 70 \cdot \lg \frac{s_m}{s_{eng}}$$



Behajlásmérések feldolgozása

A mérési adatok feldolgozásakor két feladatot kell megoldani:

- el kell különíteni a homogén teherbírású útszakaszokat,
- ki kell számítani az útszakaszok teherbírását jellemző s_m mértékadó behajlás nagyságát.

A homogén útszakaszokat más módon különítjük el az automata mérőkocsi és a kézi behajlásmérés adatai alapján.

Az automata mérőkocsi által felvett mérési adatokat számítógéppel dolgozzák fel, amely elvégzi az út homogén teherbírású szakaszokra bontását is. A program a mérési adatsorozat első 50 értékéből (kb. 200 m hosszú útszakasz adataiból) átlagot, szórást és mértékadó behajlást számít. Ezután egyesével továbbhaladva a feldolgozandó mérési értékeken, mindig 50 mérésre számolja ugyanezeket az adatokat, és a két szakaszt összehasonlítja. Amennyiben a léptetett szakasz mértékadó behajlása 30%-kal eltér az előző szakasz hasonló értékétől, akkor új homogén szakaszt jelöl ki a program. Ilyenkor visszamenőleg a teljes homogén szakaszra kiszámítja az átlagot, szórást és a mértékadó behajlást, megadja a kezdő- és végszelvény értékeit, valamint kijelöli a szakaszban lokálisnak tekinthető kiugró értékeket. Ezután a homogén szakaszok kijelölése újra kezdődik.

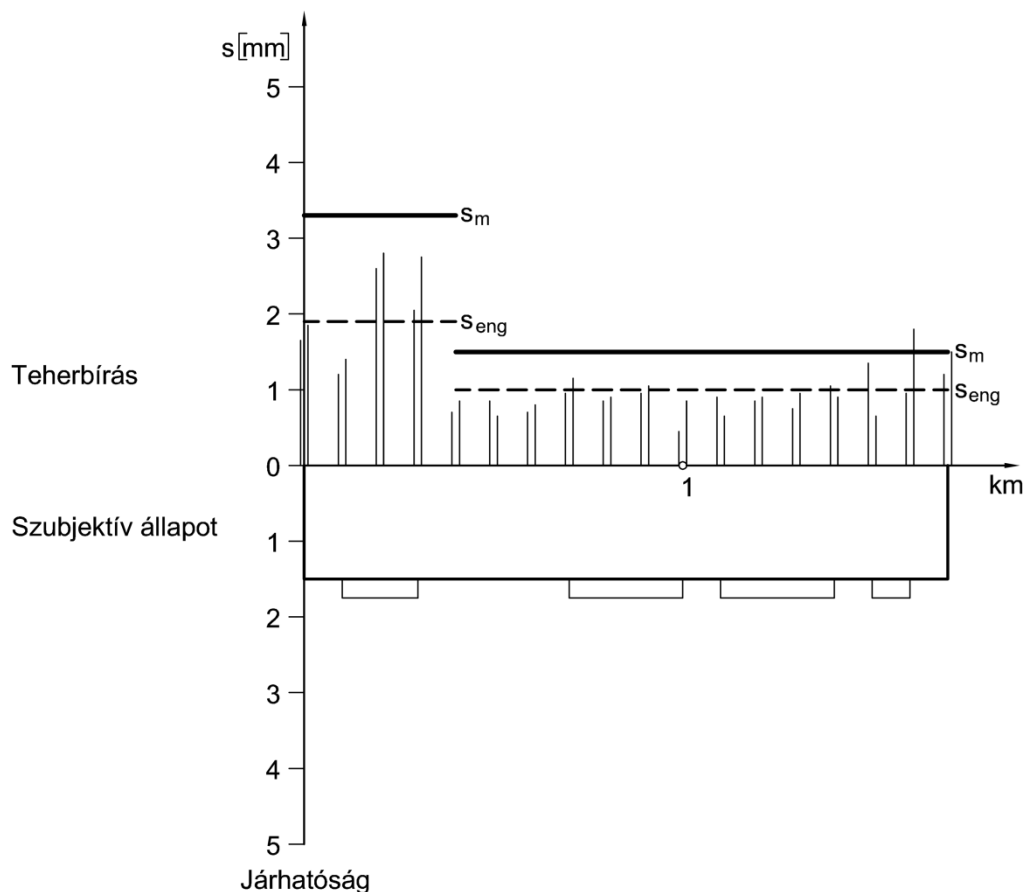
A kézi behajlásmérés adatainak kiértékelésére a lényegesen kevesebb adat miatt más eljárás javasolt. Az 50 kN keréksúlyra átszámított behajlásértékeket hossz-szelvény szerűen kell ábrázolni, célszerűen

egy burkolatállapotot kifejező járhatósági értékkel együtt. A két kerék alatt mért értéket külön tüntetjük fel úgy, hogy az áttekinthető legyen. A kapott ábrát gondosan áttanulmányozva, a behajlásokat és a burkolatállapotot összevetve, rövid gyakorlattal a homogén teherbírású szakaszok kijelölhetők. Bizonytalan esetben célszerűbb több szakaszt elkülöníteni, de a legrövidebb szakasz is tartalmazzon legalább 10 db mérési adatot. (A szakasz minimális hossza tehát 500 m).

A homogén szakaszok elkülönítése után ki kell számítani a szakaszra jellemző átlag és szórás nagyságát, majd matematikai statisztikai próbákkal meg kell vizsgálni, hogy az egymást követő szakaszok egymástól valóban különböznek-e. A számítás menete a következő:

- az összehasonlítandó szakaszokra kiszámítjuk az átlagot, a szórást és az eltérés négyzetösszegét;
- F próbával megvizsgáljuk, hogy a szórások megegyeznek-e;
- t próbával ellenőrizzük, hogy a középértékek eltérőek-e. (A felhasznált képletek ennél az eljárásnál aszerint változnak, hogy a szórások azonosak-e vagy sem.).

Az elemzések alapján azok a szakaszok vonhatók össze, amelyek középértékei egymástól 90%-os valószínűségi szinten szignifikánsan nem különböznek. Minden más esetben célszerű a szakaszokat elkülöníteni. Az összevont szakaszok új átlagát és szórását ezután ismét ki kell számítani.



Behajlásértékek és a járhatóság grafikus ábrázolása

Mértékadó behajlás kiszámítása

Mértékadónak a tavaszi, lecsökkent talajteherbírás időszakában mért behajlások alapján számított teherbírást kell tekinteni.

A teherbírást jellemző mértékadó behajlás:

$$s_m = e \cdot k \cdot \left(\bar{s} + c \cdot sz \right) + t$$

ahol:

- s_m = mértékadó behajlás,
- e = évszaki korrekció,
- k = átszámítási tényező a különböző behajlásmérési módszerekről a szabványos módszerre,
- \bar{s} = átlagos behajlás,
- c = megbízhatósági szorzó,
- t = hőmérsékleti korrekció,
- sz = szórás.

Mértékadó behajlást befolyásoló tényezők

Az e évszaki korrekcióval a különböző évszakokban mért behajlásokat számítjuk át tavaszi behajlásokra. Ennek megállapítására etalon szakaszokon végeztek vizsgálatokat. Javaslat formájában értékeiket közutakra meghatározták, de kis megbízhatóságuk miatt nem használják. Nagyobb megbízhatóságuk esetén sem lehetne ezeket az értékeket erdészeti utaknál használni a lényegesen eltérő körülmények miatt. Indokoltan elhagyható ez a korrekciós tényező, ha a behajlásokat a tavaszi olvadási időszakban, vagy azt követően rövid időn belül mérjük. Ebből következően az erdészeti utak teherbírását mindig tavasszal, március és május között kell megmérni, és a mértékadó behajlást évszaki korrekció nélkül kell számítani.

A t hőmérsékleti korrekcióra sincs megbízható adat az előbbihez hasonlóan. Elhagyható ez az érték is, ha a pályaszerkezet hőmérséklete mérés közben $+5^\circ\text{C}$ és $+20^\circ\text{C}$ közé esik, tehát a behajlásméréseket is ilyen körülmények között kell elvégezni.

A különböző mérési módszerek közötti átszámítást teszi lehetővé a k tényező. A közutakra vonatkozóan megfelelő adatokkal rendelkezünk arra, hogy az automata mérőberendezéssel mért adatokat a hagyományos mérési rendszerre átszámítsuk. Az erdészeti utakon javasolt behajlásmérési módszer jól egyezik az automata mérőkocsi által nyújtott eredményekkel, mégsem biztos, hogy az átszámításra javasolt k tényezőre megadott értékek az erdészeti utakra is érvényesek lesznek.

Célszerű a c megbízhatósági szorzó értékét úgy megváltoztatni, hogy az eredmény megbízhatósága nőjön. A mértékadó behajlást pályaszerkezetek méretezéséhez használjuk. Amennyiben ezt az átlag alapján végeznénk el, akkor az esetek 50%-ában alulméreteznénk a pályaszerkezetet. Ennek a hányadnak a csökkentésére a mértékadó behajlást a szórásmező felső szélében kell meghatározni úgy, hogy a szórásmező egy előre meghatározott hányada a mértékadó behajlás alá essen. A c megbízhatósági szorzó értéke a:

- szabványos kézi behajlásmérővel végzett méréseknél 2,0 ami azt jelenti, hogy az összes adat 97,72%-kal kisebb a mértékadó behajlásnál,
- automata behajlásmérésnél a k mérési módszerek különbségét kiküszöbölő tényező figyelembevétele mellett 1,6 ami a szórásmező 94,52%-ának kihasználását jelenti.

Mértékadó behajlás kiszámítása erdészeti utakon

Erdészeti utakon javasolt a mértékadó behajlás számításához a $c = 2,0$ érték használata, ami ellensúlyozza a k tényező elhagyásából származó bizonytalanságot. Az erdészeti utak teherbírását jellemző mértékadó behajlást tehát a következőképpen határozzuk meg:

$$s_m = \bar{s} + c \cdot sz$$

ahol:

- s_m = mértékadó behajlás,
- \bar{s} = átlagos behajlás,
- c = megbízhatósági szorzó: 2,0,
- sz = szórás.

Az átlagos behajlás:

$$\bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{n}$$

ahol:

- s_i = tavasszal mért és 50 kN keréksúlyra átszámított behajlás,
- n = mérési adatok száma.

A szórás a korrigált szórás képletével számítható:

$$sz = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{s} - s_i)^2}{n-1}}$$

Mértékadó behajlás értékelése

A mértékadó behajlás nagyságáról önmagában nem lehet eldönteni azt, hogy az számunkra megfelelő teherbírást jelöl-e. Ugyanaz a behajlás kisebb forgalomnál ugyanis megfelelő, nagyobb forgalomnál már lecsökkent teherbírást jelölhet.

A nagymintakísérletek alapján levezetett összefüggéssel megállapítható, hogy

- egy adott s_m mértékadó behajlásnál az úton csak egy meghatározott F_{100eng} megengedett forgalom haladhat át, amelynek nagysága:

$$\lg F_{100eng} = 5,27 - 4,55 \cdot \lg s_m$$

Illetve:

- egy adott F_{100m} mértékadó forgalmat a pályaszerkezet csak akkor visel el, ha a pályaszerkezet kezdeti behajlása nem lép túl egy s_{eng} megengedett behajlási értéket:

$$\lg s_{eng} = 1,158 - 0,2198 \cdot \lg F_{100m}$$

A megengedett és mértékadó értékek összehasonlításával a pályaszerkezet teherbírása minősíthető. A behajlás nagysága szerint megfelelő a pályaszerkezet teherbírása, ha az

$$s_m < s_{eng}$$

ahol az s_{eng} megengedett behajlást egy vizsgált időszak mértékadó forgalma alapján számítjuk. A forgalom nagysága szerint megfelelő a pályaszerkezet teherbírása, ha az:

$$F_{100m} < F_{100eng}$$

ahol az F_{100eng} engedélyezett forgalmat (db 100 kN e. t. áthaladásban) az s_m mértékadó behajlás alapján számítjuk.

Megerősítés szükségessége és sürgőssége

A megerősítés szükségességét és sürgősségét ezután az dönti el, hogy milyen időszakra határozzuk meg az F_{100m} mértékadó forgalom nagyságát. A forgalomelemzést általában az üzemterv, illetve erdőterv 1. és 2. ciklusára kell elvégezni. Ezeket összevetve az F_{100eng} megengedett forgalommal meg lehet állapítani a beavatkozás szükséges időpontját. A teherbírásra, mint állapotra jellemző állapotjelző paraméter (osztályzat) a következő:

1. jelű: nagyon jó teherbírású, ha a megerősítést 15 év után kell elvégezni,
2. jelű: jó teherbírású, ha a megerősítés időpontja 11–15 év közé esik,
3. jelű: közepes teherbírású, ha a megerősítést 6–10 éven belül kell végrehajtani,
4. jelű: rossz teherbírású, ha a megerősítést 3–5 éven belül kell elvégezni,
5. jelű: tűrhetetlen teherbírású, ha 2 éven belül szükséges a megerősítés.

Az állapotjelző paraméterek ebben a formában megfelelő tervezést is lehetővé tesznek. A 3-as figyelmeztető szint elérésekor még elegendő idő áll rendelkezésre, hogy alternatív megoldásként olyan karbantartást végezzünk el, amely az élettartamot meghosszabbítja. Lehetőségünk nyílik ezáltal a pályaszerkezettel történő gazdálkodásra, egy ésszerű megerősítési ciklus kialakítására. A 4-es sürgősség már nem enged alternatívákat, ekkor már csak a megerősítés az egyetlen járható út. A 3–5 év azonban olyan időtartam, ami lehetővé teszi a megerősítési munkák szakszerű megtervezését (behajlásméréseket, kis teherbírású helyek kijávitását, víztelenítés helyreállítását stb.), a nyugodt előkészítést. Nem célszerű, ha az úthálózat egyes elemeinek teherbírása eléri az 5-ös értéket, mert akkor a megerősítést azonnal, kellő előkészítés hiányában kell elvégezni, ami nem vezet mindig megfelelő eredményre.

Teherbírás meghatározása ejtősúlyos (FWD) berendezéssel

Az egyik legkorszerűbb mérési eszköz, amellyel a pályaszerkezet teherbírására következtetni tudunk. A készülékkel végzett mérési sorozat lehetővé teszi a vizsgálatot végző mérnök számára a behajlási teknő meghatározását ellenőrzött terhelés mellett. A behajlási teknő alakjának ismerete lényegesen több információt szolgáltat a pályaszerkezet pillanatnyi állapotáról mint a központi behajlás, így pontosabban határozható meg annak teherbírása, hátralévő élettartalma és a szükséges erősítőréteg vastagsága. A módszert ezért célszerű az erdészeti útépítésben is általánossá tenni, mert a

pályaszerkezet állapotáról lényegesen több adatot szolgáltat, valamint több összehasonlító vizsgálat is bizonyította hasznosságát a gyakorlatban.

Felületi modulus

A felületi modulusok alapján el lehet végezni egy adott útszakasz előzetes értékelését. A felületi modulusok értékei alapján kijelölhetőek azok a szakaszok, ahol inhomogenitások, lokális teherbírás problémák vannak. Információt kaphatunk a földmű állapotáról is. Boussinesq-képlet a felületi modulus számítására:

$$E_0 = \frac{2r(1-\mu^2)p}{d_0}$$

ahol:

- E_0 = felületi modulus,
- p = felületi nyomás a tárcsa alatt,
- r = terhelő tárcsa sugara,
- d_0 = legnagyobb behajlás a terhelő tárcsa alatt,
- μ = Poisson-tényező.

A felületi modulus kiszámításával a teljes pályaszerkezetet mint fél-végtelen teret tekintjük, így a kapott egyenértékű modulus értékek a pályaszerkezet felépítésétől, az azt alkotó rétegek jellegétől (hajlékony /rugalmas/, illetve merev) függenek. Az adott útszakasz teherbírása hálózati szintű értékelésének alapja az egyenértékű felületi modulus:

$$E_{em} = \overline{E_e} - u \cdot \sigma$$

ahol:

- E_{em} = mértékadó egyenértékű teherbírás modulus,
- $\overline{E_e}$ = egyenértékű teherbírás modulusok mintaátlag,
- σ = egyenértékű teherbírás modulusok mintaszórása,
- u = megbízhatósági tényező, főúthálózaton 1,64 alsóbbrendű utakon 1,28.

Behajlás

A behajlás a terhelés középpontjától adott távolságra lévő behajlásmérő alatti süllyedés mértéke. A terhelés középpontjától távolodva a behajlások értéke csökken. A tárcsaközép alatti lehajlás értékkel jellemezhető a pályaszerkezet egyedi behajlása, ez az érték a szükséges terhelőerő normalizálás, illetve hőmérsékleti korrekció elvégzése után átszámítható egy olyan statikus behajlás értéké, mely a *Benkelman*-típusú behajlásmérővel mért behajlással összemérhető. A dinamikus behajlási adatok alapján elvégezhető egy adott útszakasz homogenizálása, majd a homogén szakaszokon a jellemző mértékadó behajlás kiszámítása az alábbi képlettel történik:

$$s_m = \bar{s} + 2 \cdot s_z$$

ahol:

- s_m = mértékadó behajlás,
- \bar{s} = átlagos behajlás,

- 2 = megbízhatósági szorzó (c),
- sz = szórás.

Egy adott útszakaszt vizsgálva szükséges lehet az utat homogén szakaszokra bontani. A homogén szakaszok képzése történhet:

- hagyományos módszerrel (behajlások grafikus ábrázolása segítségével),
- behajlások átlagtól való eltérése kumulált összegének grafikus ábrája elemzésével.

Mindkét módszerre számítógépes programok állnak rendelkezésre.

A görbületi sugár jelentősége

A burkolat repedésképződésének mértékét – a burkolat anyagi minőségén kívül – döntő mértékben a fásztó igénybevétel nagysága szabja meg. Repedés akkor áll elő, ha a burkolat húzószilárdságát meghaladó feszültség keletkezik. A forgalom alatt lévő burkolat elsősorban hajlító igénybevételt szenved, a húzófeszültség tehát hajlításból ered. A hajlításból származó húzófeszültség nagysága pedig a hajlítás minimális sugarától függ.

Az aszfaltburkolatok viszonylag kissugarú ívben is lassan meghajlíthatóak anélkül, hogy eltörnének. Svéd vizsgálatok szerint, ha az aszfaltburkolatot $R = 30$ m-nél kisebb sugarú ívben hajlítják meg, törés következik be, ami a minimális sugárnak is tekinthető. Természetesen ez függ a burkolat vastagságától és anyagi minőségétől. A törés szempontjából a hajlítás sugara lesz a döntő és nem pedig a behajlás nagysága. Ezért, ha a burkolatra nézve veszélyes alakváltozást vizsgáljuk, tulajdonképpen a hajlított burkolat görbületi sugarát kell mérni és elemezni.

Erősítő réteg méretezése pályaszerkezet-feltárás alapján

Ennél az eljárásnál 500 m-ként, vagy szükség esetén sűrítve feltárják a régi pályaszerkezetet, megállapítva ezzel a pályaszerkezeti rétegek anyagát és vastagságát. A mért vastagságokat a régi csökkent teherbírású pályaszerkezeti rétegek egyenérték-tényezőjével beszorozva megkapjuk a régi pályaszerkezet egyenérték-vastagságát:

$$H_{er} = \sum_{i=1}^n h_i \cdot e_r$$

ahol:

- H_{er} = régi pályaszerkezet egyenérték-vastagsága (ecm),
- h_i = régi pályaszerkezeti réteg vastagsága (cm),
- e_r = régi pályaszerkezeti réteg egyenérték-tényezője,
- n = régi pályaszerkezet rétegeinek száma.

A megnövekedett forgalom alapján számított egyenérték-vastagság (H_{esz}) és a régi pályaszerkezet egyenérték-vastagságának (H_{er}) különbsége adja a szükséges erősítőréteg egyenérték-vastagságát (ΔH_e)

$$\Delta H_e = H_{esz} - H_{er}$$

A ΔH_e értékből az új erősítőréteg anyagára vonatkozó egyenérték-tényező segítségével a méretezésnél megismert módon meghatározhatjuk az erősítőréteg valódi geometriai vastagságát.

PÁLYASZERKEZET-GAZDÁLKODÁS

Az erdészeti utak pályaszerkezetének tervezésekor célként fogalmazható meg, hogy olyan pályaszerkezetet hozzunk létre, amely hosszútávon gazdaságosnak tekinthető. Adott szállítási és forgalmi igénybevétel mellett ugyanis azt a megoldást kellene megkeresni, amelynél az építési, útfenntartási és forgalmi költségek összegei a legalacsonyabbak lesznek. A pályaszerkezetek ilyen szemléletű tervezése már nem egyszerűen méretezés, hanem az pályaszerkezet-gazdálkodásnak is tekinthető.

Pályaszerkezet-gazdálkodási politika általános megfogalmazása

Ahhoz, hogy a pályaszerkezetet gazdálkodási szemlélettel tudjuk megtervezni, ki kell alakítani a pályaszerkezet-gazdálkodási politikát, amely:

- hosszú távú stratégiájában kijelöli a pályaszerkezeten végzendő fő beavatkozások időpontját,
- taktikájában pedig alkalmazkodik az út pillanatnyi állapotához.

A pályaszerkezet-gazdálkodási politika stratégiája tehát meghatározza, hogy mikor válik szükségessé a pályaszerkezet megerősítése (felújítása), vagy mikor elégséges csak egy vékony réteg beépítésével a homogén útállapotot létrehozni (karbantartani). A pályaszerkezet-gazdálkodási politika stratégiájának kialakításakor tehát a következő kérdések merülnek fel:

- Milyen élettartamra tervezzük az új pályaszerkezetet és a megerősítő réteget?
- Mikor elég a teherbírást csak másodlagosan növelő vékony réteggel a homogén útállapotot létrehozni?
- Hogyan váltsák egymást ezek a beavatkozások?

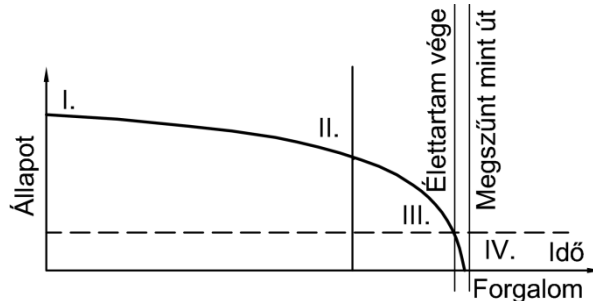
A pályaszerkezet leromlási modelljének ismeretében ezekre a kérdésekre választ lehet adni, a pályaszerkezetet pedig gazdálkodási szemlélettel meg lehet tervezni.

A pályaszerkezet leromlási folyamata

Az út maximálisan jó állapotának az átadás időpontjában meglévő állapotot tekinthetjük (I.). Ezután az idő múlásával a peremfeltételek (kivitelezés minősége, a forgalom nagysága és időbeni eloszlása, időjárás stb.) hatásának függvényében megindul az út fokozatos leromlása. A tönkremenetel folyamatában három szakaszt lehet elkülöníteni. A kezdeti időben (I-II.) a leromlás folyamata lassú, az útfenntartás feladata ebben az időszakban a keletkező apróbb lokális hibák rendbetétele. A második szakaszban (II-III.) a leromlás felgyorsul, a beavatkozások sűrűsége, mennyisége és sürgőssége is megnő. Ezt a szakaszt egy figyelmeztető tartománynak kell tekinteni, ami arra hívja fel a figyelmet, hogy az út állapotát valamilyen komolyabb állapotfenntartási módszerrel helyre kell állítani. A harmadik szakaszban (III-IV.) az út állapota rohamosan megy tönkre, azt megállítani már csak komolyabb, építés jellegű felújítással (pályaszerkezet rekonstrukció, új burkolat vagy kopóréteg építés stb.) lehet.

A megfelelő útállapot létrehozásához szükséges költségek az első szakaszban a legalacsonyabbak, ezért igyekezni kell, hogy ott minden keletkező hibát kijavítsunk, mert így a hibák elfajulását megakadályozhatjuk, végeredményben a leromlás folyamata lassítható. A második szakaszban már

jelentősebb költségeket emészt fel a szükséges munkák elvégzése, míg a harmadik szakaszban fellépő költségek a legmagasabbak, végeredményben új szerkezetek építését kell elvégezni. A III. pont ezért határértéknek tekinthető, amely azt az állapotot jelöli, amikor a beavatkozást még gazdaságosan végre lehet hajtani, ez alatt nagy költségű beavatkozásra - új szerkezet létrehozására - van szükség. (A pályaszerkezetek méretezésekor ezt az állapotot tekintjük az élettartam végének.)



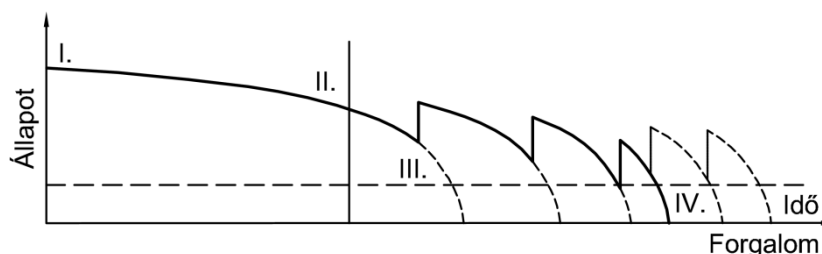
A pályaszerkezet leromlási folyamata

Pályaszerkezet-gazdálkodási politika stratégiája

Mivel az utak élettartama viszonylag hosszú időszakot ölel fel, szükség van egy olyan hosszú távon is elfogadható alapelv megfogalmazására, amely szerint a változó feltételek között végzett útfenntartási tevékenység a kitűzött célokat eléri. Azt a koncepciót, amely meghatározza úgy hosszú, mint rövidtávon az útfenntartási tevékenység szükségességét és módját, útfenntartási politikának nevezzük.

A pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiát a pályaszerkezet leromlási folyamatának és az útfenntartási beavatkozások erre gyakorolt hatásának figyelembevételével lehet és kell kialakítani. A beavatkozások sorozatát és az állapotváltozás összefüggéseit vizsgálva, alapvetően háromféle stratégia alakítható ki.

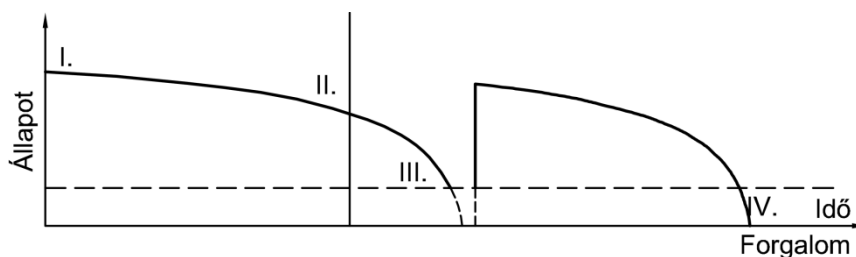
A stratégia első formájában a szükséges beavatkozásokat spontán, nem tudatos tevékenység alapján végzik. Jellemző formája, hogy mindig ott avatkozik be, ahol az a legégetőbb, de nem teremt hosszabb távon megnyugtató megoldást. Az úthálózatot figyelembe véve ez a megoldás azt eredményezi, hogy a teljes hálózat leromlik, azon folyamatosan mindig javíthatni kell. Ez a politika az úthálózaton végzett rablógazdálkodást jelenti.



Spontán beavatkozásokon alapuló pályaszerkezet-gazdálkodási stratégia

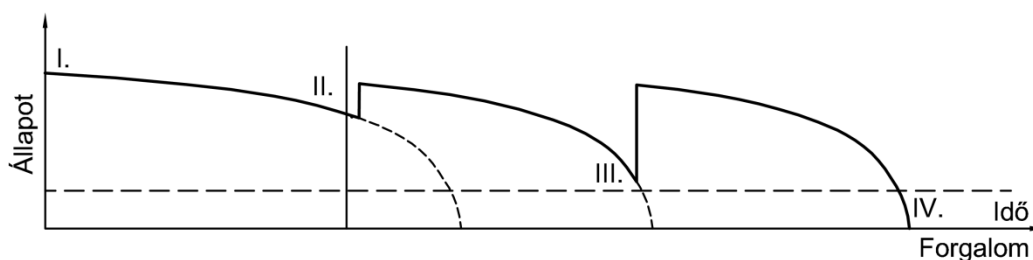
A stratégia második formájában már érvényesül a tudatosság. Eszerint mindig akkor kell beavatkozni, amikor a pályaszerkezet állapota eléri a II-III. pont közötti szakaszt. A beavatkozás után a pályaszerkezet érje el az új út állapotát. Ilyenkor az úton mindig csak építés jellegű beavatkozás folyik. Ez egy viszonylag kényelmes megoldás akkor, ha rendkívül erős pénzügyi háttérrel

rendelkezünk, vagy olyan jelentőségű az út, hogy azon csak ritkán lehet munkákat végezni (pl. autópálya). Ezek közül a feltételek közül azonban egyik sem jellemző az erdészeti utakra, illetve azok tulajdonosainak pénzügyi helyzetére.



Nagyvonalú pályaszerkezet-gazdálkodási stratégia

Az erdészeti utak fenntartási alapelvének a harmadik stratégia felel meg. Eszerint az I–II. szakaszban a keletkező hibákat folyamatosan javítva (javítás) azok elfajulását megakadályozzuk. A II. pont után a korábbinál jobb egységes állapot létrehozása (karbantartás). Ez már lényegesen befolyásolja a leromlás időbeni lefolyását is. Ezután két lehetőség között választhatunk. Az első lehetőség az, hogy egy tudatosan végzett tevékenységgel, a felújítással – aminek időpontja a II–III. szakaszra essen – a pályaszerkezet állapotát az új útnak megfelelő állapotba hozzuk. A másik lehetőség szerint egy újabb karbantartással a felújítás időpontját még eltoljuk. Figyelembe kell venni azonban azt, hogy a többszöri karbantartás költségei meghaladhatják a felújítás költségeit, amit végül egyszer feltétlenül el kell végezni. A második karbantartás után ezért célszerű a felújítást végrehajtani.



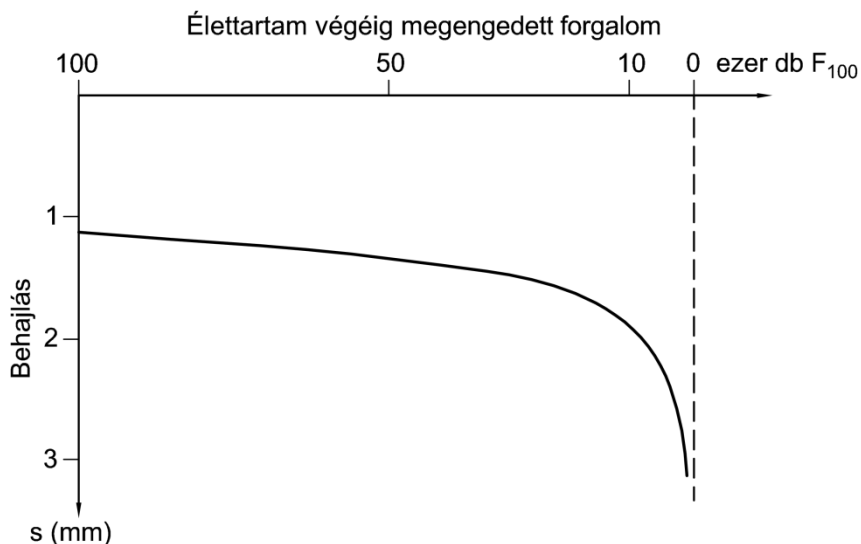
Javasolt pályaszerkezet-gazdálkodási stratégia

Összefüggés a behajlás és a megengedett forgalom között

Az AASHO útkísérletek összefüggést mutattak ki a pályaszerkezet rugalmas alakváltozása és az út forgalomban kifejezett teherbírása között. Az

$$F_{100} = \frac{10^{5,27}}{s^{4,55}}$$

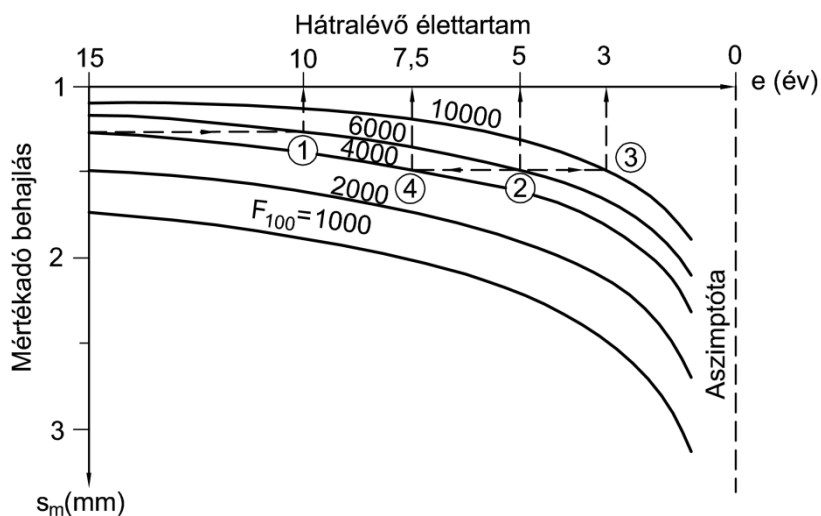
összefüggés a forgalom hatására fellépő teherbírás-csökkenést írja le és azt fejezi ki, hogy az adott s (mm) behajlással jellemzett pályaszerkezeten még hány db 100 kN e.t.á.-ban kifejezett forgalom (F_{100}) haladhat át a teljes tönkremenetelig. Ha az összetartozó behajlás (s) és forgalom (F_{100}) értékeket grafikonon ábrázoljuk jól kitűnik, hogy a behajlások növekedésével rohamosan csökken annak a forgalomnak a nagysága, amely az élettartam végéig a pályaszerkezeten áthaladhat.



Pályaszerkezet teherbírásának változása a forgalom függvényében

Teherbírás csökkenése az idő függvényében

Szemléletes és elemzésekhez alkalmasabb forma, ha a leromlás modelljét az idő függvényében ábrázoljuk. Ekkor az évenkénti forgalom nagyságát a görbék paraméterében tüntettük fel. Ez alapján elemezni lehet a forgalom változásának hatására (pl.: a szállítójármű típusváltásának hatására) bekövetkező állapotváltozást. Az elemzéseket hasonló módon egymást követő eltérő éves forgalmakra is el lehet végezni és az út élettartamát eltérő forgalmi körülmények között kiszámítani.



Teherbírás csökkenése az idő függvényében

ERDÉSZETI UTAK FENNTARTÁSA

ÚTFENNTARTÁS CÉLJA ÉS ÉRTELMEZÉSE

Az erdészeti útfenntartásról általában

A hazai erdészeti szállítópálya hálózat gerincét kereken 3000 km hosszúságú erdészeti út alkotja, amely jelenetős nemzetgazdasági értéket képvisel. Ennek az úthálózatnak a zöme a motorizáció hazai rohamos fejlődése előtt, illetve kezdetén alakult ki és az adott időszakra jellemző fogatos és pótkocsis forgalmat figyelembe vevő paraméterekkel épült meg. A motorizáció általános fejlődésének hatására az erdészeti utak forgalmában is a tehergépkocsi vált az uralkodó szállítóeszközzé, amelynek szélessége és tengelysúlya nagyobb a korábban figyelembe vett mértékadó szállítójárművek hasonló méreteinél. A tengelysúly növekedésének kedvezőtlen hatását fokozta, hogy a kerekek a pályaszerkezet széle felé tolódtak el, amelyet a szokásos építési mód szerint függőleges széllal alakítottak ki. A pályaszerkezetek teherbírási tartalékát az így fellépő igénybevételek túllépték, ezért azok gyors tönkremenetele megindult.

A jelenlegi gazdasági helyzet az új utak építése szempontjából kedvezőtlen. Ebben az esetben az egyetlen ésszerű megoldásnak látszik, ha az adott pénzügyi feltételek között arra törekszünk, hogy a már meglévő úthálózatot megvédjük a teljes tönkremeneteltől. Ezzel mintegy felkészülünk azokra az időkre, amikor a közgazdasági viszonyok kedvezőbbé válásával a hálózat bővítését lehet folytatni anélkül, hogy egy teljesen leromlott úthálózat terheit kellene viselni.

Az útfenntartás kérdése különösen élesen vetődik fel napjainkban. Csatlakozásunk az Európai Unióhoz azt is jelenti, hogy az eddig megengedett 100 kN tengelyterhelést 115 kN-ra kellett megemelni. Mivel a tehergépkocsik kialakítása lehetővé teszi a rakomány súlyának növelését, azzal a fuvarozók élni is fognak, a megengedett tengelyterhelést ki fogják használni. Ezzel párhuzamosan megjelentek a 400–500 kN raksúlyú nehéz tehergépkocsik is, amelyek a korábban megépített erdészeti utakat erősen igénybe fogják venni. (Ezek a tehergépkocsik nem csak nagyobb teherbírású pályaszerkezetet igényelnek, hanem gyakran a vonalvezetési és keresztmetszeti elemekkel szemben is magasabb igényekkel lépnek fel, ami egyes útszakaszok átépítését, korszerűsítését is maga után vonhatja.) E két kedvezőtlen hatás eredményeként erdészeti úthálózatunk rohamos leromlása várható. Ezt a folyamatot megelőzni, vagy megakadályozni csak tudatos útfenntartással, vagy szállításszervezési intézkedésekkel egybekötött határozott forgalomkorlátozással lehet.

Útfenntartással kapcsolatban felmerülő kérdések

Egy úthálózat útfenntartási munkáinak megtervezésekor különböző kérdések merülnek fel, amelyekre választ kell adni, illetve velük kapcsolatban döntéseket kell hozni. Ezek a kérdések nagyjából így hangzanak:

- Hol? Az úthálózat mely szakaszán szükséges valamilyen beavatkozás? A választ a hálózatot alkotó útszakaszok pillanatnyi állapotának ismeretében lehet megadni.
- Mi a hiba? Pontosán meg kell határozni a hiba típusát, kiterjedését, a leromlási folyamat előrehaladásának fokát.
- Mit kell tenni? Az útfenntartás során arra kell törekedni, hogy ne csak tüneti kezelést végezzünk, hanem szüntessük meg a hibák kialakulásának okát. Ehhez ismernünk kell a hibák kialakulásának folyamatát (a kárláncot) és az út általános leromlási folyamatát.

- Mennyibe kerül? A megfelelő alternatív megoldások közül azt a változatot kell kiválasztani, amelyik a leghatékonyabb megoldást adja. Mivel az összes időszerrévé vált munka elvégzéséhez szükséges pénzügyi fedezet általában nem áll rendelkezésre, felmerül az elvégzendő munkák besorolásának problémája.
- Mikor kell a munkát elvégezni? Erre a kérdésre a beavatkozás sürgősségének eldöntésével lehet válaszolni, amit részben a meghibásodás pillanatnyi állapota, az út fontosságát kifejező igény szint, és a leromlási folyamat határoz meg. A sürgősség eldöntésénél, vagyis a munkák ütemezésénél minden esetben azt kell mérlegelni, hogy a későbbre elhalasztott munkálatoknak milyen műszaki és ennek vonzataként mekkora pénzügyi következményei lesznek.

Az útfenntartás hatékonyságának egyik alapja a folyamatosság, tehát a vele kapcsolatos kérdések is folyamatosan merülnek fel az út élettartama alatt. A választ ezekre változó körülmények között kell úgy megadni, hogy a beavatkozások minden időben a lehető leghatékonyabbak legyenek. Ennek érdekében ismerni kell az út leromlási folyamatát, valamint azt, hogy egy-egy útfenntartási munka elvégzése vagy elhagyása hogyan befolyásolja ezt a folyamatot. Az útfenntartási tevékenység akkor lesz hatékony, ha azt a leromlási folyamattal összhangban végezzük el.

Az út pillanatnyi állapotát kialakító tényezők

Az utak pillanatnyi állapota a különböző komplexen együttdolgozó tényezők együttes hatására az élettartam alatt folyamatosan alakult ki. Ezeknek a tényezőknek a hatása eltérő lehet aszerint, hogy azok kedvezően az út állapotát javítják vagy kedvezőtlenül rontják, illetve, hogy hatásuk folyamatosan vagy csak esetenként jelentkezik-e. Mivel az útfenntartási beavatkozásokat a meghibásodásnak megfelelően mindig az út pillanatnyi állapota határozza meg, meg kell ismerni a hatótényezők főbb csoportjait.

Az út akkor van a legjobb állapotban, amikor azt a forgalomnak átadják. Ezt az állapotot a beruházó, tervező és kivitelező közös munkája hozza létre, és később alapvetően meghatározza az út leromlási folyamatának lejátszódását.

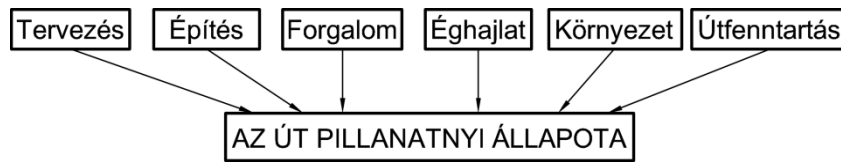
A tervezés, mint hatótényező alapvetően megszabja és kedvezően vagy kedvezőtlenül befolyásolja az elkészült utak állapotváltozását. A kivitelezés, mint hatótényező ugyancsak alapvető fontosságú és kedvező vagy kedvezőtlen befolyásoló tényező lehet. Kedvező előfeltételek között a forgalom hatására az állapotváltozás lassabban, míg kedvezőtlen feltételek között gyorsabban következik be.

Az éghajlat: a forgalom mellett folyamatosan ható és az útállapot leromlását közvetlenül előidéző ok. Hatásának intenzitását erősen befolyásolja a tervezés és építés idején létrehozott állapot, valamint a forgalom nagysága.

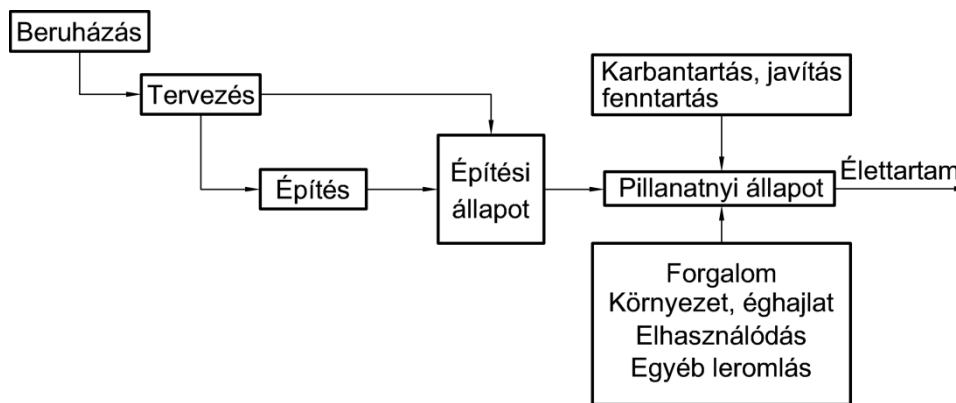
A környezeti tényezők hosszútávon éreztetik hatásukat, befolyásuk akkor válhat jelentőssé, ha tervezéskor nem vették figyelembe meglétüket, vagy az idők folyamán a tervezési állapothoz képest jelentősebb változás következett be. Hatásuk lehet kedvező vagy kedvezőtlen. A kedvezőket általában nem vagy csekély mértékben érzékeljük a kedvezőtlenek azonban markánsan jelentkeznek, ezért inkább ezeket érzékeljük.

Az egyéb okok közé azokat a tényezőket sorolhatjuk, amelyek esetleges jellege az előbbiekhöz képest rövidebb ideig hatnak. (Pl.: nem rendeltetésszerű használat stb.) Szintén kedvezőtlen hatásuk jellemzi őket.

Az útfenntartás állagmegóvó és javító tevékenységével az utak állapotát egyértelműen kedvező irányba változtatja meg. A leromlási folyamat lassításával az út használhatóságát meghosszabbítja, élettartamát megnöveli. A szakszerűtlenül végzett útfenntartás azonban csak tüneti kezelést ad, a hibák kialakulásának okát nem szünteti meg, hatékonyan a használhatóságot és az élettartamot sem növeli meg.



Az út pillanatnyi állapotát befolyásoló tényezők



A pillanatnyi útállapot kialakulása

Az út élettartama alatt végzett tevékenységek

Az útfenntartási tevékenységeket az alábbiak szerint csoportosíthatjuk:

- üzemeltetés,
- állapotfenntartás,
- fejlesztés.

Üzemeltetés

Azokat a tevékenységeket, amelyek a pálya és környezet műszaki jellemzőinek megváltoztatása nélkül biztosítják a biztonságos és gazdaságos gépjármű közlekedést, üzemeltetésnek nevezzük. Az üzemeltetés feladata, az út üzemének és rendeltetésszerű használatának biztosítása és a váratlanul bekövetkező eseményekből vagy rendellenes használatból származó károk, üzemzavarok egyszeri, egyedi elhárítása. Az erdészeti utakkal kapcsolatos üzemeltetési feladatok a következők:

- üzemi feltételek biztosítása,
- információk beszerzése, útellenőrzés, útfelügyelet,
- forgalom befolyásolása,
- üzemi létesítményekkel kapcsolatos munkák.

Az erdészeti utakon az üzemi feltételek biztosításával összefüggő munkák alkotják az útüzemeltetés súlypontos feladatait, mert az erdőgazdálkodással összefüggő tevékenységek – főként a fakitermelés és szállítás – közben sok olyan hiba keletkezik, amely az út szempontjából üzemzavart okoz (árkok

betöltése, kérgezés a burkolaton, sárfelhordás, stb.) Ezek további romlások kezdetei lehetnek, ezért megszüntetésük az út üzemeltetőjének elsőrendű feladata.

Az információk beszerzése, útellenőrzés, útfelügyelet az a tevékenység, amely hozzájuttat azokhoz az ismeretekhez, amelyek alapján az elvégzendő munkákat meghatározhatjuk, illetve különböző intézkedéseket hozhatunk. Az útfelügyelet keretében olyan információkat kell beszerezni, amelyek alapján meghatározhatók azok a munkák, amelyekkel az üzemi feltételeket biztosítani lehet. Az útellenőrzéskor időszakonként azokat az adatokat kell összegyűjteni, amelyek az útfenntartás rövid és hosszú távú tervezéséhez szükségesek, valamint ennek feladata az elvégzett munkák ellenőrzése és minősítése is.

A forgalom befolyásolásának feladata nem játszik jelentős szerepet az erdészeti utakon. A forgalmi rend meghatározásakor a legegyszerűbb megoldásokra törekszünk, tehát ennek fenntartása sem okoz jelentős problémát. Komolyabb feladatot jelenthetne a forgalomkorlátozások szakszerű elrendelése a fagyveszélyes talajokon épült erdészeti utakon a télvégi veszélyes időszakokban.

Az üzemi létesítményekkel kapcsolatos munkák végeredményben az úttartozékok megőrzésére és pótlására, a pihenőhelyek tisztítására és javítására szorítkozik. Ennek elsősorban a turizmust szolgáló erdészeti utakon van nagyobb jelentősége.

Állapotfenntartás

Azokat a főként építés jellegű tevékenységeket, amelyeknek célja, hogy az út rendeltetésszerű használatából adódó leromlási folyamatokat lassítsa, valamint időszakonként az új útállapotot megközelítő minőséget hozzon létre, állapotfenntartásnak nevezzük. Ez a tevékenység az út néhány vagy összes tulajdonságát megjavítja.

A beavatkozás mélysége szerint az elvégzendő munkákat három csoportba sorolhatjuk:

- javítás,
- karbantartás,
- felújítás.

Javításról beszélünk, ha helyi, lokálisan kialakuló meghibásodásokat állítunk helyre azért, hogy a hibák elfajulását a leromlási lánc megszakításával megakadályozzuk. Ezekkel a munkákkal nem célunk az útállapot javítása, elvégzése azonban fontos, mert ez biztosítja azt, hogy az út leromlási folyamata normálisnak tekinthető ütemben folyjon le. A munkákat a hiba kialakulásának kezdetén kell elvégezni, amikor az még egyszerű és olcsó módszerrel megszüntethető. Előre tervezni nem lehet, mert sok véletlenszerű tényező befolyásolja.

A *karbantartási* munkák elvégzésekor az a célunk, hogy hosszabb útszakaszon egységes műszaki állapotot hozunk létre, így a leromlási folyamatot is lelassítjuk. Ezért egy-egy hosszabb útszakaszt egy vagy több szempontból az új út állapotának megfelelő vagy azt megközelítő állapotba hozunk. Ez a beavatkozás általában az egész felületre kiterjed, vékony rétegek beépítésével. A beavatkozás időpontja előre megtervezhető.

*Felújítás*kor az út valamennyi paraméterét az új állapotnak megfelelően szintre kell emelni. Kimondottan építés jellegű beavatkozás, amelyet az út fő szerkezeti részeinek tönkremenetelekor kell elvégezni. Lényeges jellemzője, hogy a pályaszerkezetet egy méretezett réteg építésével

megerősítjük úgy, hogy az egy meghatározott időszak (10–15 év) forgalmát elviselje. Ez a munka lényegében tehát egy elhasználódott érték pótlásának tekinthető.

Fejlesztés

Minden olyan tevékenységet fejlesztésnek nevezünk, amelynek az a célja, hogy az eredeti építési állapothoz viszonyítva jobb műszaki jellemzők biztosításán keresztül a gépjármű közlekedés igényeit magasabb színvonalon elégítsük ki. Ezeket a tevékenységeket általában a beruházások körébe utalhatjuk. Ilyenek például a:

- pályaszerkezet szélesítése,
- pályaszerkezet megerősítése,
- korszerűsítés, helyileg vagy átfogó jelleggel.

Az erdészeti utakon fejlesztésnek tekinthető munkákat ritkán kellett végezni, mert azok a követelmények, amelyeket ezekkel az utakkal szemben támasztunk, a viszonylag egységes forgalom miatt hosszútávon jól rögzíthetők, valamint tervezésük is hosszú távú tervek – az Erdőfeltárási Alaptervek – adatai alapján történik. Gondos tervezés után csak ritkán fordulhatott elő olyan szélsőséges állapot, amikor az út fejlesztése szükségessé válik.

Útfenntartási politika

Az utak tönkremenetelét az útfenntartással tudjuk lassítani, vagy megakadályozni. Az időben elhúzódó tevékenységet összehangolni csak úgy lehet, ha hasonlóan a pályaszerkezet-gazdálkodáshoz kialakítunk egy hosszútávon érvényes alapelvet – az útfenntartási politikát – amely összehangolja és szervezi tevékenységünket.

Az út egyes részei különböző módon és eltérő ciklusban mennek tönkre. Az útfenntartási politikának össze kell hangolni a különféle leromlási folyamatokat megállító útfenntartási munkákat. Ehhez hosszú távú elképzeléseket kell kidolgozni, amely az útfenntartási politika stratégiája lesz, amit az út pillanatnyi állapota szerint a taktikában valósíthatunk meg.

A stratégia kialakítását az út leromlási folyamatának ismeretében kellene meghatározni. A teljes út tönkremenetelének leírása ma még nem modellezhető, ezért ki kell választani az út mértékadó elemét, erre ki kell dolgozni, a megfelelő útfenntartási politikát, majd ezzel összehangolni az út többi részének fenntartási munkáit.

Az út mértékadó része a pályaszerkezet, amelynek fenntartásához kell igazítani a többi tevékenységet. A pályaszerkezet fenntartásának politikáját a pályaszerkezet gazdálkodási politikában már rögzítettük, az mértékadóan meghatározza a többi beavatkozás várható idejét és módját.

Az erdészeti útfenntartási politika stratégiája szerint a pályaszerkezet fenntartását a pályaszerkezet-gazdálkodási stratégia szerint kell elvégezni. A pályaszerkezeten kívüli részek fenntartását ezzel összhangban kell végezni a következőképpen: a pályaszerkezeten kívül minden esetben el kell végezni a szükséges beavatkozásokat és az új állapotnak megfelelő színvonalat létre kell hozni, amikor a pályaszerkezeten karbantartási vagy felújítási munkákat végzünk. A közbenső időszakban a beavatkozásokat egy – a szerkezeti részre (padka, árok stb.) jellemző és a helyi viszonyokhoz (talaj, növényzet stb.) alkalmazkodó – ciklus szerint kell elvégezni, illetve be kell avatkozni akkor is, ha szakaszonként, vagy teljes hosszban károsodások alakulnak ki.

A helyesen kialakított és alkalmazott fenntartási politika hosszútávon létrehoz egy ciklust, amelyben a beavatkozásokat tudatosan az út leromlásának függvényében hajtjuk végre (stratégia). Mivel az útfenntartási politika a mindenkori útállapot szerint dönti el a beavatkozás szükségességét és módját, ezért a közvetlen beavatkozások eldöntésénél váratlanul bekövetkező helyzetekhez rugalmasan lehet alkalmazkodni (taktika).

ÚTFENNTARTÁSI RENDSZER

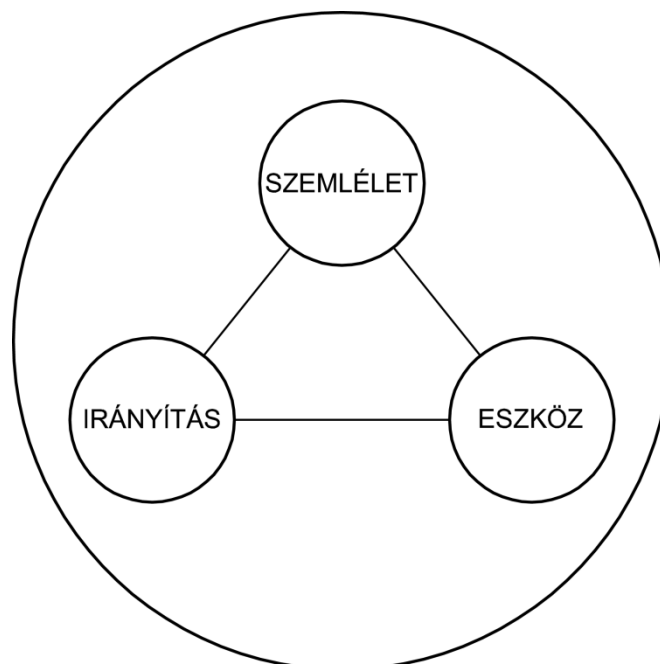
Útfenntartási rendszerről általában

Az útfenntartási politika megfelelő érvényesítésére ezért létre kell hozni egy olyan rendszert, amely

- a folyamatosan kapott és feldolgozott információk alapján döntéseket hoz,
- irányít egy hatékony útfenntartási műszaki, technológiai bázist,
- az egyes részfeladatokat az összefüggések alapján szervezi és egységbe foglalja,
- megteremti saját optimális működési feltételeit.

A gazdálkodási egységek területén az útfenntartási rendszernek három síkon kell megnyilvánulni

- útfenntartási szemléletként, amely alapvetően átfogja és összehangolja az összes üzleti tevékenységet és ezzel megteremti a hatékony útfenntartás alapjait;
- irányítási rendszerként, amely érvényesíti az alapvető szemléletet a begyűjtött és feldolgozott információk alapján, dönt a beavatkozások helyéről, módjáról, idejéről, valamint megteremti és mozgatja a rendelkezésre álló eszközzel;
- eszközzel, amely magában foglalja a végrehajtáshoz szükséges összes személyi, műszaki és technológiai eszközt, amely az útfenntartással összefüggő összes munkák elvégzéséhez szükséges.



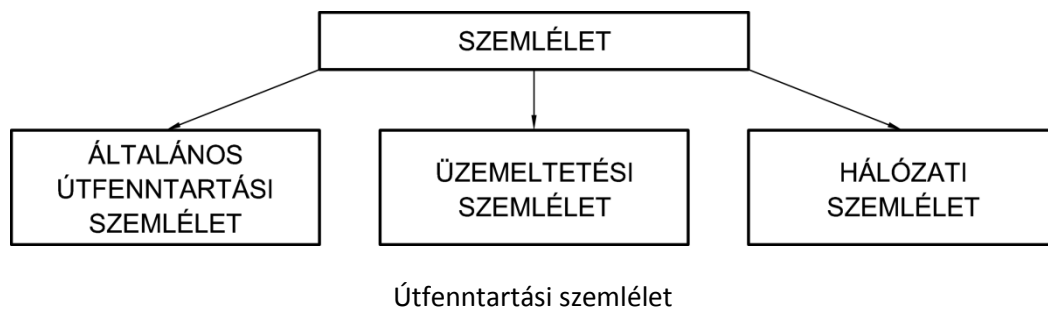
Útfenntartási rendszer

Útfenntartási szemlélet

A hatékony útfenntartás alapjait csak úgy lehet megteremteni, ha minden tevékenységünket egy általános útfenntartási szemlélettel végzünk. Az út állandó jó állapotának biztosításához e mellett szükség van egy megfelelő üzemeltetési szemléletre, a munkák besorolásánál pedig a teljes hálózatot figyelembe vevő hálózati szemléletre. Ennek megfelelően az útfenntartási szemléletnek

- általános útfenntartási szemléletként,
- üzemeltetési szemléletként,
- hálózati szemléletként

kell megjelenni.



Általános útfenntartási szemlélet

Az utakkal kapcsolatos tevékenységeket alapvetően eltérő jellegük alapján:

- tervezésre,
- építésre
- fenntartásra

oszthatjuk.

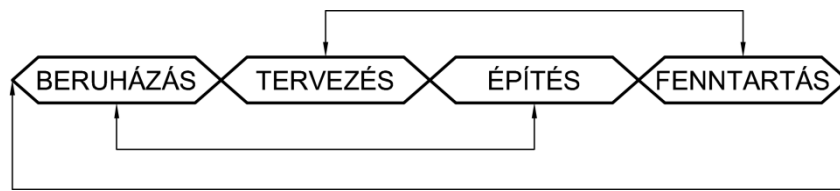
Annak ellenére, hogy ezeket a tevékenységeket eltérő időben, esetenként különböző szervezetek végzik, az egyes részek között mégis szoros kapcsolat áll fenn. Ennek a kapcsolatnak az alapja az a közös törekvés, hogy a forgalom számára minden időben olyan kedvező feltételeket biztosítsunk, hogy az biztonságos és gazdaságos legyen.

A forgalom és a kiépítettség színvonala közötti összhangot egy bizonyos alsó határ fölött különböző mértékben lehet megteremteni. A kérdés ekkor az, hogy milyen színvonalon elégszük ki az igényeket? Erdészeti utak esetében ezt a kérdést közgazdasági oldalról kell megközelíteni. Adott szállítási, forgalmi igénybevétel mellett annak az úttípusnak az alkalmazása a leggazdaságosabb, amelynek építési, útfenntartási és közlekedési költsége az út élettartama alatt minimumot ad.

Útfenntartás szempontjából a korszerű út nem jelenti egyértelműen azt, hogy az út a legkorszerűbb műszaki újításokat felhasználva épült, hanem a korszerűséget inkább az jellemzi, hogy az út a forgalmi, üzemeltetési és egyéb igényeket (pl. környezetvédelem, természetvédelem) együttesen optimálisan elégíti ki. A vázolt követelményeket kielégíteni és az optimális megoldást megtalálni csak úgy lehet, ha minden egyes résztevékenységet úgy végzünk, hogy az útfenntartás igényeit messzemenően figyelembe vesszük, és az egyes résztevékenységek között szoros, kétirányú kapcsolat áll fenn.

Az általános útfenntartási szemlélettel elsősorban a beruházónak, a tervezőnek és a kivitelezőnek kell rendelkezni, pontosan és tudatosan felmérve munkájuk útfenntartási kihatásait. Az út fenntartójának

saját munkájában megvalósított általános szemlélet mellett elsőrendű feladata a tapasztalatok összegyűjtése és közreadása, valamint ennek a szemléletnek a tudatosítása.



Általános útfenntartási szemlélet érvényesülése

Üzemeltetési szemlélet

Az út élettartama alatt fellépő váratlan és sokszor elháríthatatlan meghibásodások megbontják az út és a forgalom között kialakított összhangot, esetenként annak tönkremenetelét gyorsítják. Az út ezért nem tudja a vele szemben támasztott igényeket megfelelő szinten kielégíteni, röviden az út üzemi állapota leromlik. A forgalom biztonságos és gazdaságos lebonyolítása érdekében a hibákat sürgősen helyre kell állítani, újra megteremtve a szükséges összhangot. Ehhez a különféle munkálatoknak széles skáláját kell elvégezni, amely felöleli az üzemeltetési és állapotfenntartási munkákat is. Ezeket a munkákat úgy kell elvégezni, hogy az út „üzemében” hosszú ideig törés ne legyen. Az üzemeltetési szemlélet szerint tehát törekedni kell:

- az üzemzavarok kialakulásának megelőzésére,
- a kialakult hiányosságok gyors megszüntetésére,
- a munkák folyamatos végzésére.

Az üzemeltetési szemlélettel már egyértelműen az útfenntartással foglalkozóknak kell rendelkezni. Ezek közül is elsősorban azoknak, akik az út üzemeltetési feladatait látják el azért, hogy saját hatáskörben tudják a legégetőbb beavatkozásokat elvégezni. Az olyan feladatokat, amelyek meghaladják szervezetének lehetőségeit, azokat egy információs vonalon keresztül jelezni kell az irányítási rendszer felé, hogy az a további intézkedéseket ugyanilyen szemlélettel megtegye.

Az erdészeti gyakorlatban az út üzemeltetője az erdészet. A legtöbb üzemeltetési feladat a fahasználatok után keletkezik, amikor a rézsűk, árkok, padkák tönkremennek, a pályaszerkezet elszennyeződik. Ezeket a hibákat a fahasználat után, annak terhére kell helyreállítani, illetve olyan megelőző intézkedéseket kell hozni, amivel a károk kialakulása megelőzhető.

Hálózati szemlélet

Az erdészeti útfenntartási rendszer vonatkozásában egységként az erdőgazdaságot kell tekinteni, mert ő az út „tulajdonosa”, és ő rendelkezik minden olyan eszközzel (pénzügyi, műszaki, személyi stb.), amellyel az útfenntartást el lehet végezni. Ennek az egységnek pedig nem lehet célja, hogy egy-egy utat kiváló minőségben fenntartsa a hálózat többi útjának leromlása mellett, hanem az, hogy a teljes úthálózaton egy megfelelő, átlagos színvonalat biztosítson. A korlátozottan rendelkezésre álló erőforrások miatt mindenhol nem lehet hatékonyan beavatkozni, a szükséges munkálatokat sorrendbe kell állítani. Az ésszerű sorrendet pedig csak az egész hálózat összes problémájának ismeretében lehet felállítani.

A másik szempont, ami a hálózati szemlélet mellett szól az, hogy a korlátozott nagyságú erőforrásokat tovább lebontva alacsonyabb szintekre (erdészetekre, utakra stb.) olyan kis kapacitású lehetőségeket teremtünk meg, amellyel hatékonyan egyik helyen sem lehetne beavatkozni. Ennél

célszerűbb a már említett sorrend felállítása, amely egyes utakon meghagy bizonyos megoldatlan problémákat, de ennek árán más utakon hosszabb időszakra érvényes véglegesnek tekinthető állapotot hoz létre.

A hálózati szemlélet biztosítja tehát, hogy:

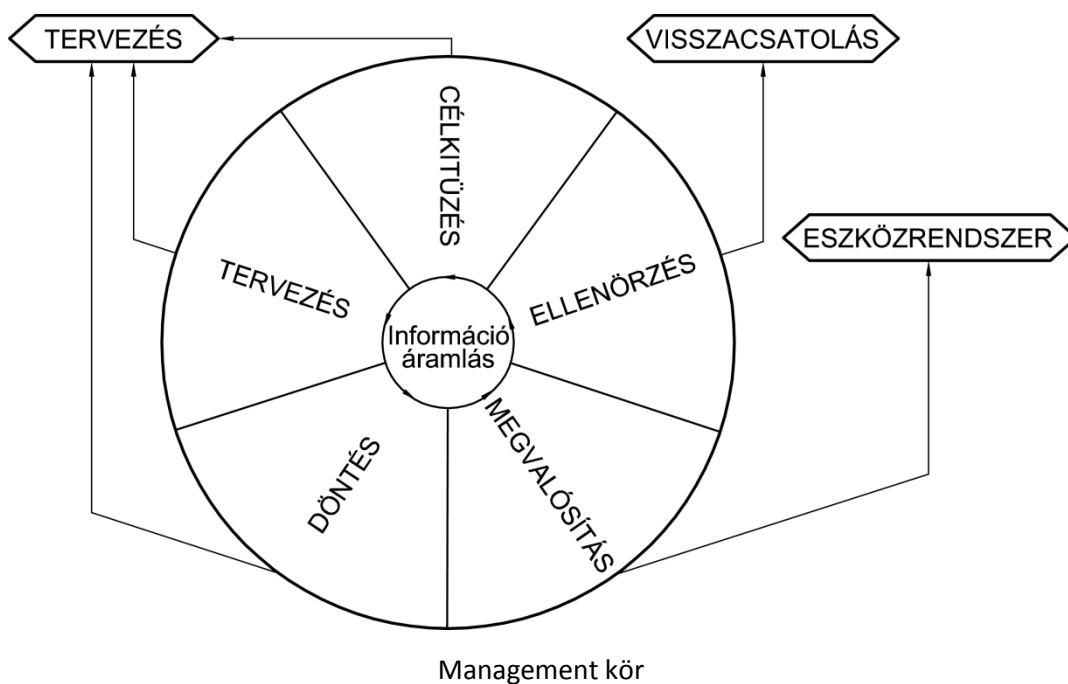
- a beavatkozások sürgősségét a teljes hálózat problémájának ismeretében lehessen megítélni,
- megakadályozza az erőforrások felaprózását a minimálisan hatékony szint alá.

Hálózati szemlélettel alapvetően az útfenntartási munkák irányítóinak kell rendelkezni. Az út üzemeltetőjétől bizonyos lojalitást lehet elvárni annyiban, hogy a reá nézve hátrányosnak tűnő döntéseket elfogadja, bízva a döntést hozók elfogulatlanságában szélesebb információs skálán nyugvó ítéletében.

Az útfenntartás irányítási rendszere

Az útfenntartási rendszer belső rendjének megteremtéséhez egy olyan irányítási rendszer szükséges, amely a részfeladatok és munkák közötti kapcsolat ismeretében, a fenntartási rendszer eszközeinek segítségével megteremti a közlekedési rendszer összhangját. Az irányítási rendszer alapja az ún. "management" rendszer, amelyet az útfenntartási tevékenységek minden szintjén alkalmazni kell.

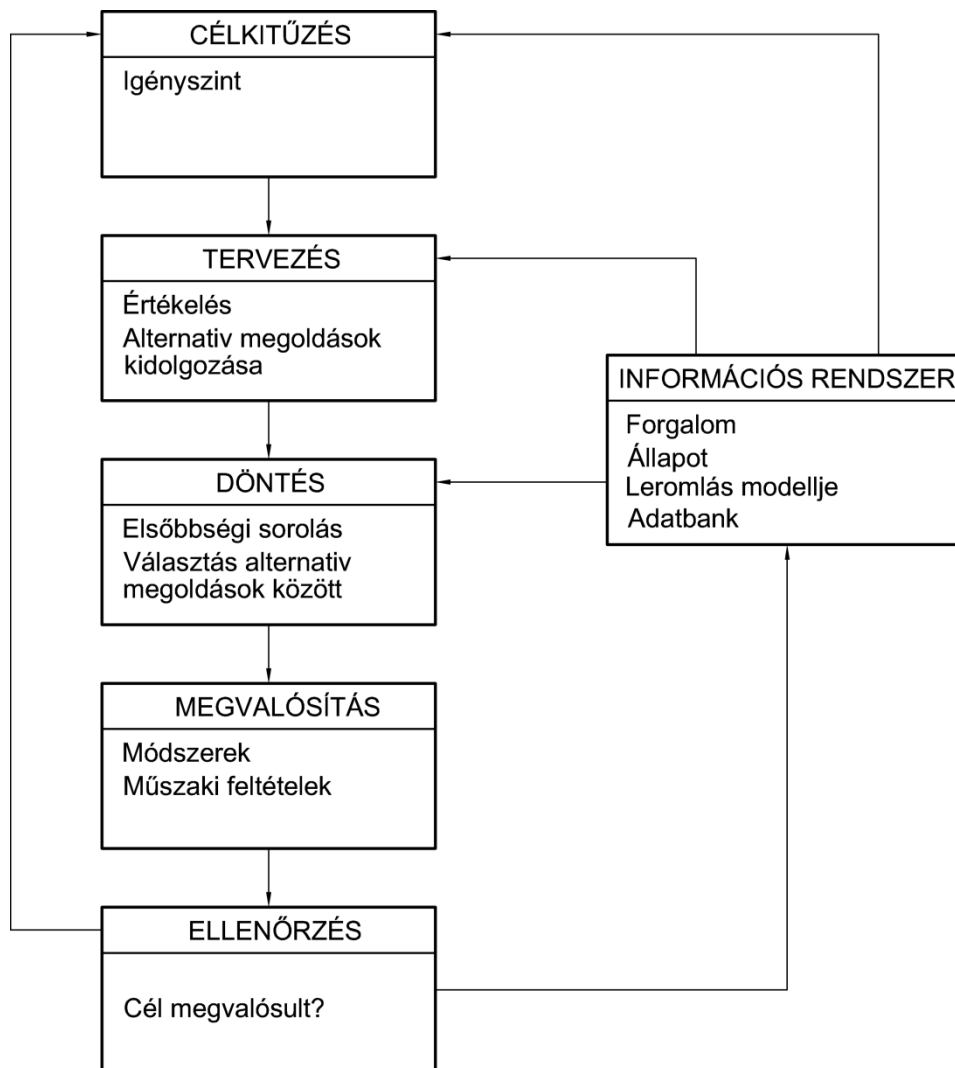
A rendszer elemei közötti kapcsolatot és összhangot az információs rendszer biztosítja. Az információáramlástól megkövetelt, hogy gyors és két irányú legyen. A rendszertől nagyfokú rugalmasságot követelünk. Az egyes tevékenységek időbeli sorrendje és tartalma nem tekinthető merev sémának. A sorrend rugalmasan alakítható, és tartalma a korábbi tevékenységektől függ. Lehetőség van pl.: ebben a rendszerben arra, hogy a döntések meghozatala fázisban a célkitűzéseket módosítsuk, majd a megvalósítást folytassuk. A rendszer rugalmassága azonban csak úgy használható ki, ha a naprakész információk zavartalan és folyamatos áramlása biztosított.



Útfenntartási management

Az útfenntartási „management” rendszer is az általános tevékenységi körfolyamatból vezethető le. A rendszer egyes fő elemei maguk is több egységből állnak, amelyeket az irányítás alrendszerének tekinthetünk. Az erdészeti útfenntartás irányítási rendszere ezeknek az alrendszereknek a logikai kapcsolatából alakul ki.

Jelenleg az erdőgazdaságoknál az erdészeti útfenntartás rendszere gyakorlatilag hiányzik. A rendszertelenül végzett útfenntartás miatt ezzel kapcsolatban igény sem merült fel eddig ennek kialakítására. A rendszerszemléletű útfenntartás bevezetése azonban nem nélkülözheti ezt, ennek létrehozása elsőrendű fontosságú.



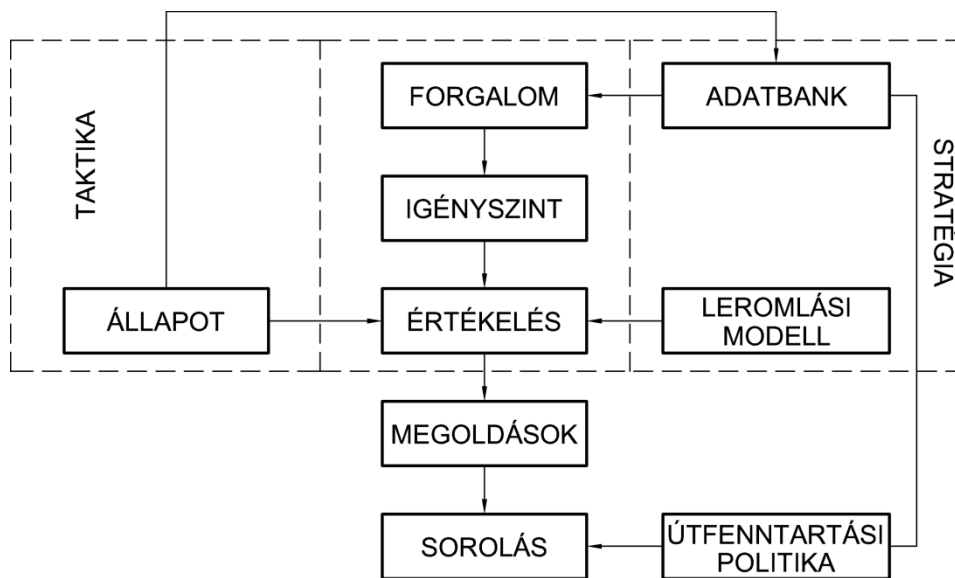
Útfenntartási management

Az irányítási rendszer belső kapcsolatai

Az irányítási rendszer hatékonyságának fokozása érdekében az alábbi kutatásokra volt szükség:

- Ki kellett dolgozni a forgalomelemzés módszerét, amelynek segítségével útszakaszonként megállapíthatjuk a forgalom nagyságát rövid, közép és hosszútávon, valamint a forgalom változásának tendenciáját;

- Ki kellett alakítani az állapotfelvevél és értékelés eljárásait. Ennek keretében meg kellett határozni az erdészeti útfenntartás szempontjából lényeges állapotjellemzőket, ki kellett dolgozni, vagy adaptálni kellett az állapotfelvevél módszerét, meg kellett határozni a felvételek időbeni sorrendjét és gyakoriságát, ki kellett alakítani a minőségi osztályozás módszerét, majd ezzel összefüggésben az értékeléshez szükséges igényszintet is meg kellett állapítani;
- Az előrejelzés lehetővé tétele érdekében meg kellett vizsgálni a meglévő, illetve ki kellett alakítani a hiányzó leromlási modelleket;
- Meg kellett teremteni az adatbank kialakításának alapelveit;
- Ki kellett dolgozni az elsőbbségi sorolás szempontjait.

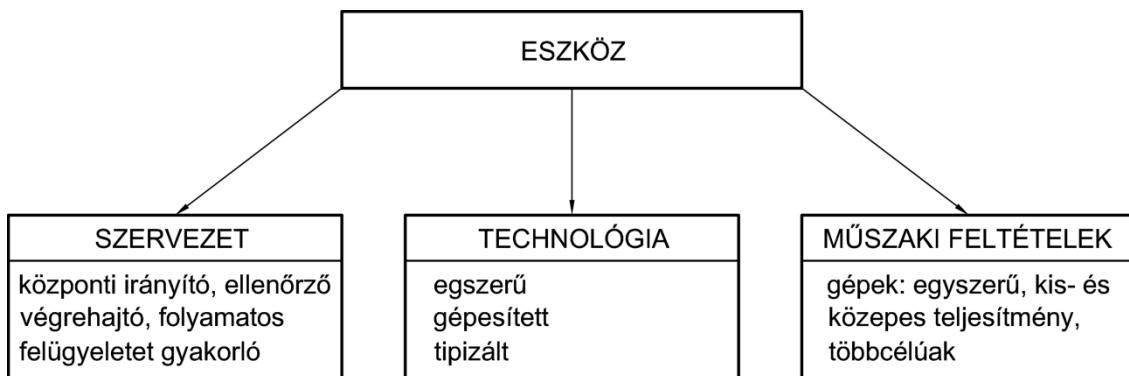


Az irányítási rendszer belső kapcsolatai

Az útfenntartás eszközszerkezete

Az útfenntartás eszközszerkezetehez soroljuk az útfenntartás:

- szervezetét,
- technológiáját,
- műszaki feltételeit.



Az útfenntartás eszközszerkezete

Az útfenntartás szervezete

Az útfenntartás rendszer elvű végrehajtása nem nélkülözhet egy olyan önálló szervezetet, amely beépül az erdőgazdaság irányítási és végrehajtási rendszerébe. Ez azonban nem jelenti új szervezeti egységek létrehozását, helyesebb, ha a meglévő szervezet bizonyos átalakításával, hatáskörök, feladatok módosításával hozzuk ezt létre. A szervezet részei:

- a központi irányító és ellenőrző,
- a végrehajtó,
- a folyamatos felügyeletet gyakorló egységek.

Mivel ezeket az egységeket egy adott feltételekkel rendelkező struktúrába kell beilleszteni, kialakításukra sémát nem lehet kidolgozni, csak annak alapelvei határozhatók meg. Lényeges ennek során tisztázni, hogy a szervezetben ki milyen munkák elvégzéséért felelős és a munkavégzéshez szükséges anyagi fedezetet milyen forrásból kell biztosítani.

Központi irányító és ellenőrző egység

Fő feladata az útfenntartás irányítási rendszerének kézbentartása, valamint az összes útfenntartási munka ellenőrzése.

Ezt a munkát az erdőgazdaság valamely központi – általában műszaki osztályán kell elvégezni. Itt alkalmazni kell egy olyan munkatársat – az útfenntartási előadót – akinek elsődleges munkaköre, feladata az útfenntartás irányításához kapcsolódik, további munkát csak ennek alárendelve végezhet.

Tapasztalataink és elemzéseink szerint a beindított útfenntartási rendszer működtetéséhez szükséges munkaerők száma az úthálózat hosszának függvényében az alábbi:

- 150–200 km hosszú úthálózatnál 0,5 fő
- 200–300 km hosszú úthálózatnál 1,0 fő
- 300 km-nél hosszabb úthálózatnál 1,5 fő

A ki nem töltött munkaidőben ezek a munkatársak célszerűen, mint műszaki ellenőrök tevékenykedhetnek. Mintegy 300 km úthossz felett már egy ember a szükséges munkákat nem tudja elvégezni, ezért ezen a területen még egy munkatársat kell alkalmazni.

Végrehajtó egység

Az állapotfenntartás fogalmkörébe tartozó javítási, karbantartási és felújítási munkákat, amelyeket a pályaszerkezeten, földművön, úttartozékokon és műtárgyakon kell elvégezni, egy önálló kivitelező egységgel kell megoldani. Ez az egység nagyobb úthálózattal bíró erdőgazdaságoknál célszerűen a műszaki erdészeti keretében létrehozott önálló építésvezető irányítása alatt álló, csak útfenntartási céllal működtetett és felszerelt egység lehetne. Kisebb úthálózatok esetében a meglévő útépitési kapacitást kell az útfenntartás céljaira felhasználni. Amennyiben az erdőgazdaság saját útfenntartási egységgel nem rendelkezik, akkor egy olyan idegen vállalatot kell ezekkel a munkákkal megbízni, amelynek tapasztalatai vannak az állapotfenntartási munkák elvégzésében.

Az állapotfenntartás körében elvégzendő munkákat alapvetően az útfenntartás irányítási rendszer határozza meg központilag, valamint a munkák pénzügyi fedezetét is innen kell biztosítani a mindenkori rendelkezések szerint. Nagyobb munkákat (mint pl.: felújításokat) idegen szakvállalatokkal is el lehet végeztetni, ha az erdőgazdaság megfelelő saját kapacitással nem

rendelkezik. Az állapotfenntartási tevékenységet, különösen, ha az a pályaszerkezettel kapcsolatos, nem szabad az erdészetek kezébe adni, mert az átfogó koncepció ismerete nélkül és a hiányos feltételek (pénzügyi, szakmai stb.) miatt csak ritkán sikerül szakmailag kifogástalan megoldásokat megvalósítani. Kivételt képeznek ezek közül a műszelvényen elhelyezkedő növényzettel kapcsolatos munkák (fűkaszás, cserjeirtás stb.), amit automatikusan, minden évben, különösebb központi iránymutatás nélkül lehet elvégezni. Ezeket a munkákat az erdészetek is elvégezhetik.

Az üzemeltetés fogalmkörébe sorolt munkák szétbontása már nem ilyen egyértelmű, a terheket közösen kell vállalni a központi egységeknek és az utat zömmel használó, ezért üzemeltetőnek tekinthető erdészeteknek. A munkák a következőképpen oszthatók fel:

- Az üzemi feltételeket elsősorban az erdészeteknek kell megteremteni és fenntartani főként saját anyagi forrásaikra támaszkodva, mert azokat saját tevékenységük szünteti meg. Elsősorban a fakitermelés és a szállítás gondatlan és szervezetlen végzése támaszt üzemzavart, ami kellő előrelátással csökkenthető. Mivel ezek az erdőgazdálkodással szorosan összefüggő tevékenységek nem végezhetők úgy el, hogy az úton semmiféle rongálódás ne lépjen fel, ezért a költségek egy minimális részét központilag kell viselni és azt az erdészetekhez az úthálózat hosszától függően fix összegben át kell utalni. Az indokolatlan többletköltségeket az üzemeltető erdészetnek kell viselni, ami bizonyos fokig ösztönöz a jobban átgondolt munkavégzésre, és arra, hogy a szükségesnél jobban ne rongálják az út állapotát, illetve esetenként olyan intézkedéseket hozzanak, amelyekkel a nagyobb károk megelőzhetők. A konkrét munkák közül az erdőgazdálkodás tevékenysége miatt megsérült padkát, árkot, rézsút az erdészetnek saját hatáskörben helyre kell állítani, a sárfelhordásokat ugyanígy meg kell szüntetni. A pályaszerkezeten hasonló okból bekövetkező károkat az útfenntartással foglalkozó egységnél kell megrendelni, amely az elvégzett munkát az üzemeltető erdészet felé leszámlázza. Nem kötelezhetők viszont az erdészetek a váratlan elemi károkból származó meghibásodások megszüntetéséhez szükséges terhek viselésére. Az ilyen jellegű munkák költségeit központilag kell viselni, helyreállításukról vagy az erdészet, vagy nagyobb károknál a végrehajtó egység gondoskodik.
- Az üzemi létesítményekkel összefüggő üzemeltetési feladatokat az illetékes erdészeteknek kell elvégezni, a költségeket központilag kell viselni, mivel ezek a problémák elsősorban a turizmust is szolgáló utaknál jelentkeznek.
- Információgyűjtést, úttellenőrzést, mint útüzemeltetési feladatot a központi irányítási szervezetnek kell végezni. Évente legalább kétszer, egyszer tavasszal és egyszer ősszel, a központi útfenntartási előadó utazza be az utakat, miközben véleményt formál az utak állapotáról és az útfenntartási munkákról, valamint az útfelügyelőket is ellenőrzi. Az útállapot felvételének rendje szerint végezze vagy végeztesse el az aktuális részletes útállapot felvételt, majd az összes befutó adatot gyűjtse az adatbankba. Ugyancsak feladata a rövid és hosszú távú forgalmi elemzések elvégzése és az ehhez szükséges adatok beszerzése.

A forgalmi rend kialakítását az érvényes jogszabályok szerint kell elvégezni, fenntartását az útfelügyelő hatáskörébe célszerű besorolni.

Folyamatos felügyeletet gyakorló egység

A folyamatos felügyelet munkáját korábban az útüzemeltetés tevékenységi körébe soroltuk, de mint szervezeti egységet külön kell kezelni. Az útfelügyelet kérdésének megoldására ki kell építeni a korábban már elterjedten működő, de jelenleg megszűnt útfelügyeleti beosztáshoz hasonlóan egy valamivel magasabb szintű útfelügyelői rendszert. Ezeknek a motorizált és egyszerű eszközökkel rendelkező útfelügyelőknél a feladata lenne, hogy rendszeres időközönként és feltételezett káros események (felhőszakadás stb.) után a gondjaikra bízott utakat beutazzák, a kisebb üzemzavarokat gyorsan elhárítsák, a nagyobb üzemzavarok elhárítására az illetékesek figyelmét felhívják, bizonyos üzemeltetési feladatokat rendszeresen ellássanak, és folyamatosan ellenőrizzék az erdészetek üzemeltetői tevékenységét. Személyük a végrehajtó szervezethez tartozzon, költségeit központosan fedezzék. Mint az információs rendszer tagja, az utakkal kapcsolatos észrevételeiket, tevékenységüket és intézkedéseiket a központi irányítás felé mint információkat juttassák el.

Az útfelügyelői körzetek nagyságát a helyi viszonyok (a hálózat térbeli tagolódása, üzemeltetési feladatai stb.) alapján annak megfelelően kell kialakítani.

Útfenntartási technológia

Az útfenntartási technológia és az útfenntartás műszaki bázisát egymással összehangoltan kell kialakítani. A rendszer szempontjából mégis az útfenntartási technológiát kell – nagyobb kötöttségei miatt – a mértékadónak tekinteni, amihez a megfelelő műszaki bázist hozzá kell rendelni. Az útfenntartási technológia hatékonyságát és gazdaságosságát úgy biztosíthatjuk, ha az:

- egyszerű,
- tipizált,
- gépesített.

Miután az erdészeti utak önmagukban egyszerű szerkezetek, ezért az állapotuk fenntartása érdekében sem kell bonyolult módszerekkel dolgozni, sokszor csak azért, mert az éppen a legmodernebbnek tekinthető, vagy máshol, más körülmények között nagy hatékonysága bizonyított. Természetesen a műszaki fejlődéstől sem szabad elzárkózni, azt kellő körültekintéssel feltétlenül alkalmazni kell. Az egyszerű technológia megalapozza annak a lehetőségét, hogy a kialakítandó műszaki bázis se legyen bonyolult.

Az útfenntartási technológia hatékonysága szempontjából alapvetően fontos még, hogy az a teljes úthálózaton azonos legyen és megfelelően gépesíthető legyen. Meg kell ezért határozni azt, hogy az adott úthálózaton melyek azok a módszerek, amelyekkel az út egyes elemeit az úthálózat zömén fenn lehet tartani, azt mértékadó technológiának kell tekinteni és a célnak megfelelően gépesíteni kell. A hálózat azon részén pedig, ahol a mértékadó technológia nem használható, ott a körülményeket fokozatosan, a különféle beavatkozásokkal úgy kell alakítani, hogy azok később annak megfeleljenek.

Útfenntartás műszaki bázisa

Az útfenntartás műszaki bázisa magában foglalja mindazokat a gépeket és eszközöket, amelyekkel az útfenntartással összefüggő munkákat el lehet végezni. Az útfenntartás gépparkjának kialakításakor célszerűen az erdőgazdaság tulajdonában lévő, de nem teljesen kihasznált általános útépítő gépekből kell kiindulni. Ezekre a gépekre ki kell dolgozni a megfelelő technológiát és azokat az útfenntartásban alkalmazni kell.

Az új gépek beszerzésénél törekedni kell arra, hogy a kiválasztott berendezés egyszerű, kis- közepes teljesítményű és többcélú legyen. A géppark kialakításánál figyelembe kell venni azt is, hogy más a gépekkel szemben támasztott követelmény abban az időszakban, amikor a hiányos útfenntartás miatt elhanyagolt, leromlott úthálózatot hozzuk rendbe, illetve akkor, amikor a rendszeres útfenntartás miatt szélsőségesen rossz állapot már csak elvétve fordulhat elő. Az első esetben a felmerülő problémákat sokszor csak útépítő gépekkel lehet megoldani, a későbbiekben aztán a vázolt jellemzőkkel bíró gépparkkal is el lehet végezni a szükséges munkákat.

Nyugat-magyarországi Egyetem
Erdőmérnöki Kar

Kosztka Miklós Markó Gergely Primusz Péter

ERDÉSZETI UTAK FENNTARTÁSI RENDSZERE

Sopron, 2013.

Tartalomjegyzék

1. A pályaszerkezet-gazdálkodás adatigénye	1
1.1. Problémafelvetés	1
1.2. Az útgazdálkodási rendszer bemutatása	2
1.3. Az útfenntartási rendszer célja	3
1.3.1. Az útfenntartási tevékenységek	3
1.4. Az útgazdálkodási rendszer döntési modellje	4
1.4.1. Döntéstámogató rendszerek (Decision Support Systems)	5
1.5. Az útgazdálkodási rendszer geoinformatikai megközelítése	6
1.5.1. A geoinformációs rendszerekről általában	6
1.5.1.1. A geoinformációs rendszerek felépítése	6
1.5.1.2. Modellalkotás	7
1.5.1.3. Raszteres adatmodell	7
1.5.1.4. Vektoros adatmodell	8
1.5.1.5. Domborzatmodellek	8
1.5.2. Geoinformációs rendszerek a közutak nyilvántartásában	10
1.5.2.1. Helyazonosítás megvalósítása	11
1.5.2.2. Térképi adatok megjelenítése	11
1.5.2.3. Út leltár adatok tárolása	11
1.5.2.4. Híd alrendszer	12
1.5.2.5. Pályaszerkezeti alrendszer	12
1.5.2.6. Állapotadatok	12
1.5.2.7. Szoftver elemek	13
1.5.3. Geoinformációs rendszerek az erdőgazdálkodásban	13
1.6. Az Erdészeti Útügyi Információs Rendszer (EUIR)	14
1.6.1. A feltáráshálózat környezetének ábrázolása	15
1.6.1.1. Az erdőterület digitális térképe	15
1.6.1.2. Közúthálózat	15
1.6.1.3. Domborzat	15
1.6.2. A feltáráshálózat térbeli megjelenése	17
1.6.2.1. A feltáráshálózat topológiája	17
1.6.2.2. Az erdőgazdasági úthálózatok felmérése	17
1.7. Az útgazdálkodási-rendszer adatigénye	21
1.7.1. Műszaki (leltár jellegű) adatok	21
1.7.1.1. Az útszakasz helyazonosítása	21
1.7.1.2. Az útszakaszok definiálása	21
1.7.1.3. A geometriai paraméterek felvétele	21
1.7.1.4. A pályaszerkezeti adatok felvétele	22
1.7.1.5. Költségadatok	22
1.7.1.6. Környezeti és víztelenítési adatok	22
1.7.1.7. Forgalmi adatok	22
1.7.2. Állapot (teljesítmény jellegű) adatok	22

1.8.	Általános szempontok az állapotjelzők kiválasztásához	24
2.	Az úthálózat forgalma	25
2.1.	A forgalom elemzés módszere	25
2.2.	Az úthálózat elemeinek meghatározása	26
2.3.	Az útszakaszok gravitációs körzeteinek meghatározása	26
2.4.	Az erdőrészetekben keletkező leszállítandó fatérfogat	27
2.5.	A fatérfogata adatok átszámítása forgalomra	27
2.5.1.	A tengelyterhelés rongáló hatásának meghatározása	28
2.5.2.	A szállítandó fatérfogat átszámítása forgalomra	29
2.5.3.	Az egyéb forgalom figyelembevétele és a saját forgalom	30
2.5.4.	A hálózati forgalom és meghatározása	31
2.6.	Kapcsolat a járművek rongáló hatása és hasznos raksúlya között	32
3.	Az úthálózat állapotának szubjektív értékelése	35
3.1.	Az útburkolat felületállapotának minősítése	36
3.1.1.	Present Serviceability Index (PSI)	36
3.1.2.	Pavement Condition Index (PCI)	38
3.1.3.	Overall Pavement Index (OPI)	39
3.2.	Az útburkolatok felületi hibáinak felvétele	40
3.2.1.	Burkolatfelület állapotának minősítése Roadmaster rendszerrel	40
3.3.	Erdészeti utak szubjektív állapotértékelése	41
3.3.1.	Gyalogos állapotfelvétel és értékelés	41
3.3.1.1.	A burkolat állapotfelvétele és értékelése	42
3.3.1.2.	Továbbfejlesztési lehetőségek	42
3.3.2.	Automatizált állapotfelvétel és értékelés	42
3.3.2.1.	Fejlesztési előzmények	44
3.3.2.2.	A digitális állapot rögzítés eszközszerkezete	45
3.3.2.3.	A helyazonosítás problematikája	45
3.3.2.4.	A felvételezés végrehajtása	46
3.3.2.5.	Az útpályaszerkezet felületi romlásának értékelése	47
3.3.2.6.	A pályaszerkezeten kívüli részek állapotának értékelése	49
3.3.2.7.	A rögzített adatok értékelése	51
3.3.3.	Az automatizált állapotfelvétel és értékelés gyakorlati tapasztalatai	52
3.3.3.1.	A mintaterületek bemutatása	52
3.3.3.2.	Az adatokból számítható felújítási költség	53
3.4.	Összefoglalás	55
4.	Az állapotértékelés objektív mérőeszközei	56
4.1.	A forgalom és az útpályaszerkezet kapcsolata	56
4.1.1.	Az útpályaszerkezetek hajlító igénybevétele	57
4.2.	A teherbírás és a behajlásmérés kapcsolata	58
4.2.1.	Roncsolásos dinamikai vizsgálatok	60
4.2.2.	Roncsolásmentes dinamikai vizsgálatok	60
4.3.	Statikus és kvázi statikus teherbírásmérés	61
4.3.1.	A tárcsás teherbírásmérő készülék	61
4.3.1.1.	A mérőberendezés felállítása	61
4.3.1.2.	A mérés végrehajtása	62
4.3.1.3.	A mérési eredmények feldolgozása	62
4.3.2.	Benkelman-tartó (billenőkaros behajlásmérő)	63
4.3.2.1.	A mérés végrehajtása	64
4.3.2.2.	A mérési eredmények értékelése	64

4.3.3.	Optikai behajlásmérés	65
4.3.4.	Müller-féle görbületmérő eszköz	65
4.3.5.	Automatizált behajlásmérő eszközök	66
4.4.	Dinamikus teherbírásmérés	66
4.4.1.	Állandósult vibráló terhelés alatt történő behajlásmérés	66
4.4.1.1.	Vibraflex	67
4.4.1.2.	Dynaflect	67
4.4.1.3.	Road Rater	68
4.4.1.4.	Rolling Dynamic Deflectometer	68
4.4.2.	Impulzusalapú behajlásmérő eszközök	69
4.4.2.1.	A terhelési impulzus és az elmozdulások rögzítése	69
4.4.2.2.	A csillapítatlan rezgéskeltés elméleti háttere	71
4.4.2.3.	A mért deformációk információtartalma	73
4.4.2.4.	FWD készülékek	74
4.5.	Behajlásmérő eszközök az erdészeti úthálózatokon	77
4.5.1.	Az eltérő eszközökkel mért elmozdulások átszámításának kérdése	78
4.5.2.	A behajlásmérés továbbfejlesztésének szükségessége	80
4.6.	A kézi behajlásmérés továbbfejlesztése	81
4.6.1.	Geobeam, EHT Delta és társaik	81
4.6.2.	Advanced Benkelman Beam Apparatus (ABBA)	82
4.6.2.1.	Hardverelemek	84
4.6.2.2.	Szoftverelemek	85
4.6.2.3.	A mérési eredmények előfeldolgozása	86
4.7.	A deformációs vonal geometriai leírása	88
4.7.1.	Geometriai jellemzők	88
4.7.2.	A deformációs vonal közelítése függvényekkel	89
4.7.2.1.	A deformációs vonal regressziós közelítése	90
5.	A leromlási folyamat és az útfenntartás kapcsolata	92
5.1.	Az útpályaszerkezetek általános leromlási modellje	92
5.2.	A pályaszerkezet-gazdálkodás általános költségmodellje	93
5.3.	Pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiák	95
5.4.	A karbantartás kedvező időpontjának meghatározása	97
5.5.	Az útpályaszerkezet leromlásának modellezése	98
5.5.1.	Az erdészeti útpályaszerkezetek leromlásának modellezése az AASHO- útkísérletek eredményei alapján	100
5.5.2.	Az erdészeti útpályaszerkezetek megerősítésének javasolt időpontja	104
5.5.3.	Az erdészeti útpályaszerkezetek megerősítésének javasolt élettartama	104
5.5.4.	Az erdészeti útpályaszerkezetek felújításának javasolt stratégiája	107
5.6.	A faanyagmozgatás hatása az erdészeti úthálózatok szállítási és fenntartási költségeire	107
5.6.1.	A szállítási költség alakulása	108
5.6.2.	Az útfenntartás költségeinek becslése	110
5.6.3.	A modell bemutatása egy jellemző erdészeti út példáján	112
5.7.	Összefoglalás	113

1. fejezet

A pályaszerkezet-gazdálkodás adatigénye

1.1. Problémafelvetés

A korszerű erdőgazdálkodás alapja a megfelelő technikai színvonal, amelyet az erdőfeltárás fogalmával jellemezhetünk. Az erdőfeltárás mindig is szorosan kapcsolódott az erdőgazdálkodáshoz, amit nem lehet csak önmagában vizsgálni anélkül, hogy figyelembe ne vennénk az ökológiai és ökonómiai viszonyokat. Fontos ez azért is, mert rohamosan fejlődő világunkban egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a környezetvédelmi problémák a társadalom fokozott érdeklődése mellett. Mindazonáltal el kell fogadnunk, hogy minden termelési folyamat szerves része a szállítás, amely elképzelhetetlen megfelelő úthálózat és szállítójárművek nélkül. A hazai erdőfeltárás mintegy 8 fm/ha útsűrűsége azonban semmiképp sem tekinthető ideálisnak, mivel főleg csak az erdő megközelítését teszi lehetővé.

A hálózatot alkotó utak zöme a motorizáció hazai rohamos fejlődése előtt alakult ki és az arra az időszakra jellemző fogatos, pótkocsis szállítás paramétereinek megfelelően épült ki. A technika fejlődésével később az erdészeti utak forgalmában a tehergépkocsik váltak jellemzővé, amelyek szélessége és tengelysúlya nagyobb volt a korábban figyelembe vett szállítójárműveknél. A megjelenő nagyobb tengelysúlyok kedvezőtlen rongáló hatását fokozta még az a tény is, hogy a kerekek a szállítópálya széle felé tolódtak el, amelyet a szokásos építési mód szerint, függőleges széllel alakítottak ki (Kosztka, 1990). A megnövekedett igénybevételek kimerítették a pályaszerkezetek teherbírását, ezért azok gyors tönkremenetele megindult.

Az erdő egyes részeinek megközelítését biztosító erdészeti utak megépítésük után fenntartásra szorulnak. A folyamatosan jelentkező szállítási feladatok megoldása pedig megkívánja, hogy a fakitermelések várható nagysága és az utak állapota függvényében a szükséges útfenntartási beavatkozásokat végrehajtsuk. A nehézséget az okozza, hogy azt amit más műszaki létesítménynél természetesnek tartunk, nevezetesen, hogy üzemeltetéséről, fenntartásáról és karbantartásáról gondoskodni kell, másképpen fogalmazva pénzeszközöket kell ráfordítani, azt sok esetben az erdészeti utaknál elfelejtjük. Pedig az utak pályaszerkezetei ugyanúgy teherhordó szerkezetek, mint a hidak és az épületek statikailag működő részei.

Az előbb vázolt helytelen szemlélet kialakításának fő oka az, hogy míg a hidak és épületek esetében a karbantartások elmaradása komoly következményekkel jár (katasztrófa), addig ez az utak esetében csak sokkal halványabban fejeződik ki, főleg anyagi kár formájában. Ennek kimutatása pedig nehéz, mivel a költségnövekedések nem közvetlenül, hanem áttételesen, más csatornákon át jelentkeznek, mint amilyen pl. a gépjárművek üzemeltetési költségei. Arra vonatkozóan, hogy a leromlott állapotú utak mekkora kárt okoznak a járművekben, a Világbank tanulmányának megállapítását tekinthetjük irányadónak (World Bank, 1996):

„Az útkarbantartások elhanyagolása ... növeli a gépjárművek működtetésének költségeit. Például minden dollár, amit egy évben megtakarítunk azzal, hogy nem fordítjuk egy olyan út meg-

felelő állapotban tartására, amelyen napi 500 gépjármű halad el, az utat használó gépjármű-üzemeltetők költségeit 3,4-6,1 dollárral növeli.”

További probléma még, hogy egy gerendát vagy egy oszlopot kellően meg lehet tervezni annak érdekében, hogy bizonyos terhelést biztonsággal elviseljen és ha ezt a terhelést nem lépik túl, akkor a gerenda vagy oszlop soha nem fog tönkremenni. Vagyis lehetséges a tönkremenetel kritériumainak viszonylag pontos meghatározása, így például az alakváltozás, vagy a megengedett feszültségek túllépése. De mikor mondható egy útra, hogy tönkrement? Mikortól nem használható tovább? Más mérnöki szerkezetek esetében (hidak, épületek) ez a kérdés könnyen megválaszolható, de az utaknál csak egy olyan egységes szemléletmód kialakítása mellett lehetséges ez, amely segítségével képessé válunk egy rendszerként kezelni az egymáshoz kapcsolódó műszaki, gazdasági, társadalmi és politikai tényezőket. Az ilyen rendszereket útgazdálkodási vagy pályaszerkezet-gazdálkodási rendszereknek nevezzük.

Már most célszerű leszögezni, hogy az útfenntartással kapcsolatos elméleti megállapítások általában közutakra vonatkoznak, így ezen elvek, megoldási javaslatok nem mindig alkalmazhatóak változtatás nélkül az erdészeti utakra és úthálózatokra. Mivel jelenleg egyéb lehetőségünk nincsen, vizsgálatainknál ezen elvekből indulunk ki, majd megfelelő következtetések levonása után hozzuk meg az erdészeti utakra jellemző megállapításainkat (Kosztka, 2001). Az eltérések okait az utakkal kapcsolatos eltérő feladatokban kell keresnünk. Hafner (1971) munkájában olvashatjuk: *„Az erdészeti utak olyan építmények, amelyeknek elsősorban az a célja, hogy az erdei termékek szállítását járművek nélkül, vagy járművek különböző fajtájával lehetővé tegye, ezenkívül biztosítsa az erdőn belüli forgalom lehetőségét és megteremtse az erdőség és a közutak kapcsolatát.”*

1.2. Az útgazdálkodási rendszer bemutatása

Az Egyesült Államokban és Kanadában a múlt század közepén (1960-70) kialakult, azóta rendszeresen továbbfejlesztett, és ma már világszerte a gyakorlatban alkalmazott útburkolat-gazdálkodási rendszer (Pavement Management System, PMS) kezdetben csak az útpályaszerkezetek tervezésével, építésével, fenntartásával, állapotjellemzésével és kutatásával, valamint a mindezek finanszírozásához szükséges előirányzatok megállapításával és optimalizálásával összefüggő tevékenységek átfogó, összehangolt együttesét jelentette (Koren, Tánzos és Timár, 2011). Később a rendszer tovább bővült, és az utak építésével és fenntartásával, üzemeltetésével, finanszírozásával kapcsolatos összes tevékenységet is magába foglalta. Vagyis ma már inkább tágabb értelemben útgazdálkodási rendszerről (Road Management System, RMS) beszélünk és nem csak PMS-ről. Az RMS két fő alrendszerre bontható:

1. Útburkolat-gazdálkodási rendszer (Pavement Management System, PMS).
2. Útfenntartási rendszer (Maintenance Management System, MMS).

A útburkolat-gazdálkodási rendszerek alapvetően az útpályaszerkezetek teljesítményével, állapotváltozásával foglalkoznak. Az útpályaszerkezetek állapotának leírására a mai rendszerek több állapotjellemzőt is felhasználnak, amelyek egy részét objektív műszeres mérésekkel egy másik részüket pedig szubjektív értékítéletek alapján veszik fel. Hosszútávú megfigyelések alapján olyan modelleket dolgoznak ki és alkalmaznak, amelyek segítségével a pillanatnyi állapotából képesek következtetni egy jövőbeni forgalmi terhelés hatására bekövetkező teljesítmény változásra. Ez lehetővé teszi, hogy az útfenntartási munkákat és a szükséges beavatkozásokat időben előkészítsük és végrehajtsuk.

Az útfenntartási rendszerek magukban foglalják a forgalomban lévő úton az élettartam alatt végzett összes olyan tevékenységet, amely az állapotfenntartással és az üzemeltetéssel összefügg (Kosztka, 2001). Fő feladatuk, hogy biztosítják a biztonságos és gazdaságos közlekedést (üzemeltetés) valamint lassítsák az út rendeltetésszerű használatából adódó leromlási folyamatokat (állapotfenntartás).

Természetesen minden útgazdálkodási rendszer legfontosabb alkotóeleme az úthálózat fizikai jellemzőit (leltár), a forgalomnagyságokat és az állapotjellemzőket lehetőleg naprakészen tartalmazó és nyilvántartó adatbázis. A két alrendszer közötti kapcsolat – az adat- és információáramlás – a központi adatbankban testesül meg, így ennek minősége és műszaki színvonala a teljes rendszer szempontjából alapvető fontosságú.

Az útgazdálkodási rendszerben az úthálózaton tervezett beavatkozások sorrendjét először hálózati szinten (network level) határozzák meg, majd részletesebben létesítmény szinten (project level) tervezik meg a beavatkozást. A hálózati szint feladata a döntés előkészítése az úthálózaton, a létesítmény szintű útgazdálkodás pedig a hálózati szintű adatokat bontja le konkrét útszakaszokon történő beavatkozásokra (Koren, Tánczos és Timár, 2011).

1.3. Az útfenntartási rendszer célja

Amíg egy-egy út megvalósul, a beruházók, tervezők és kivitelezők időt és pénzt nem kímélve a tervek és megoldások több változatát készítik el, vitatják meg és nagy erőfeszítéseket tesznek a szükséges pénzügyi fedezet előteremtésére. A megvalósítás érdekében kifejtett néhány éves intenzív tevékenységet az út átadása után sokszor évtizedben mérhető csend követi, majd később „fájdalmas” sóhajokat lehet hallani az útfenntartási terhek jelentkezése és hordozása miatt (Beck, 1981).

Egy új út átadásakor a beruházók az útfenntartási terhek jövőbeni megjelenésének tényével természetesen tisztában vannak, ám általában az útfenntartási tevékenységek idejét és a beavatkozások módját közép és hosszú távra sem tervezik meg. Egy kritikus hosszt (100...150 km) meghaladó úthálózat spontán végzett beavatkozásokkal azonban már nem tartható fenn hatékonyan. Az útfenntartási tevékenységek rendszerszemléletű tervezését csak egy megfelelően kialakított útfenntartási rendszerre alapozva lehet elvégezni. Az útfenntartási rendszer választ ad a következő kérdésekre:

- Az úthálózat mely szakaszán szükséges valamilyen beavatkozás?
- Mi a hiba?
- Mit kell tenni?
- Mikor kell a beavatkozást elvégezni?
- A tervezett beavatkozás mekkora költségekkel jár?

1.3.1. Az útfenntartási tevékenységek

A komplex útfenntartási rendszerek magukban foglalják a forgalomban lévő úton az élettartam alatt végzett összes olyan tevékenységet, amely az állapotfenntartással és az üzemeltetéssel összefügg.

Az üzemeltetés alrendszer tartalmazza azokat a tevékenységeket, amelyek a pálya és a környezet műszaki jellemzőinek megváltoztatása nélkül biztosítják a biztonságos és gazdaságos közlekedést. Elsődleges céljuk ezen munkáknak az, hogy az egyes útszakaszok kapacitását, hatékonyságát megnöveljék a jelentkező üzemzavarok elhárításával. Nem cél az út állapotának javítása, viszont fontos hogy az útburkolat pillanatnyi állapotáról – az idő, a forgalom és az időjárás függvényében változó paraméterek értékéről – mérések és vizuális értékelés útján tájékoztatást nyújtson. Erdészeti utak esetében az üzemeltetési feladatok a következők lesznek:

- Üzemi feltételek biztosítása.
- Információk beszerzése.
- Forgalom befolyásolásának feladata.

- Üzemi létesítményekkel kapcsolatos feladatok.

Az állapotfenntartás azokat a főként építés jellegű tevékenységeket tartalmazza, amelyek célja, hogy az út rendeltetésszerű használatából adódó leromlási folyamatokat lassítsák, valamint időszakonként az új állapotot megközelítő állapotot hozzanak létre. A beavatkozás mélysége szerint az elvégzendő munkákat három csoportba sorolhatjuk:

Javításról beszélünk akkor, amikor helyi, lokálisan kialakuló meghibásodásokat állítunk helyre azért, hogy a hibák elfajulását a leromlási lánc megszakításával megakadályozzuk. Ezekkel a munkákkal nem célunk az útállapot javítása, elvégzése azonban fontos, mert ez biztosítja azt, hogy az út leromlási folyamata normálisnak tekinthető ütemben folyjon le. A munkákat a hiba kialakulásának kezdetén kell elvégezni, amikor az még egyszerű és olcsó módszerrel megszüntethető. Előre tervezni nem lehet, mert sok véletlenszerű tényező befolyásolja (az építőanyag minőségének egyenetlenségei, a helyi tervezési és kivitelezési hibák stb.)

A *karbantartási* munkák elvégzésekor az a célunk, hogy hosszabb útszakaszon egységes műszaki állapotot hozzunk létre, lelassítva ezzel a leromlási folyamatot is. Ezért egy-egy hosszabb útszakaszt egy vagy több szempontból az új út állapotának megfelelő vagy azt megközelítő állapotba hozunk. Ez a beavatkozás általában az egész felületre kiterjedő vékony réteg beépítésével (felületi bevonás, minimális rétegvastagságú aszfaltszőnyeg) valósul meg. A beavatkozás időpontja előre megtervezhető.

Felújításkor az út valamennyi paraméterét az új állapotnak megfelelő szintre kell emelni. Kimondottan építés jellegű beavatkozás, amelyet az út fő szerkezeti részeinek tönkremenetelekor kell elvégezni. Lényeges jellemzője, hogy a pályaszerkezetet egy méretezett réteg építésével megerősítjük úgy, hogy az egy meghatározott időszak (10–15–20 év) forgalmát elviselje. Ez a munka lényegében tehát egy elhasználdott érték pótlásának tekinthető (Kosztka, 2001).

A két alrendszer közötti kapcsolat – az adat- és információáramlás – a központi adatbankban testesül meg, így ennek minősége és műszaki színvonala a teljes rendszer szempontjából alapvető fontosságú. Az adatbankok megjelenési formája az egyszerű kézi nyilvántartástól a komplex, számítógépeken alapuló rendszerekig terjedhet. Az üzemeltetési alrendszerben végzett állapotfelmérések eredményeinek felhasználásával a leromlási folyamat megbecsülhető. A leromlási folyamat ismeretében pedig az adott útszakaszok műszaki állapota meghatározható, amelyek az egyéb adatokkal együtt a döntéselőkészítés első inputját képezik.

1.4. Az útgazdálkodási rendszer döntési modellje

Az RMS fontos részét képezi a döntési modell. Főbb elemeit a leromlási folyamat, a stratégiák, a gazdaságossági vizsgálatok és az optimalizálás alkotja. Az alternatív stratégiák kidolgozása, a prioritások meghatározása, a gazdasági számítások elvégzése lehetőséget nyújtanak a beavatkozások műszaki-gazdasági optimumának megállapítására. Csak ennek ismeretében lehetséges dönteni a beavatkozásokról, azok típusáról és időtartalmáról.

Viselkedési modellek: segítségükkel az egyes útszakaszok használhatóságának, teherbírásának távlati előrebecslése válik lehetővé. Meghatározásuk a burkolat élettartama alatt különböző időpontokban végzett nagyszámú vizsgálati eredmények adatsorain alapszik.

Stratégiák: az RMS keretein belül létrehozott stratégia mind az építésre, mind a fenntartásra műszaki és gazdaságossági alternatívákat hoz létre. A stratégiák bemenő adatait lényegében a szerkezeti, fenntartási variánsok és az ezekhez tartozó költségek képezik, vagyis:

- a pályaszerkezet-variánsok,
- a pályaszerkezet-variánsok költségei,
- a leromlási folyamat, vagyis az az időtartam, amely alatt az állapotjellemzők az adott pályaszerkezet esetében a kritikus értékeket (beavatkozási határokat) elérik,

- fenntartási költségek,
- építési költségek,
- az úthasználók költségei,
- a forgalom minősége és mennyisége.

A végleges stratégia kiválasztását a gazdaságossági elemzés előzi meg. Mivel a gazdaságosságon kívül egyéb szempontokat is mérlegelni kell, nem mindig a gazdaságosság szempontjából optimális megoldást kell kiválasztani, hanem esetleg valamilyen ehhez közel állót (Gáspár-Horvát, 2000).

Gazdaságossági vizsgálatok: a gazdaságossági vizsgálatok során a döntések támogatásához valamely meghatározott időszakra átértékelt (diszkontált) előnyöket és költségeket számítjuk ki. A gazdaságossági vizsgálat feltétele, hogy csak olyan variánsok képezhetik az elemzés tárgyát, amelyek a létesítménnyel szemben támasztott összes követelményt kielégítik, az értékelést a finanszírozás módjától és forrásaitól függetlenül kell elvégezni (Gáspár-Horvát, 2000).

A döntési modell utolsó fázisát képezi az optimalizálás, ami során az adott pénzügyi lehetőségek függvényében fokozatos közelítéssel a legjobb stratégia kerül kiválasztásra. A bemenő adatok a következők:

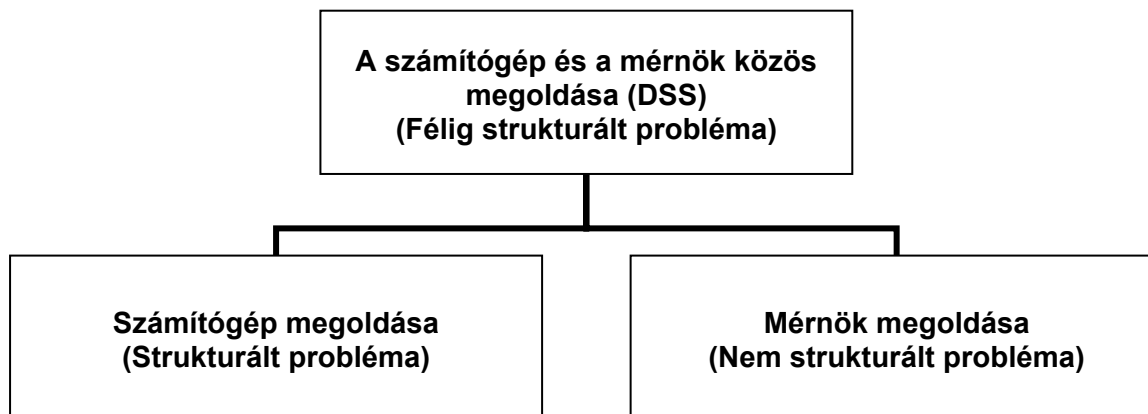
- alternatív beavatkozási variánsok fő jellemzői,
- az alternatív beavatkozási variánsokra vonatkozó gazdaságossági mutatók,
- a tervezési időszak hossza.

A felsoroltakból kitűnik, hogy az RMS-t mint rendszerszemléletű módszertant egyrészt új rendszerek hatékony tervezésére, másrészt meglévő rendszerek működésének modellezésére alkalmazhatjuk. A döntéshozatal folyamata mindig nagyszámú adathalmaz feldolgozása és kiértékelés során alakul ki, ami ma már elképzelhetetlen számítógépes támogatás nélkül.

1.4.1. Döntéstámogató rendszerek (Decision Support Systems)

A döntéstámogató rendszerek az adatok feldolgozásával, elemzésével és a kimeneti változókkal kapcsolatos információk szolgáltatásával segítik a mérnök döntését. Nem parancsjellegű rendszerek, tehát kimeneti adataik nem kötelezőek, a döntés mindig a felelős mérnök kezében marad. A döntéstámogató rendszerek egyrészt információt szolgáltatnak a mérnöknek rendszeres vagy speciális jelentések formájában, nagy mennyiségű adatot kezelve és feldolgozva. Másrészt modellezési képességekkel rendelkeznek, különböző matematikai, analitikai modellek segítségével előrejelzéseket, elemzéseket készítenek, javaslatokat tesznek. A döntési problémák lehetnek strukturáltak, amikor a feladat jól meghatározott és a megoldás algoritmizálható. Az ilyen problémák számítógép segítségével könnyen megoldhatók. A másik szélsőséges esetet a nem strukturált döntési feladatok jelentik, melyek mindenképpen emberi döntéshozatalt igényelnek. A valóságos problémák nagy része is tartalmaz programozható és nem programozható elemeket egyaránt, vagyis a döntési problémák nagy része félig strukturált. Az ilyen esetekben lehet a DSS a mérnök segítségére, amikor a döntés az ember és a számítógép közös munkájának az eredménye. A döntéstámogató rendszerek és a strukturáltság fokának összefüggését illusztrálja a következő ábra (1.1 ábra).

A DSS célja nem az, hogy önállóan hozzon döntést vagy helyettesítse a mérnököt. A cél a döntéshozó ítélőképességének támogatása, egyedi, speciális problémák megoldásában. A DSS alkalmazkodik a vezető egyéni döntéshozói stílusához, képes különböző stílusokat és döntési szükségleteket is támogatni. A másik fontos tényező a döntés hatékonysága. A DSS célja a döntés minőségének javítása, a jobb döntés meghozatala, nem pedig a gyorsabb döntéshozatali folyamat vagy a döntési teljesítmény fokozása. A döntéstámogató rendszerek nagyon fontos



1.1. ábra. A strukturált és a félig strukturált problémák kapcsolata DSS-en belül.

jellemzője az interaktivitás A DSS működését a menedzser/mérnök vezérli, kérdéseket tesz fel, utasításokat ad ki. A szolgáltatott információ formátuma rugalmasan módosítható az egyéni igényeknek megfelelően. Mivel a DSS-t elsősorban nem számítástechnikai szakemberek használják, nagyon fontos követelmény a barátságos felhasználói felület, a könnyű kezelhetőség. Bár egyre inkább pozícióba kerül az a generáció, amelynek a számítógépek használata már teljesen természetes és rendelkezik a megfelelő előképzettséggel is, nagyon fontos, hogy egy ilyen rendszer kezelése egyszerű, gyorsan elsajátítható legyen. Hangsúlyt kell fektetni a kimenetek formátumára is. Könnyen áttekinthető, jól szervezett, grafikus, táblázatos megjelenítésre van szükség. Az előre nem látható, egyedi problémák megoldásának képessége nagyfokú rugalmasságot igényel a rendszertől. Nagyon fontos, hogy a döntéshozó közvetlenül is részt vegyen a fejlesztésben, a rendszer létrehozásában, esetleg kisebb változtatásokat, módosításokat, bővítéseket maga is el tudjon végezni.

1.5. Az útgazdálkodási rendszer geoinformatikai megközelítése

1.5.1. A geoinformációs rendszerekről általában

A térbeli adatokhoz köthető információkat felhasználó grafikus rendszereket térinformációs rendszereknek nevezzük. A *geoinformációs rendszerek* a térinformációs rendszerek egy olyan speciális csoportját alkotják, melyek a földdel, mint közvetlen környezetünkkel foglalkoznak (Czimer, 1997).

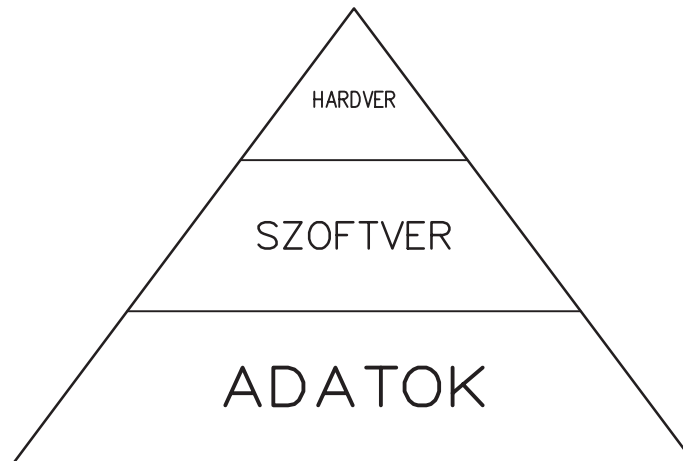
1.5.1.1. A geoinformációs rendszerek felépítése

Az információs rendszerek az 1.2 ábrának megfelelően alapvetően három alkotóelemből állnak (Detrekői és Szabó, 1997):

Az előző ábrát gondolatban kiegészítve, a *felhasználókat* is az információs rendszer alap-elemei közé sorolhatjuk. A geoinformációs rendszerek kialakítását, majd működtetését csak megfelelően képzett szakemberekkel lehet megoldani, illetve a rendszert úgy kell felépíteni, hogy a geoinformatikában kevésbé jártas felhasználók is előállíthassák az őket érdeklő információkat.

Az alkotóelemeket ábrázoló piramis jól szemlélteti az információs rendszerben szereplő *adatok* fontosságát; a rendszer használhatóságát alapvetően az abban szereplő adatok mennyisége és minősége határozza meg. Az információs rendszer kialakításának tervezésekor először a tárolandó-feldolgozandó-megjelenítendő adatok körét kell tisztázni, a további építőelemek kiválasztása csak ezután következhet!

Az összegyűjtött adatok feldolgozásához és megjelenítéséhez megfelelő számítógépes programokra van szükség. A *szoftverkörnyezet* kiválasztásakor elsődleges szempont, hogy az a megje-



1.2. ábra. Az információs rendszerek alapelemei.

leníteni kívánt adatokat kezelni tudja, figyelembe véve a tárolandó információk mennyiségét is. Ezen alapvető követelményt teljesítő rendszerek közül a következő szempontok szerint választhatunk: információcsere lehetősége a felhasználó meglévő szoftvereivel, külső partnerek által szolgáltatott adatok formátumai, külső partnereknek szolgáltatandó információk formátuma, ágazati szabványok figyelembevétele stb.

A *hardverelemek* kiválasztása célszerűen az előző lépéseket követően történik meg, hiszen így az elhamarkodottan beszerzett hardver eszközök esetleges gyengeségei nem korlátozzák az ideális szoftver megfelelő alkalmazhatóságát, ezáltal lehetőség nyílik az adatok teljes körű feldolgozására, vagyis információs rendszerünk kialakításával elérjük kitűzött céljainkat.

1.5.1.2. Modellalkotás

A geoinformatikai rendszerekben a valós világot annak modellezésével ábrázoljuk. A modell a valóság lényegének leegyszerűsített mása, mely a valóság egy részének a vizsgált szempontok szerinti tulajdonságait mutatja be, annak érdekében, hogy a rendszer alkalmas legyen a nyilvántartás, elemzés, szimuláció, döntéstámogatás feladatainak ellátására (Detrekői és Szabó, 1997).

A geoinformációs rendszerekben a helyzeti adatok ábrázolásának (tárolásának) két nagy csoportját különböztetjük meg, ezek a szabályos (raszter) és szabálytalan (vektor) geometriai modellek.

1.5.1.3. Raszteres adatmodell

A raszteres modellek a területet szabályos geometriai elemekre osztják (pixelek). Geoinformatikai rendszerekben a raszteres adatmodellnek általában a négyzet az alapja, ami jól igazodik a raszteres megjelenőkhöz is.

Az adatmodellt felépítő elemi pixelek egy-egy adott területet fednek le. A pixelek értékeit tematikus kódoknak nevezzük, ezekkel jellemezzük a pixel által lefedett területet. A nulla értékkel feltöltött pixelek az üres (adathiányos) területeket jelölik. A pixelek rácsszerűen, sorokban és oszlopokban helyezkednek el. Az adatmodell az egyes pixelek felsorolásán, valamint a sorok és oszlopok számának megadásán túl olyan lényeges információkat is tartalmaz, amelyek a vizsgált terület vetületi rendszerbe illesztését teszik lehetővé. Ezek az úgynevezett georeferencia adatok a pixelek által lefedett terület mérete, és a raszter egy pontjának (pl. bal felső pixel közepe) koordinátái. A raszteres adatmodellben a pixelek közötti térbeli kapcsolatok egyértelműek, ezeket nem kell külön tárolni (Czimer, 1997).

A raszterek – általában jelentős – fizikai tárigényét különböző tömörítési eljárásokkal csökkenthetjük Czimber (1997). A tömörítési eljárások két nagy csoportra oszthatók: adatvesztéssel járók (pl. RLE, LZW, Huffman kódolás) és adatvesztés nélküliek (pl. DCT, Wavelet, Vektor kvantálás).

A raszteres adatmodell nagyon jól használható domborzatmodellezésre, illetve szorosan összefonódott a távérzékelési technológiákkal (műholdképek, légifényképek, ortofotók). Használata abban az esetben indokolt, ha nagy területről egyenletes sűrűségben kívánunk információkat tárolni.

1.5.1.4. Vektoros adatmodell

A vektoros adatmodell esetében a földrajzi objektumok helyzetét szabálytalan geometriai elemekkel írjuk le. A földrajzi objektumok leírása általában négy geometriai elem segítségével történik. Ezen négy alapelem a pont, vonal, poligon és a térbeli felület.

A vektoros adatmodell az ábrázolandó objektumok *lényegi* információit tartalmazza – erdőrészlet esetében annak határvonalát (pontosabban a határvonal töréspontjait), út esetében annak tengelyét stb. A tárolandó adatmennyiség rendszerint töredéke a raszteres adatmodellel történő adatábrázoláshoz képest Czimber (1997). A vektoros adatmodellben megjelenített térképi elemek kezelésére bonyolult algoritmusokat kell használni, továbbá alapvető fontosságú az objektumok szomszédsági viszonyainak korrekt ábrázolása (topológia).

A vektoros térkép a megjelenítés szempontjából méretarány-független, az adatok geometriájának *pontosságát* azonban nem szabad összetéveszteni azok tárolásának *élességével!* (Ha a digitális térkép 1:10 000 méretarányú papírtérkép felüldigitalizálásával készült, nem várható el tőle cm-es pontosság, még akkor sem, ha a nyiladék töréspontjait ekkora élességgel tároljuk is el.)

A vektoros adatmodellben tárolt *geometriai* elemekhez *attribútumadatokat* (szöveges, leíró adatok) rendelünk. Az egy objektumhoz rendelt attribútumok csoportját *rekordnak*, az azonos típusú rekordok összességét *adattáblának* hívjuk. A geometriai és leíró adatok összekapcsolása (*linkelés*) az ún. *geokód* alkalmazásával történik.

1.5.1.5. Domborzatmodellek

A geoinformatikai rendszerekben vizsgált egyik tipikus objektum a terep felszíne. A terepfelszint leíró felületmodellt domborzati modellnek (DDM - digitális domborzati modell, DEM - digital elevation model), vagy terepmodellnek hívjuk. Márkus és Végső (1995) definíciója szerint: „A DDM a terepfelszín célszerűen egyszerűsített mása, amely fizikailag számítógéppel olvasható adathordozón tárolt terepi adatok rendezett halmazaként valósul meg. A DDM a modellezés folyamatában információkat szolgáltat a modellezett terep egészének vagy kiválasztott részletének lényeges sajátosságairól.”

A geoinformációs rendszerben szereplő domborzatmodell részletességét, felépítését mindig az adott feladat szabja meg. Más léptékű és pontosságú terepmodellre van szükségünk, ha az erdőgazdaság teljes feltáróhálózatát vizsgáljuk, vagy ha egy erdészeti utat tervezünk. Különböző struktúrájú domborzati modellt célszerű használni vízgyűjtő területek lehatárolásához vagy semleges vonalak felkereséséhez.

Raszteres domborzatmodellek A pixelértékek felületmodell esetében a pixel által lefedett felületelem magasságát jelentik. A szabályosan elhelyezkedő rácspontok közötti pontok magasságát térbeli interpolációs módszerekkel lehet előállítani. Néhány eljárás (Czimber, 1997):

- Távolsággal arányos súlyozással.
- Minimális görbület alapján.

- Vektoros felületmodellezéssel, amikor egy olyan vektoros felületmodellt állítunk elő, amelynek kontrollpontjai a raszter celláinak középpontjaiba esnek. A térbeli interpoláció ezek után a vektoros felületmodelleknél részletezett eljárások valamelyikével történhet. A legjobb módszert ez az eljárás adja.

Vektoros domborzatmodellek A felületmodellek másik csoportját azok az adatstruktúrák alkotják, ahol a felületet alkotó geometriai elemek tetszőleges bonyolultsággal, szabálytalan módon kapcsolódnak egymáshoz. A csúcspontok, törésvonalak ábrázolása koordinátákkal, vektorokkal történik. Ennél az adatmodell-típusnál lényeges a térbeli kapcsolatok korrekt rögzítése, a topológia kialakítása. A modellezés feladata a $Z = F(x, y)$ függvény vektoros adatokkal történő minél jobb közelítése. Az $F(x, y)$ függvénytől az alábbiakat követeljük meg Czimber (1997):

- A függvény menjen át a modellezendő felület ismert, mért pontjain, idomvonalain és törésvonalain. (A mért és ismert pontokat a továbbiakban kontrollpontoknak fogjuk nevezni.)
- A modellezendő területen mind a függvény, mind a függvény első és második, x , illetve y szerinti parciális deriváltja folytonos legyen.
- A törésvonalak mentén a függvénynek, valamint a deriváltaknak szakadása kell, hogy legyen.

A vektoros felületmodellek a kontrollpontok eloszlása szerint lehetnek (Márkus és Végső, 1995):

- szabályos modellek, ahol a kontrollpontok szabályos rácsháló metszéspontjaiban helyezkednek el,
- strukturális modellek, amelyek felépítésekor figyelembe vesszük a felület jellegzetességeit,
- véletlenszerű modellek, ahol a nem szabályosan elhelyezkedő kontrollpontok valamilyen ok miatt nem esnek a terepfelszín jellemző pontjaira (pl. tómeder felmérésekor).

Az $F(x, y)$ függvény célszerű előállítását a végelemek módszerével történik. Az $F(x, y)$ függvényt elemi $f_i(x, y)$ függvényekre bontjuk olyan módon, hogy az $f_i(x, y)$ elemi függvények értelmezési tartományai nem fedik egymást, és összegük az eredeti $F(x, y)$ függvény értelmezési tartományát adja. A vektoros felületmodellezésben legáltalánosabban használt végelem a három kontrollpont alkotta térbeli háromszög. A háromszögek általában szabálytalan háromszöghálót (Triangulated Irregular Network, TIN) alkotnak.

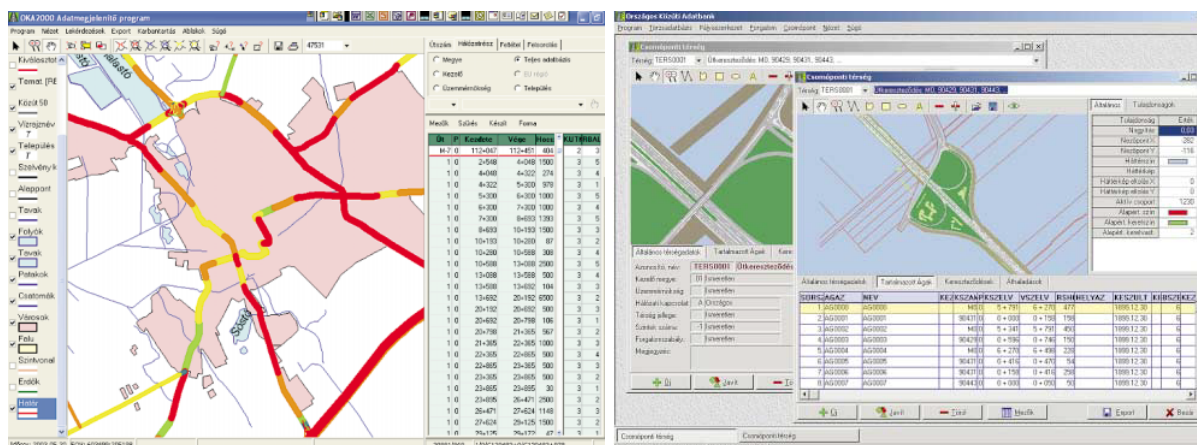
Domborzatmodellek előállítása A domborzatmodellek előállítása a következő eljárások valamelyikével történhet:

- Szintvonalas térképek digitalizálása.
- Digitális fotogrammetria (Kraus, 1994).
- Lézeres felmérési technológiák [www.lidartech.com].
- Földi geodéziai módszerek.

Magyarországon beszerezhető domborzatmodellek Nagy terület domborzatának modellezéséhez célszerű valamely országos magassági adatbázis megfelelő kivágatát megvásárolni. A Magyarországon beszerezhető domborzatmodellek közül néhányat táblázat ismertet.

DDM	Alaptérkép	Felbontás	Forgalmazó
DDM-100	M=1:100 000 digitális topográfiai alaptérkép	100×100	Földmérési és Távérzékelési Intézet
DDM-5	M=1:10 000 digitális topográfiai alaptérkép	5×5	Földmérési és Távérzékelési Intézet
DDM-50	M=1:50 000 katonai topográfiai alaptérkép	50×50	MH Térképészeti Hivatal
DDM-10	M=1:50 000 katonai topográfiai alaptérkép	10×10	MH Térképészeti Hivatal

1.1. táblázat. Magyarországon beszerezhető domborzatmodellek.



1.3. ábra. Az adatok megjelenítés az OKA 2000 rendszerben.

1.5.2. Geoinformációs rendszerek a közutak nyilvántartásában

Az országos közúthálózat alkotóelemei (utak, hidak és műtárgyak) a számviteli nyilvántartás és könyvelés szempontjából forgalomképtelen tárgyi eszközöknek, állóeszközöknek tekinthetők. Értéküket többféle módszerrel lehet számítani, de valamennyi számítás kiindulási alapja a teljes körű, kellően részletes és megbízható, naprakész adatokon alapuló vagyonteltár (a méreteket és a műszaki állapotjellemzőket, azok változásának időpontjait tartalmazó műszaki nyilvántartás, korszerű számítógépes adatbank). Ez a leltár a vagyon bruttó és nettó értékének megállapításához, időbeni változásuk nyomon követéséhez nélkülözhetetlen (Koren, Tanczos és Timár, 2011).

A vagyonteltár alapját Magyarországon az Országos Közúti Adatbank (OKA) képezi. Az adatbank tartalmazza a több mint 31000 km hosszúságú országos közúthálózat leltár, műszaki, minőségi, valamint forgalmi és baleseti adatait. Az OKA feladata, hogy az adattartalom folyamatos bővítése mellett a meglévő adatok ellenőrzésében és pontosításában is segítséget nyújtson. Az adatbázis csomópont alapú helyazonosítási rendszert alkalmaz, de az „útszám + km” hagyományos rendszerű adatok is megtalálhatók benne. Az OKA 2000 jelenlegi formájában 2003-tól működik a közúti szakirányításban. Használói elsősorban az országos közutak és a gyorsforgalmi utak kezelői (Magyar Közút Nonprofit Zrt.).

A rendszer fő alkotója a térinformatikai funkciókat tartalmazó úthálózati adatbázis 10 évre

kiterjedő idősorokkal (1.3 ábra). Az adatbázis tartalma: topológia, közútkezelők adatai, úthálózati jellemzők, mennyiségi és minőségi adatok, forgalmi adatok, baleseti adatok, objektumok az út mellett, alatt és felett. A beépített alrendszerek részletes adatokkal szolgálnak a pályaszerkezetről (teherbírás), a csomópontokról és az útfelület jellemző hibáiról (hosszirányú egyenetlenség, nyomvályú, szubjektív felületépség stb.). A külső alrendszerek közé tartozik a híd alrendszer és a földrészlet alrendszer. Az adatbázis lehetőséget nyújt továbbá a települések szerinti forgalomszámlálási adatok lekérdezésére is. Az OKA rendszer részletes ismertetése megtalálható Forrainé (2004) munkájában.

1.5.2.1. Helyazonosítás megvalósítása

Az OKA 2000 a kettős helyazonosítást használja az adatok és objektumok pontos helyének a meghatározására. Ez azt jelenti, hogy az útszám mellett valamely azonosító ponttól mért távolsággal vagy az utolsó felvett kilométerjeltől mért távolsággal adja meg a pont helyét. Azonosító pontok lehetnek:

- csomópontok,
- út vége pontok,
- határpontok (üzemmérnökségi, megyei vagy országhatárpontok),
- kompátkelők.

1.5.2.2. Térképi adatok megjelenítése

A digitális térképi adatok a HM Térképészeti Hivatala által forgalmazott, 1:50 000 méretarányú katonai topográfiai térképek digitalizálásával készült DTA-50 digitális térképi adatbázison alapulnak. A DTA-50 közutakat tartalmazó rétegét átalakítva, az információs rendszer logikájába illeszthető új, KÖZÚT-50 réteget hoztak létre. Az adattárolás alapja az *útszakaszok* és *csomópontok* topologikus rendszere. Az adatbázis mintegy 12 200 szakaszt (334 400 törésponttal) és 10 700 csomópontot tartalmaz. A térképi állomány aktualizálására is szükség volt, hiszen az alaptérkép az 1995-ös katonai légifényképezésen alapult. Az adatbázist végül olyan speciális elemekkel (körforgalmak, összetett csomópontok, autópálya keresztezések) egészítették ki, amelyeket – léptékénél fogva – az alaptérkép nem ábrázolt.

A térképi adatbázis aktualitását folyamatosan fenntartják, ehhez mobil térképező eszközöket, GPS technológiát is felhasználnak. Az aktualizálásokkal párhuzamosan a térképi és leíró adatok közötti szinkron fenntartására is nagy hangsúlyt fektetnek.

1.5.2.3. Út leltár adatok tárolása

Az út leltár adatokat az OKA nyelvezetében törzsadatoknak hívják, amelyeket a következő csoportokba sorolták:

- „A” A hálózat leírásának objektumai – a kettős helyazonosítási rendszernek megfelelően az azonosító pontokat és a szakaszok kezdő- és végazonosítóit, illetve azok koordinátáit tartalmazzák.
- „B” Szakaszjellemzők, kezelő, környezet, ingatlanviszonyok – szakaszjellemzők (útszám, megnevezés, útkategória), kezelő (társaság, megye, üzem mérnökség), környezeti jellemzők (környezet, jelleg, talaj), ingatlan-adatok (méret, fekvés, tulajdonos, HRSZ, vagyonkezelő).
- „C” Szerkezet, keresztmetszet – pályaszerkezet, burkolat, sávszám, vízelvezetés, oldal-esés.

- „D” Geometria, vonalvezetés – ívadatok, hosszesés, irányok.
- „E” Mért minőségek és forgalom – a forgalomszámlálások és a burkolatállapot-mérések tényleges (mért) adatai (teherbírás, felületállapot, csúszás-ellenállás, burkolatállapot).
- „F” Származtatott minőségek, forgalom – az előző kategória adatai alapján származtatott mennyiségek.
- „G” Kapcsolódó objektumok – útcsatlakozások, átereszek, támfalak, fasorok, járdák, kerékpárutak, km-jelek, kötöttpályás keresztezések, közművek stb.
- „H” Minősítés, megfelelőség, biztonság – pl. hófúvásra veszélyes szakaszok.
- „J” Speciális adatok – fényképek, videofelvételek.
- „K” Individuális adatok – az egyes útkezelőkre egyénileg jellemző, de fontos adatok, mint például fizető útszakaszok, forgalmi irányok fizikai szétválasztása, forgalomba helyezés időpontja stb.

1.5.2.4. Híd alrendszer

A híd alrendszer célja az állami kezelésben lévő hidak nyilvántartása olyan adatbázis formájában, amely a felmerülő összes műszaki információs kérdésre tud felelni. Adatbázisa a következőket tartalmazza:

- A híd helye.
- Műszaki adatok.
- A hidak fenntartásához, karbantartásához szükséges adatok.
- A hídhoz tartozó dokumentációk nyilvántartása.

1.5.2.5. Pályaszerkezeti alrendszer

A pályaszerkezeti adatok halmaza a burkolatgazdálkodás egyik legfontosabb adatforrása, az utak értéken való nyilvántartásához fontos kiinduló adatszolgáltatás. A pályaszerkezeti alrendszer a szerkezeti rétegeket homogén részzszakaszok szerint ábrázolja, illetve kezeli. A rendszerrel megjeleníthető az egyes útszakaszok pályaszerkezeteinek kereszt- és hosszirányú metszetei is.

1.5.2.6. Állapotadatok

Az utak állapotát a következő mérőszámokkal jellemzik:

- *Hosszirányú egyenetlenségi index (IRI)* [mm/m]. Meghatározását az útfelület egymásól 4 méterre lévő pontja által adott bázisvonal felezőjében, a mérőkerék elmozdulásaival az út felületének a bázisvonalától való eltérését a kézzel tolt mérőeszközzel folyamatosan meghatározzák, majd az adatok feldolgozása után 100 m-es szakaszonként adják meg a jellemző értéket.
- *Nyomvályú képződés.* A szakaszokat a mértékadó nyomvályú-mélységgel [mm] jellemzik. Nem megfelelő az útszakasz, ha a nyomvályú-mélység >12 mm; rossz az útszakasz, ha a nyomvályú-mélység >17 mm.

- *Teherbírás.* Közutak teherbírásának mérésére a dinamikus behajlásmérést (KUAB) alkalmazzák. A mérés elve: 300 mm átmérőjű tárcsára ismert nagyságú tömeget ejtenek rugó közvetítésével, és mérik a tárcsa függőleges elmozdulását. Az úthálózat hálózati szemléletű állapotértékelése során 100 méterenként jelölik ki a méréshelyeket, méréshelyenként két mérést végeznek, majd 1 km hosszú szakaszokra számítanak *mértékadó behajlást* [mm].
- *A szubjektív felületállapot* minősítése alapvetően összegző jellegű, ahol figyelembe veszik a burkolatépséget meghatározó főbb jellemzőket: deformációk, kátyúk, kipergéses és izzadássos szakaszok, hossz- és keresztirányú valamint mozaikos repedések, burkolatszélek hibái. Az értékelésbe ezenkívül beleveszik a vízelvezetési problémákat is. Az egyes jellemzőket előre meghatározott kritériumok szerint értékelik, majd 500 méterenként súlyozott átlaggal fejezik ki a felületállapotot.

1.5.2.7. Szoftver elemek

Az OKA2000 a különböző feladatok ellátására több különálló programot használ, ezek:

- *Adatmegjelenítő- és karbantartó program.* Az adatbank legjellemzőbb felhasználására, az adatok lekérdezésére és megjelenítésére szolgál.
- *Felhasználó karbantartó program.* Külön feladat a rendszer felhasználóinak adminisztrálása, a karbantartási és lekérdezési jogosultságok kiosztása, módosítása.
- *A Topológia karbantartó programmal* végezhető el az úthálózat topológiájának karbantartása, új utak felvétele, meglévők módosítása, csomópont azonosítók, pályakódok, kilométer jelek helyének felvétele, karbantartása.
- *Adatkapcsolati program.* A Megjelenítő és karbantartó program részére az adatok egységességét biztosítja. Feladata a megyei adatok országos összesítése, valamint az adatbázis hibamentességének ellenőrzése.

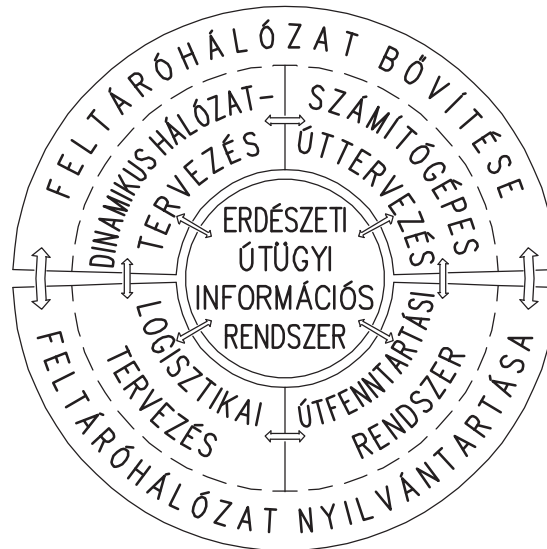
1.5.3. Geoinformációs rendszerek az erdőgazdálkodásban

Az erdővel, mint természeti erőforrással foglalkozó tevékenységek (erdőgazdálkodás, erdőtervezés, hatósági tevékenység stb.) mind olyan területek, ahol a feldolgozott adatok többsége közvetlen vagy közvetett kapcsolatban áll az erdőterülettel. Indokolt tehát, ha az erdőgazdálkodásban alkalmazott információs rendszerek a térbeli adatok kezelésére is fel vannak készítve.

Magyarország erdőállományainak leíró adatbázisa 1976 óta az egész országot lefedően működik. Az adatbázis a relációs adatmodell szerint épül fel; az adattáblák közötti kapcsolatot a *Hely-Tag-Részlet-Alrészlet* adatmezőkkel, mint kulcsmezőkkel oldották meg. Ennek a struktúrának köszönhetően a különböző jellegű adatokat tartalmazó, fizikailag különálló adattáblák tetszés szerinti mélységig összekapcsolhatók, az információs rendszerben mint egységes adatbázis jeleníthetők meg (Czímber, 1997).

A térinformatikai alkalmazások elterjedésével párhuzamosan merült fel az igény az erdőállomány adattár geoinformációs rendszerré fejlesztése iránt. A kezdeti, esetenként egymástól független kísérletek után a speciálisan a magyarországi erdőgazdálkodás igényeinek megfelelően fejlesztett DigiTerra Map szoftver és adatformátumai 1997-től az Állami Erdészeti Szolgálat által alkalmazott geoinformációs rendszerek alapjává vált, így – az ÁESZ vonatkozó Végrehajtási Utasítása alapján – az erdészeti térképek digitalizálása is ezen program felhasználásával történt (ÁESZ, 1999). 2003-ra Magyarország erdőterületének 100%-áról elkészültek a digitális üzemtervi térképek.

A térinformatika gazdálkodást támogató funkcióinak felismerését követően az állami erdőgazdaságok is kialakították saját geoinformációs rendszereiket. A zökkenőmentes adatcsere érdekében, valamint a szoftver hatékonyságának ismeretében a legtöbb erdőgazdaság információs



1.4. ábra. Az erdészeti útügyi információs rendszer és kapcsolatai (Markó, 2006).

rendszere kialakításánál szintén a DigiTerra megoldásait választotta. A térképező funkciókat megvalósító alapszoftverhez különböző erdészeti szakmai modulok (erdőművelés, csemetetermesztés, fahasználat, vadgazdálkodás stb.) illeszthetők, amelyek az erdőgazdálkodási tevékenységek szinte teljes vertikumában nyújtanak tervező, döntéstámogató funkciókat.

1.6. Az Erdészeti Útügyi Információs Rendszer (EUIR)

A tartamos, többcélú és természetközeli (TTT) erdőgazdálkodásban az erdőfeltárás biztosítja azt, hogy az erdő életébe szükséges beavatkozásokat megfelelő időben és módon hajtsuk végre. Az erdő feltárása az erdő életébe komoly beavatkozást jelent, amit nem szabad a pillanatnyi érdekeknek alárendelve végezni, hanem csak komoly műszaki, ökológiai és közgazdasági elemzéseket követően lehet megvalósítani (Kosztka, 2000).

A nagy területen dolgozó erdőgazdálkodás termelését a szállítás köti össze. A biztonságos vevőkiszolgálást egy logisztikai rendszeren keresztül lehet megvalósítani, amelynek nélkülözhetetlen eleme egy megfelelő szállítópálya. Az anyagmozgatásra fordított költségek beépülnek az árú árába, ezért annak csökkentésére kell törekedni. Ennek jelentős része a szállítás energiaigénye, amelyet a szállítópálya minősége befolyásol.

Az erdészeti utak, amelyek hálózata alapvetően meghatározza a feltárt terület megközelíthetőségét, a tervezést és megépítést követően fenntartásra szorul. A létrejött feltáróhálózat a kialakulását befolyásoló tényezők változásával folyamatosan újragondolt dinamikus fejlesztést kíván. Ezeket a feladatokat csak egy geoinformatikai rendszerben megjelenő pontos digitális térképi és az ehhez rendelt leíró adatbázis felhasználásával lehet megoldani. Az úthálózat fejlesztése és fenntartási munkáinak szervezése megköveteli az utak vonalvezetésének pontos digitális térképi ábrázolását, hogy a hozzájuk kapcsolt adatok a valóságnak minél jobban megfeleljenek.

Az erdészeti útfenntartás rendszer alapelveit először Kosztka (1986) munkája foglalta össze. Erre alapozva később Markó (2006) bevezeti az Erdészeti Útügyi Információs Rendszer (EUIR) fogalmát, ami már teljesen geoinformatikai megközelítésű (1.4 ábra). Definíció szerint:

"Az erdészeti útügyi információs rendszer egy olyan speciális geoinformációs rendszer, amely a feltáróhálózatot ábrázoló térképi és a feltáróhálózathoz kapcsolódó leíró adatok, valamint azok kezelésére kifejlesztett algoritmusok segítségével döntéstámogató funkciókat nyújt a feltáróhálózat fenntartásához és fejlesztéséhez, hatékonyabbá teszi a szállításszervezési munkákat, továbbá hozzájárul a magasabb szintű vevőkiszolgáláshoz".

Az erdészeti utak alkotta hálózat korszerű geoinformatikai alapú nyilvántartása megköveteli, hogy az analóg térképek és a rajtuk lévő információk a digitális térképen ne csak megőrződjenek, hanem azok a hálózat fejlődését követve a lehető legrövidebb átfutással az aktuális információkat tartalmazzák. Ennek első lépése a papíralapú térképek áttekintése, a rajtuk lévő útvonalak beazonosítása és bemérése.

Az EUIR rendszerben az útleltár alapegysége a feltáró út, mint önállóan megjelenő hálózati elem. Ezt az út számával és nevével lehet jellemezni. Az útszakasz az útnak azon része, amelyen a lefutó forgalom a szakaszon belül azonos nagyságú. Ez azt jelenti, hogy önálló elemnek kell tekinteni mindig két becsatlakozó út közé eső darabot. A szektor pedig az útszakasznak az a része, amelyen azonos állapotfenntartási munkákat kell elvégezni (Kosztka, 1986; Kosztka, 2001). Az EUIR rendszeren belül az utak vonalvezetését GPS vonalmérés és légifelvétel alapján, a valószínűsíthető tengelyvonal rekonstruálásával határozzák meg.

1.6.1. A feltáráshálózat környezetének ábrázolása

1.6.1.1. Az erdőterület digitális térképe

Az erdőgazdaság által kezelt terület vektoros digitális térképe mint a feltáráshálózat közvetlen környezete szerepel az információs rendszerben. Az erdészeti alaptérkép megjelenítése a pont, vonal, terület típusú elemekkel különösebb magyarázatot nem igényel; a témával a DigiTerra Map program interneten is elérhető kézikönyve részletesen foglalkozik.

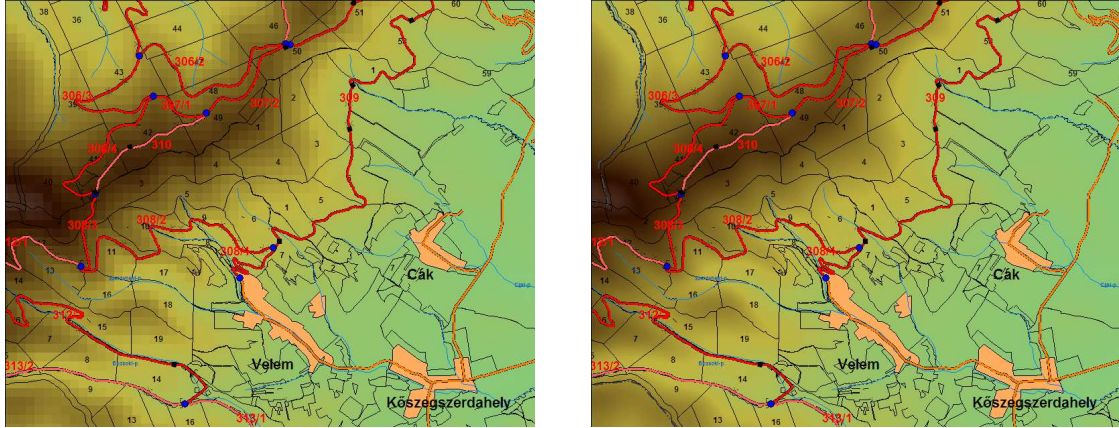
1.6.1.2. Közúthálózat

Az erdészeti feltáráshálózaton folyó szállítási műveletek többségükben közúti kapcsolatokon keresztül bonyolódnak le, ezért a feltáráshálózat ábrázolásakor a közúthálózat érintett része mindenképpen megjelenítendő. A közutak ábrázolása egyszerűbb esetben a digitális erdészeti térkép, vagy valamely országos geoinformatikai adatbázis (DTA-50) felhasználásával valósítható meg. Logisztikai irányú fejlesztések esetében azonban a környező közúthálózatot is az erdészeti úthálózat topológiájának megfelelően kell ábrázolni. Az erdészeti feltáráshálózatok ábrázolásának topológiáját a közúti ágazat vonatkozó előírásainak figyelembe vételével úgy alakítottuk ki, hogy az erdészeti utak beilleszthetők legyenek egy egységes rendszerbe.

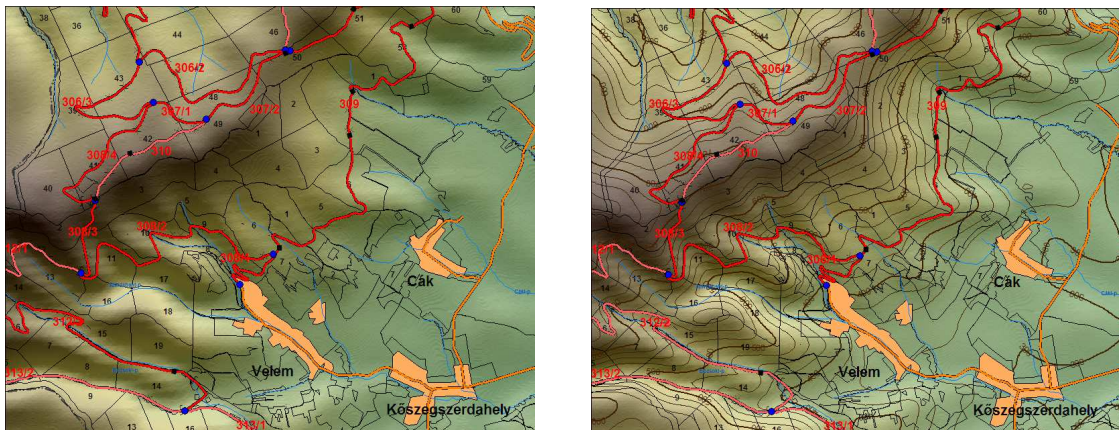
1.6.1.3. Domborzat

Hegy- és dombvidéki erdőterületek feltáráshálózatának vizsgálatokor a domborzat megfelelő megjelenítése kiemelkedő fontosságú. Geoinformációs rendszer esetében az egyes útszakaszokra gravitáló erdőrészeket kijelölésekor, a meglévő utak közelítő magassági vonalvezetésének meghatározásakor, vagy a hálózat bővítésének tervezésekor mindig központi szerepe van a domborzatmodellnek. A domborzat megjelenítésére és elemzésére a következő eljárást dolgoztuk ki:

- Nagy kiterjedésű területről lévén szó, célszerű valamely országos magassági adatbázis megfelelő kivágatának a használata.
- A domborzatmodell meglehetősen nagy (100 × 100 m) felbontású raszter, amelyet a megjelenítéshez finomítani kell.
- Generálunk egy, a raszter felbontásának megfelelő vektoros felületmodellt úgy, hogy a háromszögek csúcspontjai a raszteres felületmodell pixeleinek közepén helyezkednek el.
- A vektoros felületmodell 10 × 10 m horizontális felbontású raszterizálásával előállítunk egy finomabb felületmodellt.



1.5. ábra. A domborzatmodell horizontális felbontásának finomítása.



1.6. ábra. Domborító lineáris filter és a vektoros felületből levezetett szintvonalak.

- A raszteres felületmodellt domborító lineáris filter alkalmazásával lehet igazán plasztikusan megjeleníteni.
- A vektoros felületmodell felhasználásával szintvonalak generálhatók, illetve semleges vonalak tervezhetők.

1.6.2. A feltáráshálózat térbeli megjelenése

A geoinformatikai ábrázolás során az utakat vektoros adatmodellben, vonal típusú elemekként, tengelyvonalukkal definiáljuk. A feltáráshálózatot alkotó utak ábrázolásakor alapvetően két probléma merül fel: először meg kell határozni a hálózati kapcsolatok bemutatásának módját (topológia kialakítása), majd elő kell állítani az úttengelyek minél pontosabb (a valós helyzetnek megfelelő) geometriáját.

1.6.2.1. A feltáráshálózat topológiája

A topológia a geometriai elemek térbeli kapcsolatát írja le, ami a vektoros geoinformatikai adatok elemzésében nélkülözhetetlen. Úthálózatok ábrázolására a *csomópont–vonal–csomópont topológia* alkalmas, amelynek segítségével megállapítható, hogy milyen útvonalakon juthatunk el az egyik csomópontból egy másikba. Ez a topológia lehetővé teszi a hálózati elemzéseket végző algoritmusok működését, továbbá alkalmas a csatlakozási hibák felderítésére is (Czímber, 1997).

Az EUIR-ben ábrázolt feltáráshálózat topológiája a következők szerint épül fel:

- Az *út* egy leltári egységet képező vonalas létesítményt jelent. Minden úthoz egyedi azonosítót (útkód) rendelünk (pl.: útnév: Steyerházi út, útkód: 306.)
- A folyamatos vonalként ábrázolt úttengelyeket a csomópontoknál „feldaraboljuk”, így *szakaszok* alakulnak ki.
- A szakaszokat egyedi azonosítóval (útkód/szakasz) látjuk el (pl.: 306/1).
- A *csomópontok* a szakaszok metszéspontjaiban és a végpontokban helyezkednek el, pont típusú objektumként ábrázolva, egyedi azonosítóval ellátva.
- A szakaszokhoz hozzárendeljük a kezdő- és végpont csomópontjának azonosítóját.
- Két csomópont között elhelyezkedő pontszerű *objektum* (rakodó, műtárgy stb.) helyzetének rögzítésekor megadjuk az objektumot tartalmazó szakasz azonosítóját és az objektumnak a szakasz, valamint az út kezdőpontjától mért távolságát.

1.6.2.2. Az erdőgazdasági úthálózatok felmérése

Az EUIR geoinformatikai megközelítése megköveteli, hogy az utak vektoros adatmodellben, vonal típusú elemekként, tengelyvonalukkal legyenek definiálva. A feltáráshálózatot alkotó utak ábrázolásakor alapvetően két problémát kell megoldani: először meg kell határozni a hálózati kapcsolatokat, majd elő kell állítani az úttengelyek minél pontosabb geometriáját. A topológia a geometriai elemek térbeli kapcsolatát írja le, ami a vektoros geoinformatikai adatok elemzéséhez nélkülözhetetlen. Úthálózatok ábrázolására a *csomópont - vonal - csomópont* topológia terjedt el. Egy lehetséges megvalósítás olvasható Markó (2006) dolgozatában. Az úttengelyek szerkesztése az alábbi alapadatokra támaszkodva történhet:

- Terepi mérésorozat:
 - Mérőállomással részletmérés, vagy
 - GPS technológia.

- Digitális térkép:
 - Hivatalos üzemtervi térkép.
 - Topográfiai térkép és ortofotó.
 - Online térképszolgáltatás.

Utak felmérése mérőállomással Az utak felmérése az útkoronán vezetett sokszögvonala, valamint a sokszögpontokról végzett részletmérések megvalósításával az elérhető legnagyobb pontosságot biztosítja. A sokszögvonal kezdő- és végpontját alappontok hiányában geodéziai pontosságú GPS méréssel kell meghatározni, majd a sokszögvonalat beillesztett vonalként célszerű számítani. Hosszú sokszögvonalak esetében a megbízhatóság növelése érdekében 2 kilométerenként további GPS alappontokat kell elhelyezni. A részletmérés elvégzésekor az úttengely helyett célszerű a burkolatszéleket felmérni, az út tengelyét az irodai feldolgozáskor állítjuk elő.

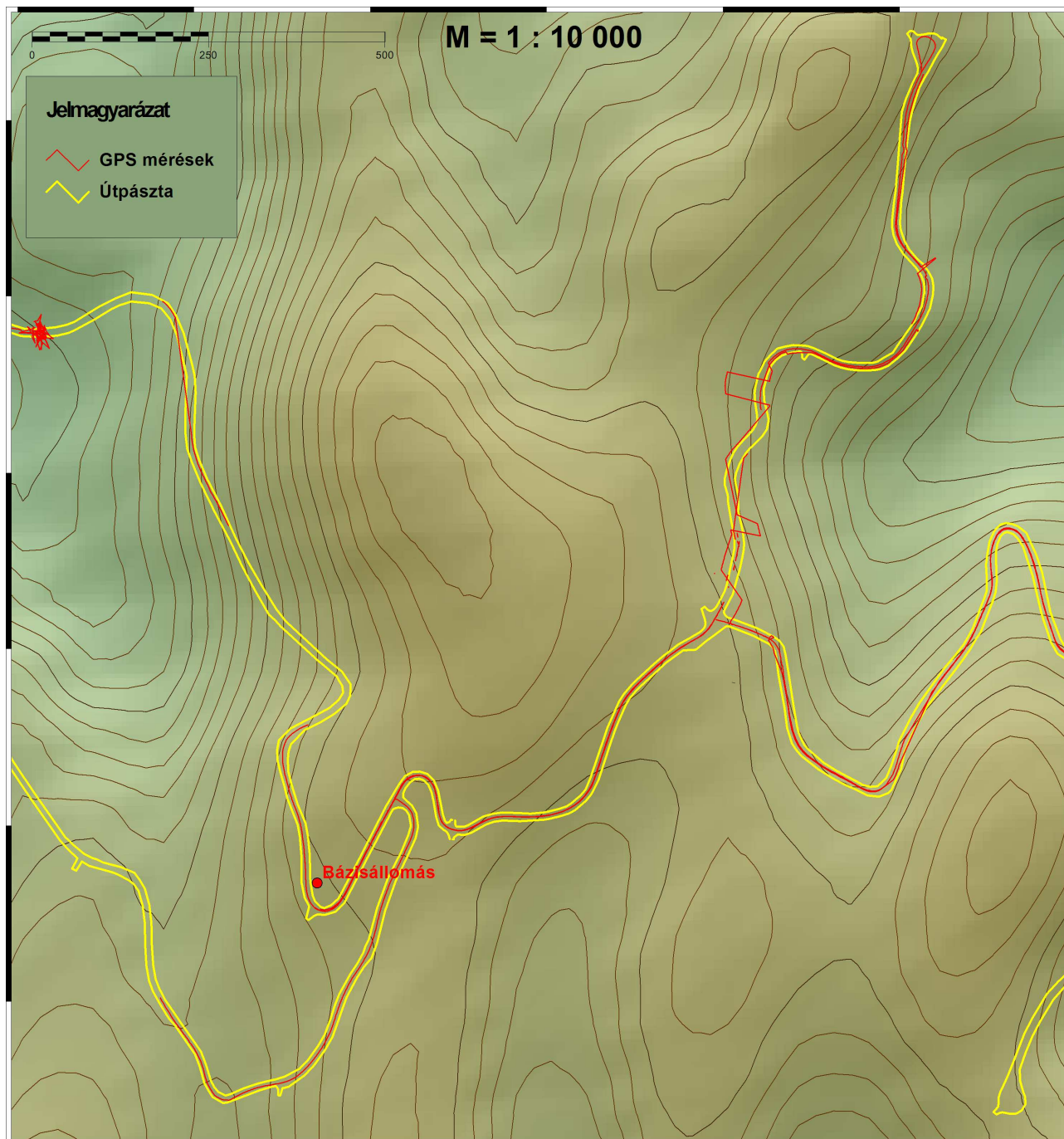
Egy erdőgazdaság több száz km hosszú feltáróhálózatán a burkolatszélek mérőállomással történő felmérése csak aránytalanul nagy költségek árán valósítható meg, így a már meglévő utak esetében ezt a módszert a gyakorlatban el kell vetni. Új utak esetében azonban az útépitést követően, a *megvalósulási terv* készítésekor végzett terepi részletmérés eredményeit – mivel azok EOV vetületben állnak rendelkezésre – előnyösen fel lehet használni az új út információs rendszerbe illesztésénél.

GPS technológia úttengelyek felmérésében A GPS technológia – erdészeti körülmények között – 2004-ben került először alkalmazásra a Zalai Erdészeti és Faipari Zrt. Csácsi II. o. feltáróútjának felmérésénél. Az úttengely méréshez differenciális kinematikus GPS mérést alkalmaztak utólagos feldolgozással. A GPS mérés eredményeit az út megépítése után készült nagy pontosságú digitális megvalósulási térképpel vetették össze (Kovács, 2003). A feldolgozott mérési eredményeket az 1.7. ábra mutatja be. A vizsgálat a következő tapasztalatokkal zárult (Markó és Péterfalvi, 2005):

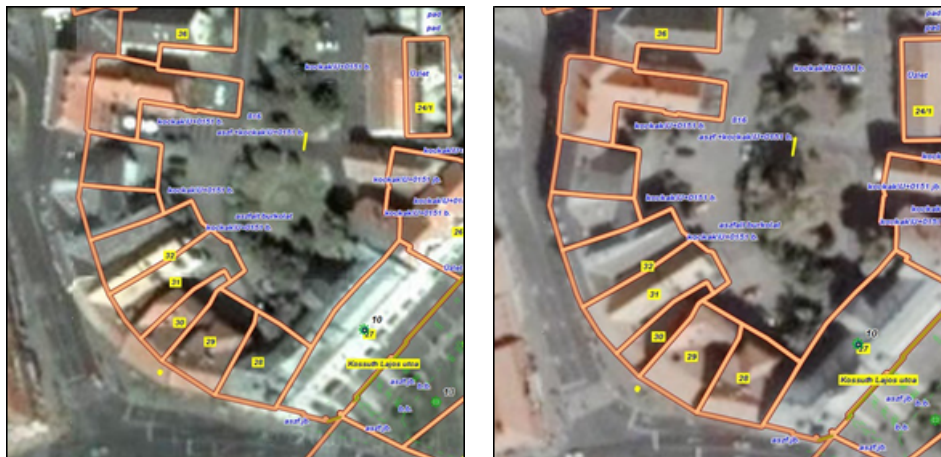
- A technológia alkalmas az erdészeti utak tengelyének nagy pontosságú (szubméteres) felmérésére.
- A mérési eljárás fő korlátozó tényezője a faállomány és a domborzati viszonyok.
- A GPS-el nem mérhető szakaszokat digitális tachimetrálással kell felvenni.

A terepi mérések alatt szerzett gyakorlati tapasztalatok alapján azt mondhatjuk, hogy jelenleg az erdészeti üzemi térképek pontosságát kell elfogadnunk. A GPS technológia és digitális tachimetrála kombinációjával megvalósított pontos terepi mérésre támaszkodó úttengely-szerkesztés kivitelezése idő-, eszköz- és költségigényes. Az információs rendszerben ábrázolt úttengelyeket az üzemi térképen kell megjeleníteni, ezért az úttengelyek pontos ábrázolása megkövetelné az üzemtervi térképek hasonló mértékű pontosítását is (így elkerülve a belső ellentmondásokat), ami a közeljövőben feltehetően nem valósítható meg. Az erdőgazdaságok logisztikai rendszerének kiépítését és a navigációs eszközök szélesebb körben való elterjedését követően a jövőben szükség lehet a feltáróhálózat pontosabb ábrázolására, ezért az ilyen irányú kutatásokat folytatni kell.

Online térképszolgáltatások alkalmazása az úttengelyek felmérésében Általában az erdőgazdaságok által rendelkezésre bocsátott üzemi térképek vagy légi felvételek felhasználásával – az egyes utak páasztaközepét tekintve tengelynek – hozhatóak létre az úttengelyek felüldigitálizálásával. Sajnos ezek a térképi források nem mindig állnak rendelkezésre. Manapság viszont már számos olyan online térképszolgáltatás is akad (Google Maps, Bing Maps, Yahoo Map, Open Street Map stb.) amely kiváló vektoros és műholdas felvételeket tesz elérhetővé a felhasználók számára, ezek közül a legismertebb a Google Maps és a Bing Maps.



1.7. ábra. A GPS-méréssorozat eredménye.



1.8. ábra. Google Maps (bal) és Bing Maps (jobb) a FÖMI vektoros réteg alatt.



1.9. ábra. Rekonstruált úttengely (piros vonal), Bing Maps vektor réteg (fehér vonal).

Az egyes térképszolgáltatók között felhasználói szemmel nehéz különbséget tenni, de az adatforrások pontosságát tekintve már nagy szórás tapasztalható. Ebből a szempontból a Google Maps és a Bings Maps egy nem reprezentatív összehasonlítása olvasható a DigiTerra Magazinban¹. A vizsgálat alatt Veszprém város műholdfelvételeit a Google és a Bing térképszolgáltatásától szereztek be (1.8 ábra). Ezekre a felvételekre ráhelyezve a FÖMI (Földmérési és Távérzékelési Intézet) hivatalos földmérési térképét egyből szembevetünk az egyes források pontosságát. Veszprémben a Microsoft Bing Maps (jobb oldali kép) pontosabb, mint a Google Maps, mivel ez utóbbinak nagyon csekély az abszolút pontosságú felvétele. Ezt érdemes mindig szem előtt tartani az online térképek használatakor. A pontosság persze relatív, mivel az online forrás eredete és frissessége nem ismert és nem is garantált egységesen mindenhol. Ezzel szemben a Föld minden pontjáról tartalmaznak felvételeket és ingyen elérhetőek.

Az online térképen digitalizált úttengelyek pontossága átlagosan ± 3 méter körüli a geodéziai felméréshez képest, ami az útleltár szempontjából elégséges (1.9 ábra). Hasonló pontosság érhető el komolyabb vevővel rendelkező kézi GPS-ek használatával is. Abban az esetben, ha ennél nagyobb pontosságra van szükség, mindenképpen a FÖMI által forgalmazott alaptérképek és légi felvételek megvásárlása szükséges, bár még így is maradhat belső ellentmondás, amit csak geodéziai felméréssel lehetséges megnyugtatóan tisztázni.

¹<http://blog.digiterra.hu>

A rekonstruált úttengelyekhez hozzárendeljük az útkódot, a burkolattípust, az út hosszát, a különféle állapotjelzők értékeit, az úton elhelyezkedő objektumokat (sorompó, csőáteresztő, rakodó, stb.), valamint az útról készült fényképeket, létrehozva így egy átfogó geoinformációs rendszert. Az érdeklődő olvasó további részleteket találhat Kosztka (2001) és Markó (2006) munkájában.

1.7. Az útgazdálkodási-rendszer adatigénye

1.7.1. Műszaki (leltár jellegű) adatok

A pályaszerkezet-gazdálkodás folyamatához mindig szükséges ismerni az úthálózatot alkotó feltáróutak műszaki jellemzőit. A hálózatot kezelő szervezettől függ az adatigény részletessége. A legfontosabb műszaki adatok Gáspár (2003) munkája alapján:

- a hálózat topológiai felépítése,
- a pályaszerkezeti adatok,
- a geometriai paraméterek,
- a forgalmi terhelések,
- és a környezeti jellemzők.

Ezek ismerete szükséges minden PMS számára. Az úthálózat pillanatnyi állapotának ismeretén túl a korábbi építési és fenntartási információk megléte is elengedhetetlen. A felsorolt műszaki adatok az úthálózat szisztematikus leltározása mellett gyűjthetők be. A leltározás alapvetően a következő elemekből áll össze: a felveendő adattípusok kijelölése, az útszakasz helyazonosítási rendszerének kiválasztása, adatgyűjtés és tárolás adatbázisban.

1.7.1.1. Az útszakasz helyazonosítása

A helyazonosítás célja, hogy az egyes útszakaszok hálózaton belüli helyzetét egyértelműen tudjuk rögzíteni. Az út-kilométer szelvény típusú helyazonosítás a hagyományos eljárás. Ilyenkor az egyes útvonalaknak nevet vagy számot adnak, kezdőpontját meghatározzák majd az ettől számított kilométerszelvényeket az út mentén kijelölik. A csomópont alapú rendszerek a hálózat kiemelt pontjait csomópontoknak tekintik és közöttük szakaszokat definiálnak. A koordináta alapú rendszerek pedig az egyes hálózati elemek helyét egy viszonyítási rendszerben definiálják. A műhold alapú helymeghatározás valamint a térinformatikai (Geographic Information System, GIS) rendszerek terjedése mindenképpen megköveteli a helyazonosítás ezen formáját.

1.7.1.2. Az útszakaszok definiálása

A helyazonosítási rendszerről történő döntést követően, az egyes útszakaszokat kell az adatbázis céljaira definiálni. Az útburkolat-gazdálkodási adatbázis teljes szerkezetét az útszakaszok kijelölési formája alapvetően befolyásolja.

1.7.1.3. A geometriai paraméterek felvétele

A geometriai paraméterek felvétele az útszakaszok fizikai jellemzőinek leltározását jelenti. Minden egyes útszakasz esetében a következő típusú információk felvételéről van szó: helyazonosítás és szakaszhossz, úttípus, sávszám, burkolatszélesség, a padka típusa és szélessége, hosszesés, oldalesés, ívviszonyok, a szegély jellemzői. Mindezek az adatok alapvető tervezési információként szolgálnak és lehetővé teszik annak megítélését, hogy az útszakasz geometriai paraméterei az érvényes szabályozások követelményeit kielégítik-e. Elemzésük akár az átépítések szükségességét is megalapozhatja.

1.7.1.4. A pályaszerkezeti adatok felvétele

A pályaszerkezeti leltáradatok tulajdonképpen az építési információk történeti adatsorával egyeznek meg. Sok intézmény csupán a burkolattípust tartja nyilván, ami egy jól működő létesítmény szintű PMS-hez elégtelen információt szolgáltat. A pályaszerkezetről az egyes rétegek típusát és vastagságát, valamint azok készítési idejét kell nyilvántartani. A pályaszerkezeti leltáradatok közé tartoznak a nagyobb méretű fenntartásokról és felújításokról szóló információk is.

1.7.1.5. Költségadatok

Ezek között tartják nyilván az építés, a fenntartás és felújítás költségeit. Az építési és felújítási költségek korábban befejezett projektek nyilvántartásaiból, becsléseiből és vizsgálataiból származnak. Ezeket a fajlagos költségadatokat legalább évenként frissíteni kell.

1.7.1.6. Környezeti és víztelenítési adatok

A környezeti viszonyok az útburkolatok leromlási folyamatára komoly hatást gyakorolnak. Számos olyan paraméter lehetséges, amely a környezeti viszonyok jellemzésére felhasználható pl. csapadékmennyiség, fagyási index, vízáteresztő képesség stb. Ezek ellenére a víztelenítés jellemzésére a jó, közepes és rossz típusú szubjektív értékelés terjedt el leginkább.

1.7.1.7. Forgalmi adatok

A burkolat igénybevétele szempontjából a nehéz gépjárművek forgalma a mértékadó, ami erdészeti utak esetében jellemzően a faanyagmozgatásból származik. Amennyiben jelentős, előre kalkulálható egyéb nehézgépjármű-forgalom is jelentkezik természetesen azt is figyelembe kell venni. A különböző járműtípusok által keltett forgalmat 100 kN egység tengely-áthaladás formájában kell kifejezni, hogy a pályaszerkezetre gyakorolt hatásuk összemérhető legyen. Az útburkolat-gazdálkodásban a forgalmi adatokat a felújítási projektek kiválasztása közben szükségessé váló előrebecslésében és elsőbbségi sorolásában hasznosítják.

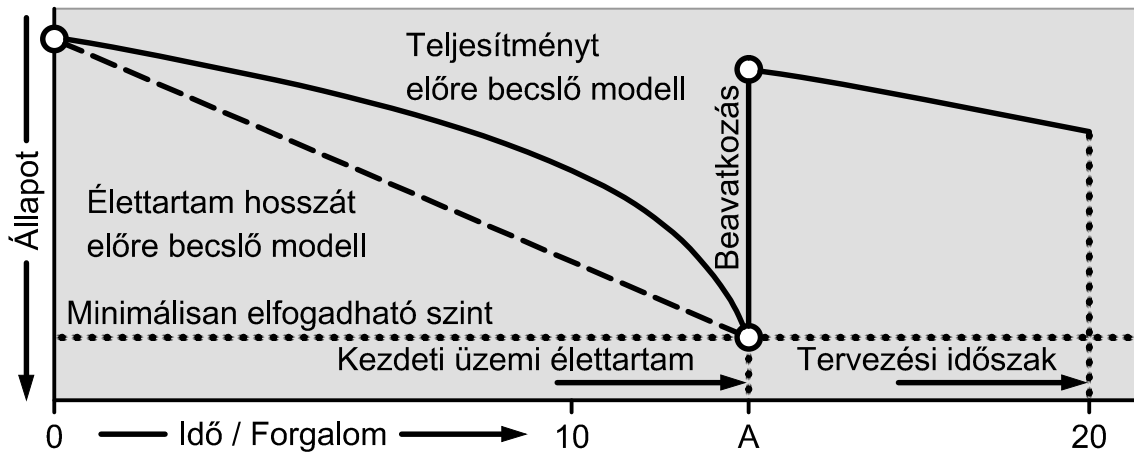
1.7.2. Állapot (teljesítmény jellegű) adatok

Az út állapota az idő függvényében változik. Annak érdekében, hogy az egyes útszakaszokon felmerülő beavatkozások időpontjait meg lehessen határozni, szükség van a burkolat állapotát jellemző paraméterek időbeni változásának előrebecslésére. Így a burkolatállapot-jellemzés információkhoz juttatja egyrészt a távlati tervezéssel foglalkozókat a hálózati szintű meghibásodások felmérése révén, másrészt a tervezőket a létesítmény részletes elemzésekor.

Az út állapotváltozását előidéző tényezők nagy száma és az út egyes elemein kifejtett eltérő hatásuk miatt az utak leromlása bonyolult összefüggések szerint játszódik le, amelyet általános érvényű analitikus egyenletekkel jelenleg nem tudunk megnyugtatóan leírni, csak közelítő tapasztalati összefüggéseket ismerünk (Kosztka, 2001).

Az útpályaszerkezetek teljesítményét (performance) az egész élettartamra, vagyis a tervezési időszakra szokták előre becsülni az útgazdálkodási-rendszerek. Ennek a teljesítőképességnek a jellemzésére több eltérő teljesítmény mérőszámot (performance indicator) is kidolgoztak. Ezek közül a legtöbb pályaszerkezet-gazdálkodási rendszer (PMS) a következő négy burkolatállapot jellemzőt veszi figyelembe:

1. használhatóság (járhatóság),
2. teherbírás (szerkezeti megfelelés),
3. felületi hibák,
4. biztonsági paraméterek (keréknyomvályú, súrlódási együttható stb.).



1.10. ábra. Egy általános pályaszerkezet teljesítmény előre becslő modell (Gáspár, 2003).

A *használhatósági teljesítmény* rendszerint a burkolat általános funkciójával hozható kapcsolatba (járófelület állapota) és ezért főleg az úthasználók számára érdekes. Ugyanakkor az útpályaszerkezetek *mechanisztikus értékelése* (teherbírás) az útgazdálkodással foglalkozó mérnökök számára nélkülözhetetlen. Fontos a két fajta jellemzéstípus közötti különbség megértése. A használhatóság a jelenlegi állapotot, a mechanisztikus vagy szerkezeti megfelelés pedig a burkolatnak a terheléssel (forgalommal) szembeni jövőbeli reakcióját jellemzi inkább.

Ma már számos statisztikai és analitikai eszköz áll rendelkezésünkre az előrejelzési modellek kifejlesztéséhez. Ezek legtöbbször korreláció vizsgálatokat, regressziós analízist vagy idősorozat modelleket stb. tartalmaznak. A gyakorlatban leginkább a mechanisztikus-empirikus és a regressziós leromlási modellek terjedtek el. Az első esetben a reakcióparaméter regressziós egyenletek közvetítésével olyan mért szerkezeti vagy funkcionális leromlásfajtákkal függ össze, mint a burkolat felületi hibái vagy egyenletességei, míg a másodikban a leromlás függő változóját egy vagy több olyan független változóval hozzák kapcsolatba, mint a földmű szilárdsága vagy a tengelyterhelés ismétlődési száma (Gáspár, 2003). Ebben az esetben a szórásdiagram segít a modell matematikai alakjának megállapításában. Fontos, hogy a modell kialakításához „történeti” adatokat használjunk fel, valamint az, hogy pontosan fogalmazzuk meg elvárásainkat a modellel szemben. Az 1.10. ábra egy általános teljesítmény előrebecslő modell felépítését mutatja be.

A modell alapján a tönkremenetel folyamatában három szakaszt lehet elkülöníteni. A kezdeti időszakban a leromlás folyamata lassú, az útfenntartás feladata ilyenkor a keletkező lokális hibák rendbetétele. Később a leromlás felgyorsul, a beavatkozások sűrűsége, mennyisége és sürgőssége is megnő. Ezt a szakaszt egy figyelmeztető tartománynak kell tekinteni, ami arra hívja fel a figyelmet, hogy az út állapotát valamilyen komolyabb karbantartási módszerrel helyre kell állítani. Végül az út rohamosan tönkremegy, azt megállítani már csak komolyabb, építés jellegű felújítással (pályaszerkezet rekonstrukció, új burkolat vagy kopóréteg építés stb.) lehet. Az alkalmazott állapotjellemző paraméter minimálisan elfogadható szintjének változtatásával lehet szabályozni, hogy mikor kerüljön sor a felújításra (Kosztka, 1988; Kosztka, 1990). Vagyis ennek segítségével lehetséges eltérő pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiákat kidolgozni. Az útburkolat-leromlási modellkészítésnek a PMS szempontjából tehát kettős a jelentősége (Loizos, 2006):

- a modellezett leromlás jellege, időpontja, kiterjedése és súlyossága a szóbanjövő modellezett beavatkozás jellemzőivel közvetlen kapcsolatba hozható,
- az útburkolat leromlásának mértéke a fenntartási költségek modelljét befolyásolja, így ha a leromlási modell nem reális akkor a költség modell sem lesz az.

Ezért a megbízható burkolatleromlás-modellezés a használható és gazdaságilag hatékony beavat-

kozási választások és tervezési elképzelések kialakításának egyik legfontosabb feltétele (Bakó és Gáspár, 2000).

1.8. Általános szempontok az állapotjelzők kiválasztásához

Az útpályaszerkezetek burkolatának állapota közvetlen kapcsolatban van a forgalmi költségek valamint a leromlási folyamat alakulásával, amit a vízelvezetés minősége is jelentős mértékben befolyásol. Ezért az állapotfelvételi és értékelési munkák elvégzésének szempontjából nem közböns, hogy milyen állapotjelző paramétereket választunk ki az út állapotának leírására. Az útfenntartás szempontjából ezért vizsgálni kell (Kosztka, 1986; Kosztka, 2001):

- a pályaszerkezet használhatóságát;
- a padkák minőségét;
- a vízelvezető berendezések (árkok, áteresztők stb.) állapotát;
- a növényzet helyzetét.

A pályaszerkezet használhatóságát kifejező tulajdonságok:

- a burkolat felszíni állapota (kátyúk, repedések stb.);
- a pályaszerkezet teherbírása;
- a keréknyomképződés;
- a burkolat felületének egyenletessége, ill. hullámossága;
- a burkolat erőfelvevő képessége (teherbírás);
- a pályaszerkezet szélének állapota.

Ezek nagyságát egyes jellemzőknél objektíven mérjük, másoknál pedig szubjektív szemrevételezéssel minősítjük. Mivel jelenleg még nincsen mód minden tulajdonság esetében az objektív mérések elvégzésére, ezért a nehezen mérhető pályaszerkezet paramétereket egy szubjektív mérőszámmal fejezzük ki.

2. fejezet

Az úthálózat forgalma

Az erdészeti utak forgalmát a faanyagszállítás, az irányítással összefüggő tevékenységek, a közjóléti szolgáltatások és egyéb forgalomkeltő hatások hozzák létre. A pályaszerkezetek tönkremenetelét okozó nehéz forgalmat mértékadóan a faanyagszállítás kelti. A közjóléti szolgáltatások nehéz forgalmat csak akkor okoznak, ha a kirándulókat autóbuszokkal szállítják az utakon. Ilyen forgalommal csak kimondottan parkerdőt vagy kirándulóerdőt feltáró utakon kell számolni. A nehéz forgalom generálásában jelentős szerepet játszhatnak még idegen vállalatok és intézmények, amelyek az utat vagy annak egy-egy szakaszát folyamatosan igénybe veszik. Ilyen lehet pl. a területen lévő mezőgazdálkodók, vagy egy-egy egészen kis település, amely csak az erdészeti úton keresztül közelíthető meg, különösen akkor, ha ezen menetrendszerű autóbuszjárat közlekedik. Ennek a forgalomnak az arányát azért is fontos meghatározni, mert így objektív adatok alapján jogosan lehet igényelni azt, hogy ezek az idegen úthasználók forgalmukkal arányos útfenntartási terheket viseljenek. A többi tényező nehéz forgalmat keltő hatása általában elhanyagolható, ezek inkább a pálya felületi állapotával szemben támasztanak magasabb igényeket.

A különböző járműtípusok által keltett forgalmat 100 kN egységtengely-áthaladás (db) formában kell kifejezni, hogy a pályaszerkezetre gyakorolt hatásuk összemérhető legyen.

A forgalom jellemzőinek vizsgálatát két időszakra bontva kell elvégezni. Egyrészt meg kell határozni egy rövidebb időszakra, amit a rövidtávú tervezéseknél használunk fel, másrészt meg kell állapítani a forgalom fejlődésének hosszútávú alakulását az útfenntartási stratégia kidolgozása érdekében.

A rövidtávú forgalmi elemzéseket az üzemtervi és erdőtervi adatokra, a fahasználati tervekre és a meglévő szállítójárművek jellemzőire támaszkodva viszonylag egyszerűen el lehet végezni. A hosszútávú elemzések végrehajtásánál már több bizonytalansággal kell számolni. Addig ugyanis, amíg a szállítási feladat nagyságának változása az üzemtervek adatai alapján jól megbecsülhető, addig a szállítójárműpark változása hosszútávon nehezen, vagy egyáltalán nem jósolható meg.

Egy adott úthálózat forgalmi elemzését a fatérfoogatatok és a pillanatnyilag használt szállítójármű-állomány alapján végezzük el három idősíkon:

- a közvetlen operatív beavatkozást befolyásoló rövidtávú értékelés, amely a tervezést követő évre vonatkozik;
- a középtávú tervezéshez szükséges forgalmat, amely az üzemterv érvényességi idejét öleli fel;
- a hosszútávú tervezést elősegítő elemzés az érvényes üzemtervezési ciklust követő 10 év.

2.1. A forgalom elemzés módszere

A pályaszerkezet leromlását előidéző, illetve az útszakasz jelentőségét meghatározó mértékadó forgalom nagyságát két ütemben tudjuk meghatározni. Az első ütemben az útszakaszhoz ren-

delt gravitációs körzetből a vizsgált időszak alatt kitermelt fatérfogat elszállításából valamint az egyéb forgalomkeltő hatásokból származó forgalom alapján meg kell határozni az útszakasz saját forgalmát. A második ütemben a hálózati kapcsolatok elemzésénél (szállítási irányok szerinti forgalommegoszlás, egymás forgalmát növelő útszakaszok kapcsolatai stb.) feltárt hálózati összefüggések alapján a saját forgalmakat egymásra kell terhelni, ezzel megkapjuk a mértékadónak tekinthető hálózati forgalmat (Kosztka, 2001).

A saját forgalom elemzésének lépései a következők:

- az úthálózat elemeinek meghatározása, az úthálózat szakaszokra bontása;
- útszakaszok gravitációs körzeteinek lehatárolása;
- különböző vizsgálati időszakokban a gravitációs körzetből kitermelt faanyag mennyiségének meghatározása;
- fatérfogatadatok átszámítása a különböző szállítóeszközök eltérő hatását is figyelembevevő forgalomnagyságra jellemző mérőszámmá (100 kN egységtengelyek áthaladása db);
- egyéb hatásokból származó forgalom meghatározása, összegezése az előbbivel.

A hálózati forgalom meghatározásának lépései:

- hálózati összefüggések felderítése (melyik szakasz hova kapcsolódik), amit már az útvonal szakaszolásánál figyelembe kell venni;
- szakaszon belül a szállítások irányának felderítése;
- saját forgalom felosztása irányok szerint;
- csatlakozó utak forgalmának összegezése.

2.2. Az úthálózat elemeinek meghatározása

Az utak elemekre bontását a hálózatban betöltött szerepük alapján kell elvégezni, amelyet a rajtuk áthaladó forgalom nagyságával lehet jellemezni. Az útszakaszok elkülönítését ezért úgy kell elvégezni, hogy az azokon lefutó forgalom a szakaszon belül azonos nagyságú legyen. Ez végül is azt jelenti, hogy önálló elemnek kell tekinteni mindig két becsatlakozó út közé eső darabot. Egy útként kell kezelni az egy leltári egységet képező hálózati elemet. Ezt az út számával (útkód) és nevével lehet jellemezni. Pl.: 002 - Lulla-Börevár. Ezen belül az útszakaszokat egy tört jellel elválasztott sorszámmal kell megadni (szakasz kód). Az útszakasz jele így: 002/2 - Lulla-Börevár.

Az úthálózat elemeinek geoinformatikai ábrázolásában a *szakasz* képezi a relációs adatbázis alapegységét; a szakaszok rendelkeznek térképi adatokkal (koordinátákkal). Az utakhoz rendelhető összes további információ az Útkód+Szakasz kód adatmezőkön keresztül kapcsolódik a térképi objektumokhoz (Markó, 2006).

2.3. Az útszakaszok gravitációs körzeteinek meghatározása

Az útszakaszok elkülönítése után le kell határolni azt a gravitációs körzetet, amelyről a faanyag közvetlenül az adott útszakaszra jut. Az elszállítandó faanyag mennyiségét erdőrészlet (alrészlet) szinten mutatjuk ki. A forgalomelemzés első lépése annak meghatározása, hogy az egyes erdőrészletek melyik útszakaszra gravitálnak. A feladat földrajzi problémáktól mentes sík vidéken viszonylag könnyen megoldható, de szabdalt, dombos, hegyes vidéken már nagyfokú helyismeretet is igényel. A geoinformatikai rendszer támogatást nyújthat ezen feladat megoldása során, de a valóságnak megfelelő szállítási irányok csak a területet és az alkalmazott közelítési technológiákat jól ismerő szakember segítségével jelölhetők ki!

Hosszú szakaszok, vagy szakaszon belüli eltérő szállítási irányok esetében a hálózati kapcsolatokat reprezentáló topológiát segédpontok felvételével módosítjuk. A segédpontok elhelyezését követően a korábbi útszakaszokat tovább „daraboljuk”, aminek eredményeképpen az egyes *szakaszok az azonos forgalmú* egységeket jelentik meg. A segédpontokat a topológiában a továbbiakban a csomópontokkal azonos elvek szerint kezeljük.

2.4. Az erdőrészetekben keletkező leszállítandó fatérfogat

A korábbi útfenntartási tanulmányokban az erdőrészetekben keletkező fatérfogatot három időpontra határozták meg (Kosztka, 1986):

1. Az éves útfenntartási tervek sorrendjének meghatározásakor a tervezett beavatkozás évében jelentkező mennyiségeket.
2. Középtávú tervezéshez az üzemterv érvényességi idejében, illetve erdőterveknél az első ötéves terv végéig (1. ciklusban) tervezett fakitermeléseket.
3. Hosszú távú tervezéshez az üzemterv érvényességét követő 10 év, illetve erdőtervezett területen a 2. és 3. ötéves terv (2. ciklus) feladatait.

Ez a felosztás jól igazodik a korábban készített statikus útfenntartási tervekhez. A geoinformációs rendszertől azonban azt követeljük meg, hogy az abban tárolt adatok folyamatosan aktualizálhatók legyenek, ezért olyan rendszert kell kialakítani, amely tetszőleges intervallumokban képes rögzíteni a jelentkező szállítási feladatokat. Ezzel a megoldással részben kiküszöböljük azt a kellemetlenséget is, hogy az erdőtervek nem ugyanabban az évben készülnek az erdőgazdaság teljes területére.

A keletkező fatérfogat-adatokat a rendelkezésre álló fahasználati tervben és erdőtervben szereplő időszakoknak megfelelően kell rögzíteni. Az időszakok hossza, kezdő- vagy záróéve erdőrészetenként eltérő lehet, sőt a rendszer azt is megengedi, hogy az egyes erdőrészetekben eltérő számú időintervallumot rögzítsünk, vagy hogy az erdőrészet időszakon belüli fatérfogatát jellemző szállítójárművek szerint megosszuk.

Az egyes intervallumokon belül – mivel jobb becsléssel nem rendelkezünk – a jelentkező faanyag megoszlását egyenletesnek tételezzük fel. A megoldás előnye, hogy a későbbi elemzéseknél tetszőlegesen kiválasztott két időpont között erdőrészetenként és járműtípusonként becsülhető a leszállítandó fatérfogat. Az időszakon belüli átlagos érték használata nyilvánvalóan nem fedi a valóságot – egy véghasználatot nem 10 év alatt végeznek el –, ám ez a hiba a szakasz tekintetében kiegyenlítődik; annál inkább, minél több részlet forgalma terheli – közvetlenül vagy közvetve – az adott szakaszt. Ha azonban egyes erdőrészetek esetében pontosabb adatok is rendelkezésre állnak, akkor azokat a legteljesebb mértékben figyelembe tudjuk venni. Ha például a fahasználati tervben rögzítve van, hogy egy adott erdőrészetben két év múlva történik a véghasználat, akkor a **Fatérfogat** adattáblába bekerül egy egy év hosszúságú időszak, amelynek kezdő és záró éve egyaránt 2008.

Az erdőrészetekben keletkező szállítási feladatok rögzítése – az útszakaszokra gravitáló erdőrészetek kijelöléséhez hasonlóan – az erdőgazdaság (az érintett erdészet) szakembereinek a feladata, hiszen a művelési és fahasználati szakmai modulokkal kiegészített információs rendszerük segítségével ők tudják kigyűjteni a szükséges adatokat (Markó, 2006).

2.5. A fatérfogatadatok átszámítása forgalomra

Az út jelentőségét meghatározza a rajta időegység alatt leszállított fatérfogat. A szállítás különböző szállítójárművekkel történik, amelyeknek a pályaszerkezetet rongáló hatása is különböző, ennek eredményeként eltérő módon megy végbe a pályaszerkezet leromlása is. Azért, hogy a

különböző járművek pályaszerkezetre gyakorolt hatását össze lehessen hasonlítani, a keresztmetszeten áthaladó tengelyeket egységesen egy 100 kN súlyú tengely áthaladásának hatásában fejezzük ki. Ezek összegezéséből adódik az a forgalom, amely mértékadó a pályaszerkezet leromlásának folyamatában. Az átszámításhoz ismerni kell:

- a vizsgálat alá vont időszakot;
- a szállítójárművek vagy szerelvények jellemzőit;
- járműtípusonként az általuk leszállított fatérfogatot a vizsgált időszakban;
- a szállítójárműpark fejlődési tendenciáját;
- a különböző tömegű tengelyek hatását 100 kN tengely áthaladásában kifejező értéket.

2.5.1. A tengelyterhelés rongáló hatásának meghatározása

Az útpályaszerkezetek tönkremenetelében a földmű teherbírásának és a rajtuk áthaladó nehéz forgalomnak van kiemelkedően fontos szerepe. Ezt először az 1950-es évek végén az USA-ban elvégzett nagyminta kísérletek igazolták. Ezek közül az ún. AASHO-útkísérletek (American Association of State Highway Officials) eredményei váltak széles körben elismertté. A kísérlet-sorozathoz 470 féle pályaszerkezetet – homokos kavics, zúzottkő és aszfalt rétegekből – építettek meg alacsony teherbírású (CBR ~2,5%) altalajon. A pályaszerkezeteket két éven keresztül műforgalommal terhelték. A szerkezetek állapotát szubjektív és objektív módszerekkel rendszeresen értékelték (Nemesdy, 1985; Kosztka, 2009). Egy adott vastagságú és összetételű pályaszerkezet tönkremenetelét a tengelysúly és az áthaladási szám együttesen határozta meg. A kísérlet eredményei lehetőséget adtak arra, hogy az eltérő mértékű tengelyterheléseket egy egységnek tekintett (100 kN) tengely hatására számoljuk át. Az egységre történő átszámítás tényezőjével így kifejezhető egy adott tengely relatív rongáló hatása. A nagyminta kísérlet eredményeinek statisztikai feldolgozása alapján az átszámítási tényezőre (Load Equivalency Factor) az alábbi tapasztalati képletet állították fel:

$$\log(e_f) = k \cdot (L - L_0) \quad (2.1)$$

ahol

e_f = átszámítási tényező.

k = szóló tengely estén ($k = 0,0268$), tandem tengelynél ($k = 0,01493$).

L_0 = szabvány tengelyterhelés, szóló elrendezésnél 100 kN, tandem elrendezésnél 175 kN.

L = a vizsgált tengely terhelése [kN].

A 2.1 összefüggés jól közelíthető egy negyed (vagy akár hatod) fokú parabolával:

$$e_f \approx \left(\frac{L}{100}\right)^4 \approx \left(\frac{L}{100}\right)^6 \quad (2.2)$$

Ebből az összefüggésből az is látható, hogy a tengelysúly duplázása 16 (2^4), vagy akár 64 (2^6) szeres rongáló hatást eredményez (Kosztka, 2009).

A forgalomban résztvevő kettős tengelyek hatását is a fenti összefüggés segítségével vesszük figyelembe. A pályaszerkezetek elhasználódásának szempontjából lényegesebben előnyösebb ez az elrendezés, mert tengelyátszámítási értéke a 17,5 tonna (175 kN) tömegű kettős tengelynek van. Ez azt jelenti, hogy egyenlő elhasználódást okoz a 200 kN súlyú egyes tengelyeken és a 350 kN súlyú kettős tengelyeken gördülő tehergépkocsi. (Kettőstengelynek vehető az a két egymást követő tengely, melyek távolsága 2,0 m-nél kisebb.) Bár Magyarországon az EU elvárásoknak megfelelően, a megengedett legnagyobb tengelysúly nagysága 100 kN-ról 115 kN-ra emelkedett, ez a méretezési értékeket nem érinti. Ahogyan a 100 kN kisebb tengelysúlyokat is egységtengelyre számítjuk át úgy a 100 kN-nál nagyobbak esetében is ezt tesszük. A pályaszerkezetek szükséges egyenérték-vastagságát célszerű ezután is 100 kN e.t.á-ban kifejezni.

Az AASHO összefüggés (2.1) csak hajlékony szerkezetekre érvényes. Merev és félmerev pályaszerkezeteknél a kitevő értéke magasabb (8-12). Az OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) nevű nemzetközi szervezet kiegészítő kísérleteket indított az útpályaszerkezetek leromlásának vizsgálatára. A kísérleteket Franciaországban végezték. A vizsgálatok alatt három pályaszerkezetet (két hajlékony és egy félmerev) vizsgáltak 100, ill. 115 kN-os tengelyterhelések mellett, összesen 4,5 millió tengelyáthaladásig. Megállapították, hogy az AASHO-kísérletek negyedik hatványos összefüggése csak nagyon általános esetben igaz (Horn, 1995). Kimutatták továbbá, hogy a rongáló hatás a tengelysúlyon kívül függ még a tengely és a gumibroncs típusától, valamint a tengely felfüggesztésétől is. Ezen tényezőket figyelembe véve a következő összefüggést állították fel (Koren, 1986; Tóth, 1988):

$$e_f = \left(k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{L}{100} \right)^\alpha \quad (2.3)$$

ahol

L = a vizsgált tengely terhelése [kN].

α = kitevő (értéke aszfaltra 4-6).

k_1 = a tengelytípustól függő tényező (értéke 0,45-1,00 között).

k_2 = a gumibroncstól függő tényező (értéke 1,00-1,30 között).

k_3 = a felfüggesztéstől függő tényező (értéke 0,95-1,00 között).

A pályaszerkezetek leromlásának vizsgálatára az empirikus módszerek mellett rendelkezésre állnak mechanikai alapú eljárások is. Ezen eljárások a tényleges pályaszerkezet helyett annak elméleti modelljét vizsgálják. Ebben az esetben bemeneti adatként az adott anyag fáradási tulajdonságait kell ismernünk. Ezeket elsőként A. Wöhler vizsgálta laboratóriumi körülmények között. Azt tapasztalta, hogy periodikusan váltakozó terhelés hatására egy adott anyag tönkremeneteléhez szükséges ismétlésszám és az alkalmazott legnagyobb terhelés (feszültség) között logaritmikus összefüggés áll fenn. Az anyag töréséhez annál kisebb terhelés kell, minél nagyobb a teherismétlésszám.

A különböző nagyságú (vagy különböző feltételek mellett ható) igénybevételek összesített károsító hatásának számítására a Palmgren-Miner elv használható (Palmgren, 1924). Eszerint egy adott terhelés az anyag fáradási ellenállását csak egy meghatározott mértékben használja ki. Vagyis egy adott tengely-áthaladás rongáló hatása meghatározható úgy, hogy egy adott anyag teherbírását mennyivel csökkenti. Célszerűbb azonban annak a megállapítása, hogy egy egységnek tekintett tengelyhez képest mekkora ennek a hatása. Ez a tényező a Wöhler-féle anyagtulajdonságok, valamint a Palmgren-Miner elv ismeretében levezethető:

$$e_f = \left(\frac{L}{100} \right)^\alpha \quad (2.4)$$

ahol

L = a vizsgált tengely terhelése [kN].

α = a kitevő értéke aszfaltnál (4-5), hidraulikusan kötött anyag esetén (12-20).

Látható, hogy az elméleti modellből a tapasztalati képlethez hasonló összefüggés vezethető le. Emiatt a számításainkban az AASHO-útkísérletek eredményeképp meghatározott átszámítási tényező használata elfogadható.

2.5.2. A szállítandó fatérfogat átszámítása forgalomra

A faanyagszállítás különböző szállítójárművekkel történik, amelyeknek a pályaszerkezetet rongáló hatása is különböző, ennek eredményeként eltérő módon megy végbe a pályaszerkezet leromlása is. Azért, hogy a különböző járművek pályaszerkezetre gyakorolt hatását össze lehessen hasonlítani, a keresztmetszeten áthaladó tengelyeket egységesen egy 100 kN terhelésű tengely áthaladásának hatásában fejezzük ki és a következő összefüggéssel számítjuk:

$$F_{100} = \frac{Q}{q} \cdot f_{100} \quad (2.5)$$

ahol

F_{100} = a vizsgált időszak forgalma 100 kN et. áthaladásban kifejezve (db).

Q = a vizsgált időszakban leszállított fatérfogat (kN).

q = a reprezentatív jármű, vagy szerelvény hasznos teherbírása (kN).

A tehergépkocsi tengelyeinek együttes rongáló hatása:

$$f_{100} = \sum_{i=1}^n e_{f_i(\ddot{u})} + \sum_{i=1}^n e_{f_i(r)} \quad (2.6)$$

ahol

f_{100} = reprezentatív jármű egy fordulójának forgalomterhelése [100 kN e.t.á.].

$e_{f_i(\ddot{u})}$ = az üres reprezentatív jármű egyes tengelyterheléseire rendelt átszámítási érték.

$e_{f_i(r)}$ = a rakott reprezentatív jármű egyes tengelyterheléseire rendelt átszámítási érték.

n = a reprezentatív jármű tengelyeinek száma.

Az üres és a rakott tengelyek átszámítási tényezőjét a (2.1) összefüggéssel lehet számolni attól függően, hogy az adott tengely szóló, vagy tandem elrendezésű. A forgalom nagyságának pontosabb meghatározását csak akkor érdemes elvégezni, ha minden út viszonylatában ismerjük azt, hogy az úton járó járművek vagy szerelvények típusonként milyen arányban vesznek részt a kitermelt összfatérfogat szállításában.

A szállított anyag fajlagos tömege (halomsűrűsége) és alakja, az anyagmozgató berendezés hasznos terhelhetősége (raksúlya), valamint rakfelületének nagysága és hasznos magassága együttesen meghatározzák az egy menetben elszállítható anyag mennyiségét (Kosztka, 2001). A szállításban alkalmazott tehergépkocsinál ez meghatározza a tengelyterheléseket, amit az erdészeti utak pályaszerkezetének méretezésekor kell elsősorban figyelembe venni. Mivel a szállítási feladatot m^3 -ben szokás megadni, ezért azt át kell számolni kN-ra. Ehhez elsősorban a szállított faanyag sűrűségét és becsült nedvességtartalmát lehet felhasználni. A sűrűség egy fafajon belül is lényegesen eltérhet a szakirodalomban közölt átlagértéktől (Kovács, 1979), ezért a 2.1 táblázatban foglalt adatok csak tájékoztató jellegűek. A frissen vágott fa nedvességtartalma kb. 50% (a szárazanyagra vonatkoztatva) ezért $1 m^3$ faanyag közelítőleg 9,6 kN-nak felel meg a táblázat szerint (1 to. ~ 10 kN). Ezt az értéket még módosítják a szállító járművek raktere által adott lehetőségek, amelyek kihasználása fenyőfélék esetében jó, lombos fafajoknál pedig – alakjukból fakadóan – rosszabb lehet. Továbbá befolyásolja még az a tény is, hogy Magyarországon a faállománnyal borított területek aránya fafajcsoportok szerint az akác (23%), a tölgy (21%), a cser (11%), a fenyő (12%) és a nyár (10%) dominanciáját mutatja (Kottek és mtsai, 2008), így e fafajok sűrűségét nagyobb súllyal kell figyelembe venni az átszámítási tényező kialakításnál. Ezeket a szempontokat is figyelembe véve $1 m^3$ faanyag ~ 10 kN terhelésnek felel meg – fafajtól függetlenül – a további számításoknál.

2.5.3. Az egyéb forgalom figyelembevétele és a saját forgalom

A pályaszerkezet leromlását előidéző nehéz forgalmat az erdőgazdálkodással összefüggő tevékenységek közül csak a faanyag szállítása kelti, más tevékenységnek ilyen hatása elhanyagolható. Nehéz forgalmat jelentenek a parkerdő útjain járó autóbuszok és az idegen vállalkozások (mezőgazdasági, bányászati stb.) szállításait végző tehergépkocsik. Ezt a forgalmat is 100 kN et. áthaladásban kell kifejezni és összegezni kell annak az útszakasznak a forgalmával, amelyiken az fellép. A különböző forgalomkeltő hatásokra az úton vagy útszakaszon magán keletkező forgalmak összességét tekintjük ezen útszakasz saját forgalmának.

Fafaj	0%*	10%	20%	30%	40%	50%
Akác	0,736	0,810	0,883	0,957	1,030	1,104
Tölgy	0,682	0,750	0,818	0,887	0,955	1,023
Cser	0,812	0,893	0,974	1,056	1,137	1,218
Bükk	0,695	0,765	0,834	0,904	0,973	1,043
Gyertyán	0,790	0,869	0,948	1,027	1,106	1,185
Egyéb kemény lomb	0,651	0,716	0,781	0,847	0,912	0,977
Nyár	0,435	0,479	0,522	0,566	0,609	0,653
Egyéb lágy lomb	0,495	0,545	0,594	0,644	0,693	0,743
Fenyő	0,460	0,506	0,552	0,598	0,644	0,691
Átlag	0,640	0,704	0,767	0,832	0,895	0,960

*forrás: <http://www.soskn.sk/anyagismeret/7.3.htm>

2.1. táblázat. A faanyag sűrűsége (to./m³) fafajtól és nedvességtartalomtól függően.

Az i . erdőrézletben keletkező, az útszakaszt a j . évben közvetlenül terhelő forgalom:

$$F_{100_{i,j}} = \sum_{k=1}^n \frac{Q_k}{q_k} \cdot f_{100_k} [100 \text{ kN e.t.á.}], \quad (2.7)$$

ahol

n = Az i . erdőrézletben a j . évre vonatkozó, a vizsgált szakaszt terhelő szállítási feladatok száma.

Q_k = Az i . erdőrézlet fatérfogatának azon hányada, amit a j . évben az adott útszakaszon a k . jármű

q_k = A k . tehergépkocsi raksúlya, [kN].

f_{100_k} = A k . tehergépkocsi egy fordulójának forgalomterhelése, [100 kN e.t.á.]

Az i . erdőrézletben keletkező, a vizsgált útszakaszt a . és b . évek közötti időszakban közvetlenül terhelő forgalom:

$$F_{100_i} = \sum_{j=a}^b F_{100_{i,j}} [100 \text{ kN e.t.á.}] \quad (2.8)$$

Az útszakaszt a . és b . évek közötti időszakban közvetlenül terhelő (saját) forgalom:

$$F_{100} = \sum_{i=1}^m F_{100_i} + \sum_{l=1}^o N_l \cdot f_{100_l} [100 \text{ kN e.t.á.}], \quad (2.9)$$

ahol

F_{100} = A vizsgált útszakasz saját forgalma, az adott időintervallumban, [100 kN e.t.á.].

m = Az útszakaszra gravitáló erdőrézletek száma.

o = Az útszakaszt a vizsgált időintervallumon belül terhelő egyéb típusjárművek száma.

N_l = Az l . egyéb típusjármű időintervallumon belüli fordulójának száma.

f_{100_l} = Az l . egyéb típusjármű egy fordulójának forgalomterhelése, [100 kN e.t.á.].

2.5.4. A hálózati forgalom és meghatározása

A hálózatot alkotó útszakaszon a saját forgalom mellett a hálózati kapcsolatok miatt megjelenik a másik szakaszon keletkező forgalom is, amelyet az útszakaszok mértékadó forgalmának – a hálózati forgalomnak – a kiszámításakor szintén figyelembe kell venni. Ehhez azonban ismerni kell azt, hogy a hálózat egy szakaszán keletkező saját forgalom a lehetséges szállítási irányok között miként oszlik meg. Mivel az erdészetek ilyen adatokkal nem rendelkeznek a további vizsgálatainkat megint csak különböző feltételezésekkel tudjuk végrehajtani.

Az említett adatok hiánya nem okoz gondot akkor, amikor a vizsgált út csak az egyik végén csatlakozik egy másik úthoz, a vége fordulóban vagy földútban végződik. Az ilyen utakat szállítás

szempontjából egyirányúnak tekintjük és feltételezzük, hogy a feltárt területről az összes faanyag (ami az út saját forgalmát hozza létre) az út végén keletkezik és ez az egész utat terheli (a kiágazó mellékvonalat is beleértve, ha saját gravitációs körzetét nem lehetett kijelölni).

A szállítás szempontjából kétirányú utakon (amelyek mindkét végükön – esetleg áttételesen – közúthoz csatlakoznak) a helyzet már bonyolultabb. A saját forgalom nagyságát meghatározó fatérfogatot itt meg kell osztani a szállítási irányok szerinti arányt figyelembe véve. Ennek az adatnak a hiányában már több feltevést kell tennünk. Kiindulásként ezt a helyzetet is úgy tekintjük, hogy a szállítandó faanyag az út egyik végén keletkezik, amit aztán a másik végén szállítunk el, tehát a gravitációs egység teljes fatérfogatának leszállításához szükséges forgalom – a saját forgalom – az egész utat egyenletesen terheli. Ezzel a feltevéssel a sajátforgalom nagyságát nem határozzuk meg pontosan, a valóban fellépő maximális forgalomnál nagyobb értéket kapunk, ami egyrészt a biztonság fokozása felé hat, másrészt vizsgálataink szerint nem befolyásolja később jelentősen az utak fontossági sorrendjét.

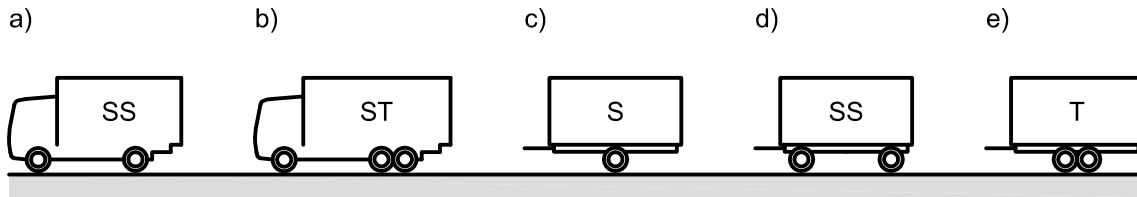
Nagyobb hibát követnénk el akkor, amikor a csatlakozó erdészeti utak forgalmát – az un. hálózati forgalmat – számítanánk. Ekkor ugyanis az úton keletkező saját forgalomhoz hozzá kell adni azt a forgalmat, ami a csatlakozó útról a vizsgált útra kerül. A hiba itt már jelentős nagyságot is elérhet, amit kellő megfontolással azonban csökkenteni lehet. Az első módszer szerint a teljes biztonságra való törekvés alapján, az úton fellépő összes forgalmat mindkét irányba ráterheljük a két végén csatlakozó útra. Ekkor bár jelentősen eltérünk a valós forgalomtól, a biztonságot növeljük. Csak a hálózat kellő vizsgálata után ajánlható ez a módszer, különösen akkor, ha felléphet olyan forgalom is, ami a vizsgálat idejében nem számszerűsíthető (pl. nagy átmenő forgalom). A másik módszer szerint az út saját forgalmát megfelezzük és az így kapott értékkel növeljük a csatlakozó utak forgalmát. Ebben az esetben a valóságban fellépő forgalomnál az egyik irányba valamivel nagyobb, a másik irányba valamivel kisebb forgalmat határozunk meg, az eltérés azonban nem lesz olyan jelentős, hogy az a későbbi eredményeket döntően befolyásolná.

A leírtak után az útszakaszok adott időintervallumon belül jelentkező hálózati forgalmát a következő eljárással becsülhetjük:

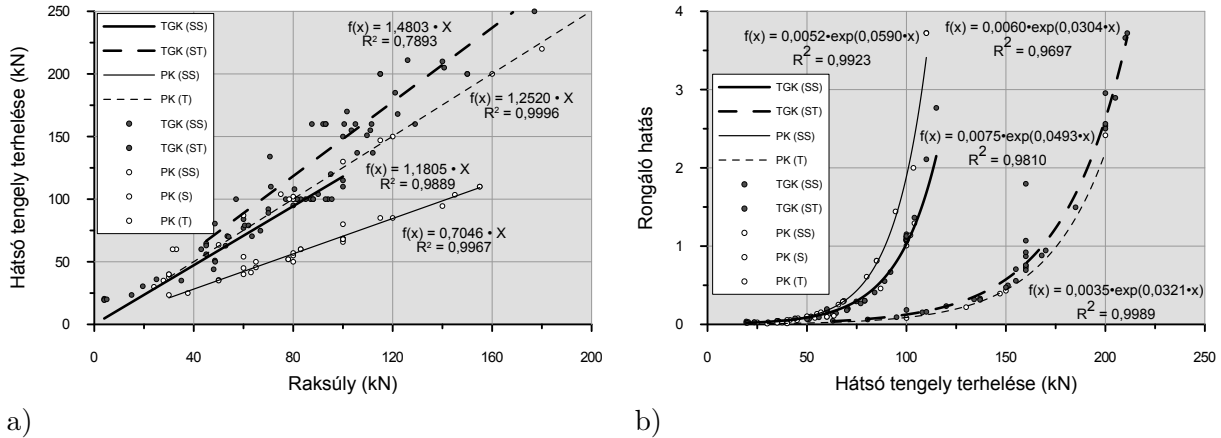
1. Meghatározzuk minden szakasz saját forgalmát, szállítási irányonként.
2. Az egyes szakaszok hálózati forgalmát egyenlővé tesszük a saját forgalommal.
3. Az 1. út 1. szakaszának saját forgalmát hozzáadjuk a szakaszhoz csatlakozó, a szállítási irányban lévő következő szakasz hálózati forgalmához.
4. Az előző ponthoz hasonlóan „végigjárjuk” a hálózatot mindaddig, amíg végponttal (pl. közútcsatlakozás) rendelkező szakaszhoz nem érünk.
5. A 3. és 4. pontokban leírtaknak megfelelően az összes út összes szakaszának saját forgalmát a topológiának megfelelően ráterheljük az érintett szakaszokra.

2.6. Kapcsolat a járművek rongáló hatása és hasznos raksúlyja között

A szállítási és az útfenntartási költségek összegzéséhez szükséges, hogy a szállításban résztvevő tehergépkocsik hasznos teherbírását (q) összefüggésbe hozzuk azok tengelyeinek összegzett rongáló hatásával (f_{100}). A hasznos teherbírás növelése ugyanis a szállítási költségeknél megta- karítást jelent, de ezzel szemben megnövekedett útfenntartási költséget okoz! Ennek a hatásnak a vizsgálatához az erdészeti szállításban előforduló 120 db jármű (70 db tehergépkocsi és 50 db pótkocsi) üres és rakott állapotú tengelyterhelés értékeit, valamint hasznos terhelését gyűjtöttük össze és elemeztük ki (Primusz et al., 2011). A kutatás eredményeit röviden összefoglalva közöljük.



2.1. ábra. A számításban szereplő tehergépkocsik és pótkocsik tengelyrendezései.



2.2. ábra. A raksúly és a hátsó tengelyterhelés kapcsolata (a), a hátsó tengelyterhelés és a rongáló hatás kapcsolata (b).

Az előforduló tehergépkocsi (tgc) és pótkocsi (pk) tengelyrendezéseket és azok kódolását a 2.1 ábra foglalja össze. Szóló tehergépkocsik esetében a jellemző raksúly 40-80 kN, tandem tengelyrendezés esetében pedig 90-120 kN között volt.

Egy konkrét tehergépkocsi vagy pótkocsi egy fordulójának összegzett rongáló hatását (f_{100}) a már bemutatott (2.6) összefüggéssel számítottuk. Ezek után összefüggést kerestünk a hasznos terhelés és a tengelyenként összegzett rongáló hatás között. Korábbi kutatásokból már ismert, hogy a hátsó tengelyterhelés és a raksúly között lineáris összefüggés áll fenn (Rumpf, 1974a; Rumpf, 1974b). Ezt az általunk összegyűjtött adatsoron végzett regresszió-analízis is megerősítette. Járműtípusonként és tengelyrendezésenként a vizsgálat eredményeit a 2.2 a) ábra mutatja be. A hátsó tengelyterhelés és az összegzett rongáló hatás között pedig erős exponenciális kapcsolat mutatható ki (2.2 b) ábra). A regressziós modellek összevonásából felállítható a hasznos terhelés és a rongáló hatás között keresett függvénykapcsolat:

$$f_{100} = \alpha \cdot e^{(\beta \cdot q)} \quad (2.10)$$

ahol

f_{100} = egy forduló rongáló hatása 100 kN egységtengely-áthaladásban.

q = hasznos raksúly (kN).

α, β = paraméterek.

A 2.10 összefüggés pontosságát és paramétereit szállítójármű és tengelyrendezés szerint a 2.2 táblázat foglalja össze. Az összefüggés szerint a hasznos terhelés növekedése a rongáló hatás exponenciális emelkedését okozza és így a várható útfenntartási költségeket is. A regresszió-analízis segítségével felállított modell felhasználásával már a fajlagos szállítási költségek mellett a fajlagos útfenntartási költségek is megbecsülhetők a hasznos terhelés függvényében.

Paraméter	Tgk (ss)	Tgk (st)	Pk (ss)	Pk (s)	Pk (t)
Alfa	0,0075	0,0060	0,0052	0,0049	0,0035
Béta	0,0582	0,0450	0,0416	0,0701	0,0402
R ²	0,8800	0,8900	0,9700	0,9100	0,9900

2.2. táblázat. Modellparaméterek szállítójármű és tengelyelrendezés szerint.

3. fejezet

Az úthálózat állapotának szubjektív értékelése

Az úthálózat állapotértékelésének végső célja az, hogy meghatározzuk az útfenntartás alatt elvégzendő munkákat és azok sorrendjét. Az értékeléskor általában arra törekszünk, hogy egy objektív alapokon álló sorrendet hozzunk létre. Ezt a sorrendet azonban nem tekinthetjük abszolút értékűnek, mert minden tevékenységünket objektív és szubjektív tényezők egyaránt befolyásolják (Luhmann, 1971).

Az útállapot jellemzése objektív méréses állapotfelvétellel és szubjektív vizuális állapotleírásokkal történik. A két eljárást általában közösen alkalmazzák, törekedve arra, hogy mind a felvételi, mind a leíró módszer minél inkább személytelenné váljon. Az állapotjellemezés eredményeként egy állapotjelző mérőszámot kapunk. Ez egy számérték, amely a vizsgált állapotjelző nagyságát jelöli (Kosztka, 2001).

Az értékelés legegyszerűbb formájában az értékelési skála az állapotjelzők mérési tartományát előre meghatározott számú minőségi csoportba osztja, amely csoportokat verbális (jó, rossz, kielégítő stb.) megnevezéssel, vagy számszerű osztályzattal lát el. Az eljárás egyszerű, de a skála kialakításakor nem küszöbölhető ki a nagyfokú szubjektivitás.

Az útkezelő mérnök már régóta a burkolathibákkal összefüggő információkat az útpálya minőségének a számszerűsítésére szolgáló fontos paraméterének tekinti. Mind a létesítményi, mind pedig a hálózati szinten lényeges adatokra az alkalmazási területtől függően eltérő részletességgel van szükség. A burkolathibák ismerete mindkét esetben a megfelelő állapotjavítási technika kiválasztásához segít hozzá. Hálózati szinten a beavatkozás típusáról kell dönteni, ilyen célokra az összegző burkolathiba-index megfelelő lehet. Létesítmény szinten ugyanakkor a javítási technológián kívül arról a szakasról is dönteni kell, hogy pontosan hol kell azt alkalmazni. Ez utóbbi meghatározásához részletes burkolathiba-felvételre van szükség (Gáspár, 2003). Az út állapotának jellemzésére ezért jelenleg két módszer használható (Kosztka, 2001):

- Komplex állapotjelző paraméterek létrehozásával, egyetlen számadattal kifejezni az út állapotát. A hosszútávú pénzügyi tervezést nehezéssé teszi ez a módszer, mert nem lehet megállapítani azt, hogy a komplex mérőszám egy egységgel történő növelése milyen költségeket emészt fel.
- Az állapotjelzők külön-külön értékelésével jellemzett útállapot már kifejezi, hogy hol és miért kell beavatkozni, valamint a szükséges költségek is jól megbecsülhetők. Hátránya viszont, hogy csak részben veszi figyelembe az összefüggéseket és ezért a beavatkozások hatása sem ítéltető meg egyértelműen.

A szubjektív véleményalkotás és értékelés mindig pszichológiai hatásokra alakul ki, ezzel tisztában kell lennünk, ha ilyen módszereket alkalmazunk. Jellemző hibatípusok az ilyen vizsgálatoknál:

- Elnézési hiba (az értékelés valamilyen ok miatt túl szigorú vagy túl enyhe).
- A „halo” hatás (az értékelő személy értékelését megzavarja az útszakasról kialakult kezdeti általános benyomása).
- Középre irányuló tendencia (a szélsőséges értékektől való húzódozás, és így az értékelő a skála átlagértékéhez történő indokolatlan közeledése).

A gyakorlatban számos olyan útmutató készült amely az említett hibák kiküszöbölését tűzte ki céljául (Gáspár, 2003).

3.1. Az útburkolat felületállapotának minősítése

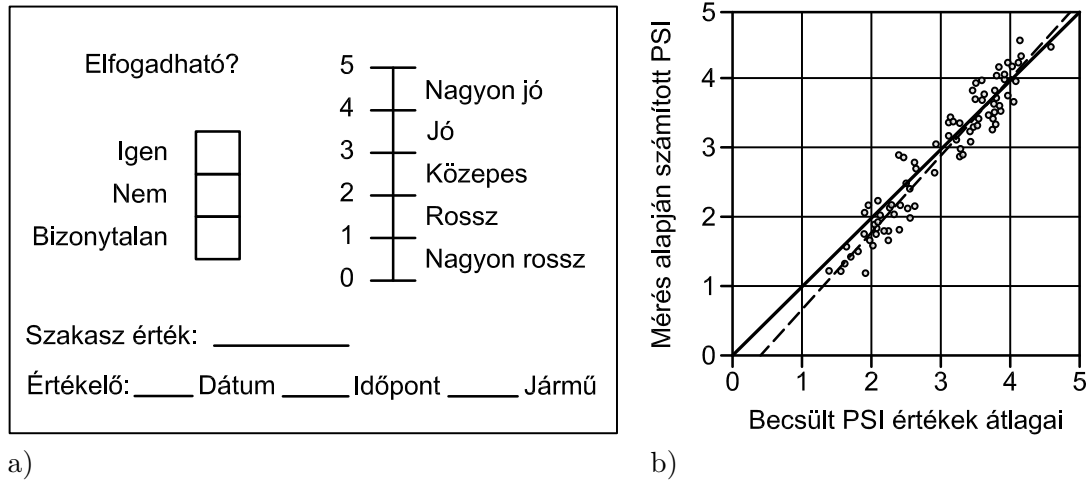
Az út a forgalom számára, a gépjármű és a gépjárművezető reális igényének kielégítésére épül. Bármennyire is jól építették meg az útburkolatot, és bármennyire is jó a fenntartása, a forgalom, a klíma és az idő hatására az útburkolat minősége erősen leromlik és megéri a felújításra, újrabeépítésre. Az útburkolat időben változó, pillanatnyi minőségi állapotának az egyértelmű reális értékelése igen nagy jelentőségű. Mégis, ezt a kérdést sokáig nem oldották meg a mérnökök, a burkolatfelületi vizsgálati módszerek fejlődése ellenére sem. Ezek legtöbbször ugyanis csupán az új burkolati rétegek átadás-átvételi eljárásának céljaira használták fel. Csak az 1950-es évek vége felé dolgozták ki az USA-ban W. N. Carey és P. E. Irick az útburkolatok állapotának értékelésére azt az igen fontossá vált módszert, amely az 1960-as évek elején a nagyszabású AASHO-útkísérletek (American Association of State Highway Officials¹) révén számos országban elterjedt (Nemesdy, 1971).

3.1.1. Present Serviceability Index (PSI)

A módszer alap gondolata szerint a burkolat és az út feladata egyértelműen az, hogy megfeleljen az úthasználóknak, illetve az őket legjobban megszemélyesítő gépjárművezetőknek. Ezért az útburkolatok minősítésekor a gépjárművezetők nagy tömegének szubjektív véleményeiből kell egy objektív ítéletet alkotni. Carey és Irick módszerének kialakításakor számos különböző minőségű és elhasználtságú útszakaszokon nagyobb létszámú gépjárművezetőt utaztatott végig saját megszokott gépjárműjükön. A kísérleti személyek között a legkülönbözőbb foglalkozásúak voltak, akik a népességmegoszlást képviselték a háziasszonytól a hivatalnokig és a rendőrig. A vizsgált burkolatszakaszokat mindegyiküknek önállóan kellett minősítenie és osztályoznia egy-egy számmal, a 3.1 a) ábrán látható kártyákat kitöltve útszakaszonként. A jegyek 0–1 (igen rossz állapotú útburkolat) és 4–5 (kitűnő állapotú útburkolat) között változhattak. Kizárólag a burkolatminőséget kellett értékelni, a vonalvezetés befolyását nem. Az akkori szóhasználat szerint egy-egy ilyen értékelés az egyén *pillanatnyi használhatósági értékelése* (Present Serviceability Rating, PSR) volt. Az egyes vizsgált szakaszokat az adott időpontban jellemző ún. *pillanatnyi használhatósági index*-számot (Present Serviceability Index, PSI-szám, sokszor csak *p* betűvel jelölve) pedig az összes minősítő személy által adott jegyek számtani átlaga adta. A szerzett tapasztalat szerint az úthasználók eléggé egybehangozóan, viszonylag kis szórással ($\sigma_p = \pm 0,5$) minősítették a különböző burkolatokat. A gyakorlatban viszont nehezen oldható meg, hogy az egész úthálózat értékelését a fenti módszerrel hajtsák végre. Emiatt komoly erőfeszítéseket tettek annak érdekében, hogy különféle objektív és gyors mérési eljárásokat a hálózat egyes mintáin végrehajtott szubjektív értékeléssel korrelációba hozzák (Gáspár, 2003).

Az egyszerűnek tűnő módszer kitűnő műszaki megalapozása hosszú kísérletek és korreláció vizsgálatok után éppen abban volt, hogy a szubjektív ítéletek átlageredményét szoros matematikai összefüggésbe hozták a vizsgált és minősített burkolatszakasz használhatóságát befolyásoló,

¹<http://www.transportation.org>



3.1. ábra. Kérdőlap az útburkolat PSI becsléséhez (a), a becsült és a méréssel-képlettel megállapított PSI igen szoros korrelációban jól megfelelnek egymásnak (b).

pontosan mérhető műszaki burkolatjellemzőkkel. Így a vizsgált burkolatszakasz hosszirányú hullámossága mellett, pontosan megállapították a burkolatjavítások és foltozások nagyságát (területét), a burkolati repedéseknek a hosszát ill. területét, végül aszfaltburkolatoknál a keréknyomok hűrmagasságait.

A PSI használhatósági index-számot a következő korrelációs összefüggésekkel fejezték ki végül hajlékony (aszfalt) burkolat esetén:

$$PSI = 5,03 - 1,91 \cdot \log(1 + \overline{SV}) - 0,01\sqrt{C+P} - 1,38 \cdot \overline{RD}^2 \quad (3.1)$$

merev (beton) burkolatoknál pedig:

$$PSI = 5,41 - 1,80 \cdot \log(1 + \overline{SV}) - 0,09\sqrt{C+P} \quad (3.2)$$

a következő jelölések mellett:

- \overline{SV} a keresztszelvény 30 cm-enként kijelölt pontjaiban mért esésértékek átlaga. A felületi egyenetlenség jellemzésére szolgál (slope variance);
- C a burkolatrepedések, hálós repedések, csak lazán összefüggő burkolatfelületek területének mérőszáma [$\text{ft}^2/1000 \text{ft}^2$] dimenzióval;
- P a burkolatjavítások, foltozások területének a mérőszáma [$\text{ft}^2/1000 \text{ft}^2$] dimenzióval;
- \overline{RD} a nyomvályú mélysége 1,22 m hosszú gerendával mérve [inch]-ben.

A fenti összefüggések paramétereit az AASHO-útkísérletek alatt felvett nagyszámú mérési adat feldolgozásából, az azokból képzett pontsorokra legjobban illeszkedő regressziós összefüggések meghatározásából nyerték (Carey és Irick, 1960).

Az összefüggések elemzéséből derült ki, hogy az úthasználók a hibátlan burkolatoknál ($P = C = \overline{RD} = 0$) a betonburkolatokat jobbnak tartják; ugyanakkor, ha a betonburkolatot javítják, foltozzák, akkor azt nagyobb értékcsökkenésnek tekintik, mint aszfaltburkolat esetében. Egyértelműen adódott, hogy a döntő állapotparaméter a felületi egyenetlenség, hiszen a többi állapotparaméter hatásának hozzáadásával csupán 5%-nyit lehetett a PSR és a PSI közötti korrelációs együtthatót javítani. Lényeges annak hangsúlyozása, hogy a PSI és a PSR nem két különböző módot jelent a burkolathasználhatóság jellemzésére, hanem a PSI lehetőséget teremt arra, hogy az objektív módon meghatározott állapotadatokat szubjektív alapú paraméter megbecsülésére használják (Carey és Irick, 1960; Haas és Hudson, 1971). A bemutatott módszer

alapján értékelték ki 1961-62-ben a nagy AASHO-útkísérletet, amikor is az alábbi osztályozást alkalmazták (Nemesdy, 1971):

- PSI=4,5 estén: nagyon jó.
- PSI=3,5 estén: jó.
- PSI=2,5 estén: még kielégítő.
- PSI=1,5 estén: rossz.
- PSI=0,5 estén: igen rossz.

Egy burkolat hasznos élettartama addig tart, amíg az azt jellemző PSI használhatósági index a 4,5 értékről az idő folyamán le nem csökken 2,5 ill. esetleg 1,5 értékre.

A módszer európai érvényességére Nyugat-Németországban (NSZK) 1967-ben nagyméretű kísérletet végeztek. A kísérlet alatt 105 db eltérő minőségű kísérleti útszakaszt választottak ki, és a szakaszokon rendre gondosan felmérték a C repedési tényezőt, a P foltozási, javítási tényezőt, a keresztirányú húrmagasságot és végighaladva a hajlasmérő készülékkel, a 30 centiméterenként mért hajlások értékeiből képezték a \overline{SV} szórásnégyzet varianciát. Ezen adatok alapján a fenti két képlettel megállapították 105 szakasz mérések alapján számított PSI használhatósági indexszámát. Ezek után 83 db teljesen különböző foglalkozású egyén saját személygépkocsijával és 17 db tehergépkocsi vezető tehergépkocsival bejárta és szubjektíven a 3.1 a) ábrán már bemutatott értékelőlapon számmal osztályozta az összes mérendő útszakaszt minősége szerint. Az így eredményül kapott PSI becsült átlagértékek valamint a felülethibák mérése és a képletek alapján számított PSI használhatósági index-számok igen nagy megbízhatósággal szorosan megfeleltek egymásnak (3.1 b) ábra).

Az 1960-as évek végén a volt Csehszlovákiában 40 db megerősített burkolattal átépített útszakaszon szintén végeztek méréseket a jellemző használhatósági index-számok megállapítására. Itt kizárólag a pályahibák felmérésére és az egyenetlenségi hullámok mérőlécek alatti méréseire szorítottak. A módosított összefüggés hajlékony burkolatra a következő volt:

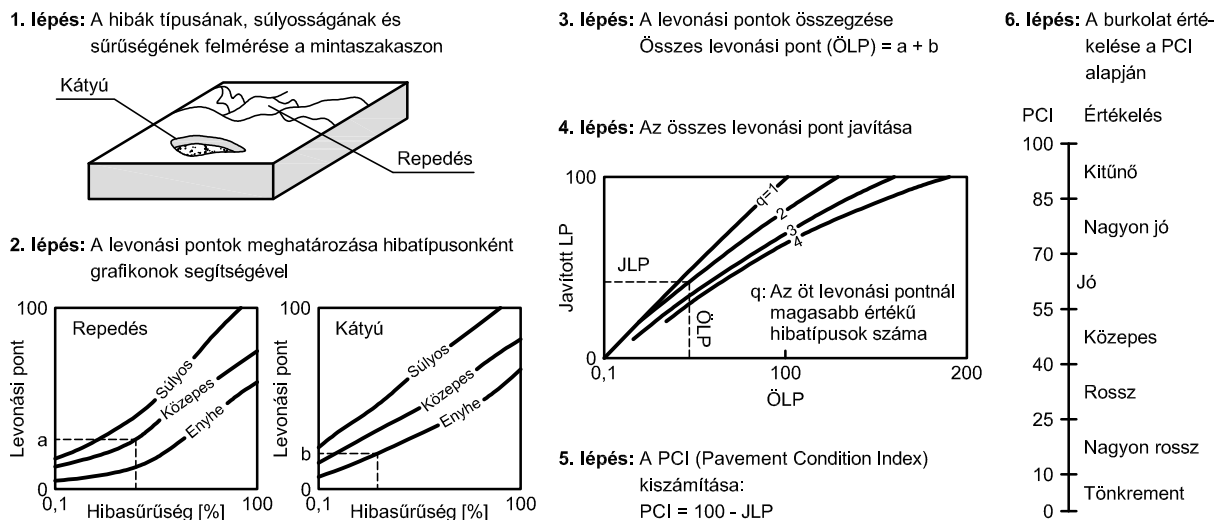
$$PSI = 5,00 - X_{\text{átl}} - 0,3\sqrt{C + P} - 0,22 \cdot \overline{RD}^2 \quad (3.3)$$

Itt a második tag a 4 m hosszú lécz alatt mért egyenetlenségmagasságok átlagértéke, 10 egymás utáni lécfektetésből. A C és P értelmezése változatlan, az \overline{RD} ismét az 1,22 m hosszú, keresztirányban fektetett lécz alatt mért húrmagasságok átlaga 10 mérésből, most már cm-ben. Látható, hogy a burkolatjavításokból és a repedésekből, pályahibákból adódó minőségszökkenést jóval nagyobb súllyal vették figyelembe, mint az amerikai-német változatban. Az USA-ban kidolgozott koncepció és képlet tehát Európában is megerősítést nyert. Az új burkolat állapotát így azonnal az átvételkor, vagy a már elavult burkolat állapotát később is meg lehet objektíven ítélni és mérni a PSI számok alapján (Nemesdy, 1985).

3.1.2. Pavement Condition Index (PCI)

A Pavement Condition Index (PCI) egyetlen állapotparamétere az út felületi hibáira vonatkozó kombinált index. A módszer egy korai formája az amerikai Washington államban kialakított változat, amely csökkentő tényezőkkel operál (LeClerc és Marshall, 1970).

Az eljárás célja az, hogy a különböző útszakaszokat egy egységes, 100 fokozatú skálán lehessen értékelni. A tökéletesen hibamentes utat tekintik 100 pontosnak. Ebből kerülnek levonásra az egyes hibatípusok értékeléséből számított hibapontok. Az értékelést homogénnek tekintett szakaszokra végzik el. A szakaszon belül kettő, vagy több mintaterületen végeznek állapotértékelést. A mintaterületek kiválasztása általában véletlenszerűen történik. Ez alól kivétel, ha csak két mintaszakasz kerül kijelölésre, ezeknek ugyanis az útra jellemző állapotú felületre kell esniük. A lokálisan jelentkező, jelentősen rosszabb állapotban lévő szakaszokat (pl. munkagépek



3.2. ábra. A PCI meghatározás lépései (Shahin és Walther, 1999).

átjárása) külön, ún. speciális szakaszként értékeli. A mintaterületek nagysága 93–372 m²-ig (1000–4000 láb²) terjedhet (Shahin, Darter és Kohn, 1976; Shahin és Walther, 1999).

1. lépés: Az értékelést végző személy a mintaterületet bejárva, vagy annak széléről megfigyelve leírja a jellemző hibatípusokat, ezek súlyosságát (3 fokozatú skála: enyhe, közepes, súlyos) és kiterjedését (a mintaterület felületének %-ában).
2. lépés: A súlyosság és a hibasűrűség függvényében grafikonok segítségével külön-külön meghatározható az egyes hibatípusok hibapontja. A vízszintes tengelyen a burkolathiba típus sűrűsége vagy kiterjedése látható. A három görbe a különféle súlyossági fokoknak felel meg.
3. lépés: A hibatípusok levonási pontjainak összegzése.
4. lépés: A hibapontok összege meghaladhatja a 100 pontot, ezért a kapott eredményt ismét egy 100 pontos skálára kell átszámolni. Ennek elvégzéséhez is egy grafikon használható, amely figyelembe veszi azt is, hogy hány meghatározó (hibapont > 5) hibatípus összegzésével alakult ki az átszámítandó érték. E lépés eredményeképp meghatározásra kerül a levonási pontok javított összege. Elképzelhető azonban, hogy egy (vagy több) hibatípus levonási pontja nagyobb a javított összegnél. Ebben az esetben a legnagyobb hibaponttal kell tovább számolni.
5. lépés: A mintaterület PCI értéke úgy kapható meg, ha 100-ból levonjuk a 4. lépésben meghatározott hibapontot. Az útszakasz jellemző PCI értéke a minta és a speciális szakaszok PCI értékeinek területtel súlyozott átlagaként alakul ki.

A 3.2 ábra azt szemlélteti, hogy a PCI különböző értéktartományai a burkolathibák milyen minőségi osztályozásával párosíthatók. Fontos még megemlíteni, hogy míg a PSI az útburkolat használhatóságát a járművezető szemszögéből értékeli, addig a PCI az útpályaszerkezet műszaki állapotát jellemzi. További részleteket találunk Smith, Rodenborn és Wiggins (1986) munkájában.

3.1.3. Overall Pavement Index (OPI)

A burkolathiba felvételkor az egyes hibatípusok kiterjedését és súlyosságát rögzítik. A nehézséget a különféle hibatípusok és azok kombinációinak együttes értékelése okozza. Ezért is terjedtek el

a különféle összegző indexek, amelyek az egyes útszakaszok összehasonlításához segítenek hozzá. Az út állapotának komplex értékelését a súlyozó tényezők ismeretében lehet elvégezni. Ezek objektív meghatározását gátolja, hogy egyelőre nagyrészt ismeretlenek azok az összefüggések, amelyek az egyes állapotjelzőkkel jelzett tulajdonságok és a leromlási folyamat között fennállnak, mint ahogy ismeretlenek az egyes tulajdonságok kölcsönös kapcsolatai is (Kosztka, 2001). Jelenleg ezért ezek a mutatók általában szubjektív és empirikus alapokon nyugszanak. A kombinált indexek (Overall Pavement Index) általános formája a következő:

$$OPI = W_1C_1 + W_2C_2 + W_3C_3 + W_4C_4 + \dots + W_iC_i \quad (3.4)$$

ahol:

OPI = összesített burkolatindex.

W_i = az i -edik burkolatállapot paraméter súlyozó tényezője.

C_i = az i -edik burkolatállapot paraméter mérőszáma.

A különböző kombinált indexeknek a megalkotásakor tudatában kell lenni a probléma szubjektív jellegével, amely a szubjektív információk számszerűsítését lehetővé tevő technikák alkalmazását teszi szükségessé. Sokszor erre a célra a Delphi-technikát² használják fel. A módszer egy kérdőíves felmérés, amely nem egy reprezentatív mintán, hanem a kutatási téma teljes szakértői/véleményformálói körét figyelembe véve kerül lekérdezésre. A felkért szakértői csoport különböző elméleti helyzeteket (az egyes állapotparaméterek szintjeit jellemző kombinációk esetében követendő fenntartási módszereket) állítanak sorba. Statisztikai elemzést követően kapják meg ezután az összegzett burkolatminőségi index egyenletét (Gáspár, 2003).

3.2. Az útburkolatok felületi hibáinak felvétele

Az útburkolat felületi hibáinak felvétele vagy az útszakasz mentén sétálva vagy pedig lassan haladó járműből történhet. A gyalogos állapotfelvétel részletes és pontos adatgyűjtésre ad lehetőséget, időigényessége miatt viszont teljes hálózatok felvételezésére nem jöhet számításba. Ennek a hátrányának a kiküszöbölése úgy lehetséges, hogy a teljes hálózatot véletlenszerű mintaszakaszok kijelölésével és felvételezésével jellemzik. A mintaszámot statisztikai közelítéssel célszerű megállapítani, figyelembe véve a burkolathibák minőségi szórását és az állapotfelvételtől megkívánt pontosságot (Gáspár, 2003).

A gyalogos felvétel mellett elterjedt, hogy a felületi hibákat az úton lassan – 8-15 km/h sebességgel – haladó mérőgépkocsiból veszik fel. Az eljárás fő előnye, hogy ily módon a szóban forgó úthálózat nagy része vagy egésze egységesen jellemezhető. Ugyanakkor tény, hogy az így nyert állapotinformációk minősége a gyalogos bejárás alatt gyűjthetőkétől elmarad. Ennél a módszernél gyakran választják azt a megoldást is, hogy a lassan haladó gépkocsival történt értékelést véletlenszerűen választott útszakaszok gyalogos bejárásával kombinálják. A 60-80 km/h sebességgel haladó gépkocsiból történő hibafelvételről többször bebizonyosodott, hogy ekkor a burkolathibákat nem lehet a szükséges részletességgel és pontossággal rögzíteni. Nagy járműsebesség mellett a hosszirányú felületi egyenletességet (IRI) célszerű fő burkolatállapot jellemzési paraméternek tekinteni (Gáspár, 2003).

3.2.1. Burkolatfelület állapotának minősítése Roadmaster rendszerrel

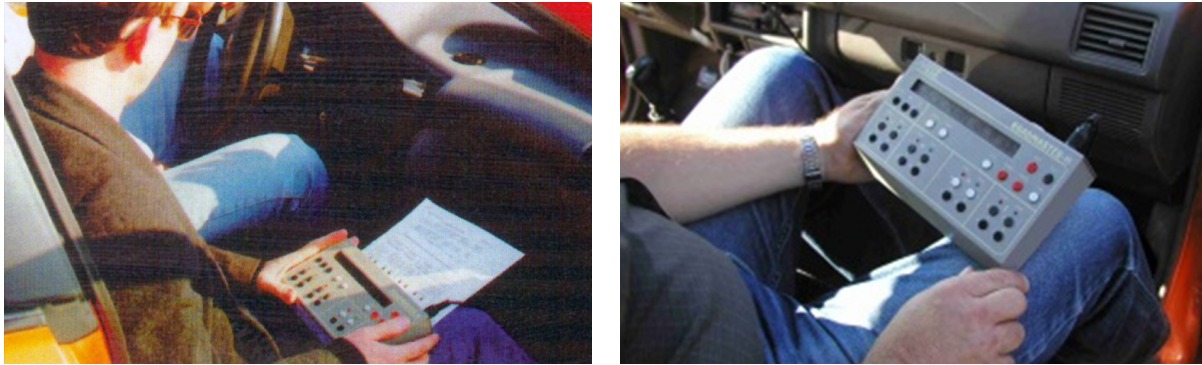
A burkolathiba felvételezés objektivitás fokozása céljából 1991-ben a személyi és célszámítógépekkel segített Roadmaster (RM) burkolatvizsgáló és értékelő rendszert vezettek be kötelező jelleggel a hazai országos közutak évenkénti állapotminősítésére (Ambrus és Pallós, 2004).

A Roadmaster rendszer lényege, hogy az útvizsgáló, mint azt út állapotáért és az adatok megbízhatóságáért felelős szakember a saját céljai érdekében minden állapotromlást felismer

²A megnevezés az adott témában történő, lehető legteljesebb körű összegyűjtött tudás/információ adekvát megfogalmazására utal – akárcsak a Delphi jósda „működési elve”.

F hibamező		D hibamező		H hibamező		E hibamező	
Felületi bomlás		Deformációk		Burkolat szél letörés, hosszrepedés		Keresztrepedés, elágazó repedés	
Kipergés	[S2]	Mély def. szak.	[S2]	Hosszr. széles	[S2]	Mozaikhálós repedés	[S2]
Izzadás	[S1]	Sekély def. szak.	[S1]	Hosszr. keskeny	[S1]	Tömbhálós repedés	[S1]
Kátyú	[P2]	Mély süllyedés	[P2]	Burkolat sz. törés	[P2]	Keresztr. széles	[P2]
Folt(ozás)	[P1]	Sekély süllyedés	[P1]	Burkolat sz. repedés	[P1]	Keresztr. keskeny	[P1]

3.1. táblázat. A Roadmaster burkolathiba típusok neve, kódja és a rögzítő nyomógombok.



3.3. ábra. Roadmaster mérőberendezés tasztatúra (Ambrus és Pallós, 2004).

és a Roadmaster műszerrel rögzít. A Roadmaster műszer egy gépkocsiba szerelhető digitális hosszmérő-modullal ellátott 32 Kbyte-os célszámítógép, amellyel az útvizsgáló szakember a repedések, deformációk és felületi bomlások összesen 16 féléle típusát képes helyazonosítással együtt felmérni, kódolni és tárolni irodai feldolgozás céljára (Csorba, 1999). A Roadmaster berendezéssel rögzíthető hibafajtákat a 3.1 táblázat foglalja össze.

A megfigyelést végző személy kis sebességgel haladó gépkocsiban ülve szubjektív megfigyeléssel nyomógombok kezelésével rögzíti a burkolat állapotát (3.3 ábra). A mérőberendezés a gombbal meghatározott jellemzőt a mért szelvényvel együtt tárolja. A jól kiképzett útvizsgáló szakmai felkészültsége és a gépi pontosság együtt alapozza meg a felvett információk megbízhatóságát. A felmért úthiba-adatokat egy program kiolvassa a műszerből és áttölti az irodai számítógépbe, ahol az RM-TANINFO program elkészíti a mért adatokra és az előírt minősítési követelményekre alapozott szakértői állapotszint-számításokat. Az útpálya különböző hibáinak jellemzésére az egész útszakasz vizuális alapú 5 fokozatú osztályozást választották. A Roadmaster-es felméréssel egyidejűleg, a mindkét oldali útpadka- és árokhiányosságok látható mértéke alapján az ún. víztelenítési osztályzat is megállapításra kerül. A jelzőszám jelentése: jó, megfelelő, nem megfelelő állapot. Az 1991-1996 közötti tavaszi RM tréningeken végzett megbízhatósági szint vizsgálatok igazolták, hogy rendszeres oktatás és konzultációk szervezésével az RM rendszerű állapotminősítés megbízhatósági szintje akár 92% felett tartható (Csorba, 1999).

3.3. Erdészeti utak szubjektív állapotértékelése

3.3.1. Gyalogos állapotfelvétel és értékelés

A burkolat megfelelőségét kifejező *járhatóság* egy szubjektív módon meghatározott érték, amely az út, úthasználók által ítélt járhatóságára ad felvilágosítást a jellegzetes úthibák súlyozott figyelembevételével. A járhatóság fogalma először Kosztká (1986) munkájában jelenik meg. Ez az érték az úthasználók szempontjaiból minősíti az út állapotát és jelöli ki a szükséges beavatkozásokat. Miután az erdészeti utakon az úthasználók elsőrendű szempontja a forgalmi költségek alakulása – szemben a közutakkal, ahol az utazáskényelmi szempontok a mértékadóak

– ezért a burkolat állapotának értékelésénél alapvető szempontként a hiba forgalmi költségek alakulására gyakorolt hatását kell figyelembe venni. Az értékelést több szempont szerint külön-külön kell elvégezni (Kosztka, 2001).

Állapotfelvételkor a burkolat állapotát az egyes szempontokhoz rendelt skálán értékeljük. Célszerű, ha az állapot leírásához egy olyan rendszert alakítunk ki, amelyik egyrészt numerikus határértékekkel, másrészt különféle szóbeli jellemzéssel írja le az út állapotát (Schönberger, 1983). Ezek mellé a fogalmak mellé egy 5 fokozatú skálát célszerű rendelni úgy, hogy az a vizsgált tulajdonság forgalmi költségekre gyakorolt súlyát kifejezze. A skálán a legjobb állapotot az 1-es osztályzat, a rossz, tűrhetetlen állapotot 5-ös érték jelzi.

A járhatóság meghatározásánál az útburkolat használhatóságát befolyásoló tényezők közül mértékadónak a legmagasabb értékkel bíró állapotparamétert kell tekinteni. Előnyös, ha ezt az értéket még módosítani lehet további szempontok szerint, amit átlagérték-kiegészítésnek nevezünk. Az út állapotára jellemző járhatóság értékét úgy kapjuk, hogy a használhatósági értékhez hozzáadjuk az átlagérték kiegészítést, majd az így kapott számot fél értékre kerekítjük. A leírtaknak megfelelő – állapot felvételére és értékelésére szolgáló – felvételi lapot a 3.4 ábra tartalmazza. A vizsgálandó állapotjelzők körét, azok egymáshoz viszonyított súlyát és az állapotukhoz rendelt osztályzatokat irodalmi adatok, valamint terepi tapasztalatok és kutatási eredmények alapján állították össze. Az értékelési rendszer sok szubjektív elemet tartalmaz, amit fokozhat az állapotfelvételt végző személyzet összetétele és szakmai felkészültsége is (Kosztka, 2001).

3.3.1.1. A burkolat állapotfelvétele és értékelése

A burkolat állapotát jellemző *járhatóság* meghatározása gyalogosan történik. A felvételt végző személyzet minimum két főből áll, akik 100 m-enként értékelik a burkolat állapotát és azt az állapotfelvételi lapon feltüntetik (3.4 ábra). Az értékelés teljesítménye mintegy 3 km óránként. A kifáradásból adódó figyelmetlenség és a kialakuló automatikusság miatt a reális maximális napi teljesítmény 15 km úthossz. A kitöltött felvételi lapokat belső munkával kell feldolgozni. Először a járhatóság értékét kell kialakítani, majd a 100 m-enként meghatározott járhatóságot grafikusán, hossz-szelvényyszerűen ábrázolni. Az így kapott diagram jól érzékelteti az út állapotának változását és a helyi eltéréseket, valamint ennek alapján könnyen kijelölhetők az azonos állapotúnak tekinthető útszakaszok is (Kosztka, 1986; Kosztka, 2001).

3.3.1.2. Továbbfejlesztési lehetőségek

A nagy tömegű mérés és kiértékelés elvi lehetőségét és módszerét már Kosztka (1986) értekezésében is olvashatjuk. Az elképzelés szerint a felvétel alapját egy mérőkocsi adja, amely lassan (10 km/h sebességgel) halad, miközben a megfelelően beállított kamerák az út egyes részeit folyamatosan felveszik. A megtett utat egy számítógéphez csatolt útdóval mérik és a kiadott utasításokkal együtt valamilyen adathordozóra rögzítik. Az utasítások ekkor mindig valamilyen úttal kapcsolatos észrevételt (pl. kátyú eleje, kátyú vége) jelentenek. A beutazás végén létrejön elvileg egy bármikor lejátszható képsor az út állapotáról, valamint egy adatsor az adathordozón, amely a későbbi kiértékelés alapját adja. Bár a rendszer elvi felépítése korán megszületett, gyakorlati megvalósítása nem történt meg (erdészeti utaknál).

3.3.2. Automatizált állapotfelvétel és értékelés

Az erdészeti feltáróutak gyalogos állapotfelvétele részletes és pontos adatgyűjtést tesz lehetővé, mégis az előnyök mellett számos hátrányos tulajdonsággal is bír:

- az úton végzett munka mindig balesetveszélyes,
- a különböző minősítő személyek eltérő értékeket határoznak meg,
- lassú az állapotértékelés és nagy a bérköltség.

ÁLTALÁNOS ADATOK	Dátum:	Út megnevezése, jele:	A pályaszerkezet építési módja	Burkolat szélessége:	Szakasz száma:
	Időjárás: <input type="radio"/> száraz idő száraz burkolat <input type="radio"/> ködszítálás, kis eső nyirkos burkolat <input type="radio"/> eső vízes burkolat	Útosztály:	Alap:	Korona szélessége:	hm-től
		Felvevő neve:	Burkolat:	Építés éve:	hm-ig
		Foglalkozása:	Talaj: <input type="radio"/> fagyveszélyes <input type="radio"/> fagyérzékeny <input type="radio"/> fagyálló	Utolsó beavatkozás:	Utolsó felvétel:

HASZNÁLHATÓSÁGI ÉRTÉK	EGYENLETESÉG	KOMFORT ÉS BIZTONSÁG SZÁRAZ BURKOLATON	Egyenetlenség	nem érzékelhető	nagyon jó	1,0	<input type="checkbox"/>	LEGNAGYOBB ÉRTÉK				
			Egyenetlenség vagy hosszirányú alakváltozás csak a hosszszelvényben	világosan kivehető erősen kivehető	jó	1,5 2,0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>					
			Bordásodás (vízes makadámon)	kezdődő kivehető erősen kivehető nagyon erősen kivehető zavaró	közepes elviselhető még kielégítő rossz	2,5 3,0 3,5 4,0 4,5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>					
			Keresztirányú vályúszerű alakváltozások (keréknyomok)	nagyon gyengén kivehető gyengén kivehető egyértelműen kivehető erősen kivehető nagyon erősen kivehető	jó közepes	1,5 2,0 2,5 3,0 3,5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>					
			Felületi kopások (főként aszfaltmakadámon)	kezdődő foltokban helyenként foltokban gyakran felületen	jó közepes rossz	2,0 2,5 3,0 3,5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>					
			Felületi hibák, kitérések, kátyúk	egyes sűrűbb kiterjedt	közepes rossz/még kielégítő	3,0 3,5 4,0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>					
			Sebesség csökkentése szükséges?	helyenként gyakran tartósan	rossz/még kielégítő nem kielégítő	4,0 4,5 5,0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>					
			ÁTLAGÉRTÉK KIEGÉSZÍTÉS	Hátós repedések	Repedeztettség	Érintett felület	Beavatkozást nem igényel		0%	nem érzékelhető	nagyon jó	1,0 1,5 2,0 2,5
Helyi (lokális) beavatkozás	5%	egyes					jó	2,5 3,0 3,5 4,0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	+0,25		
Kitérések	Kátyúk	Érintett felület		Szalagszerű sávok javítás 50%-on	10%	gyakori	közepes	3,0 3,5 4,0 4,5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		+0,50	
				Szalagszerű javítás 100%-on	20%	kiterjedt	rossz/még tűrhető	4,0 4,5 5,0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			
Burkolatszél állapota	Érintett felület			Beavatkozást nem igényel	0%	nem érzékelhető	nagyon jó	1,0 1,5 2,0 2,5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	+0,00		
	Érintett felület			Helyi (lokális) beavatkozás	5%	egyes	jó	2,5 3,0 3,5 4,0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		+0,25	
	Érintett felület			Szalagszerű sávok javítás 50%-on	10%	gyakori	közepes	3,0 3,5 4,0 4,5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			+0,50
	Érintett felület			Szalagszerű javítás 75%-on	20%	kiterjedt	rossz/még tűrhető	4,0 4,5 5,0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			
	Érintett felület			Szönyegszerű javítás	40%	erősen kiterjedt	tűrhetetlen	4,0 4,5 5,0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			
Érintett felület		Hibátlan				nagyon jó	1,0 1,5 2,0 2,5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	+0,00			
Érintett felület		Rövid szakaszon repedt				jó	2,0 2,5 3,0 3,5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		+0,25		
Érintett felület		Hiba a szakasz hosszának 50%-án				közepes	3,0 3,5 4,0 4,5	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>			+0,50	
Érintett felület		Hiba a szakasz hosszának 75%-án			rossz/még tűrhető	4,0 4,5 5,0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>					
Érintett felület		Hiba a teljes hosszban			tűrhetetlen	4,0 4,5 5,0	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>					
Járhatóság	Összesen		Használhatósági érték + kiegészítés tekintet nélkül a forgalomra		KEREKÍTÉS FÉL ÉRTÉKRE:							

TOVÁBBI HIÁNYOSSÁGOK	TÍPUSOK	Kiterjedés/Gyakoriság			Szelvényben		BEHAJLÁS		Megjegyzés:
		gyenge egyes	jelentős gyakori	erős kiterjedt	-tól	-ig	Bal kerék	Jobb kerék	
	Árok erózió								
	Árok feliszapolódás								
	Árok feltöltődés								
	Padka felhízás								
	Padka erózió								
	Rézsű állapota								
Rézsű növényzete									

3.4. ábra. A járhatóság meghatározásához kidolgozott állapotfelvételi lap.



3.5. ábra. Mérőkocsi (a) és a jellemző pontok (b) állandósítására alkalmazott burkolatjel.

A fenti problémák kiküszöbölésére az erdészeti feltáróutak esetében is törekedni kell. Ezért az erdészeti utak szubjektív állapotának felvételére és kiértékelésére a korábbi manuális értékelési módszert továbbfejlesztve – az Erdőfeltárási Tanszék munkatársaival közösen – kifejlesztettük a digitális felvételezés és értékelés eszközeit és technológiáját.

3.3.2.1. Fejlesztési előzmények

A fejlesztés első szakaszában az állapotértékelést a gyalogos módszer helyett egy lassan mozgó gépjárműből hajtottuk végre. A felvétel alatt az értékelő személy ugyan azt az állapotértékelő lapot töltötte ki, mint a gyalogos módszernél (3.4 ábra). Korán kiderült, hogy még alacsony sebesség mellett (8-10 km/h) sem lehetséges a gyalogos értékelés pontosságát visszaadni (a figyelem megoszlása miatt). Ezért a későbbiekben az értékelő személy már közvetlenül csak egy szubjektív értéket határozott meg (1–5) és amikor az út állapotában változás történt, ezt a szubjektív értékelést – a szelvénnel együtt – egy felvételi lapra manuálisan rögzítette.

Jellemző pontok rögzítése A feltáróutak hosszát egy a mérőkocsihoz kapcsolt kalibrált mérőkerék segítségével határoztuk meg úgy, hogy az út eleje pontjától indulva mértük és jegyzőkönyvben rögzítettük a jellemző pontok távolságát a kezdőponttól (3.5 a) ábra). A jellemző pontok legtöbbször az alábbiak voltak:

- Az út kezdő- és végpontja,
- hidaknál az áthidalt akadály és az út tengelyének metszéspontja,
- becsatlakozó és mért út tengelyének metszéspontja,
- és végül a kilométerpont.

A jellemző pontokat aszfalt burkolatú utaknál az aszfaltba vert szeggel és sárga színű, kör alakú festéssel jelöltük (3.5 b) ábra). Makadám pályaszerkezetű utak esetében a kilométerpontokat a padkán elhelyezett íráskaróval állandósítottuk, feltüntetve a kilométer számát. Az út felmérése alatt jegyzőkönyvbe rögzítettük az úthoz kapcsolódó objektumok típusát is (műtárgyak, rakodók, kiterők stb.), valamint távolságát az út kezdőpontjától.

Fényképek készítése Az utak mérése közben a jellemző pontoknál digitális fényképet is célszerű volt készíteni, kibővítve ezzel a dokumentálható helyszíni információkat. A képek készítésénél a kezdő- és végponton, a hidaknál és a becsatlakozó utaknál törekedtünk arra, hogy a digitális fénykép a beazonosításhoz a lehető legtöbb részletet tartalmazza. A kilométer pontoknál az elsődleges cél az út vonalvezetésének és állapotának vizuális rögzítése volt.



3.6. ábra. A továbbfejlesztett mérőkocsi (a) és az adatgyűjtő szoftver (b).

3.3.2.2. A digitális állapotrögzítés eszközszerrendszere

A kezdeti módszer legnagyobb hátránya az adatok manuális rögzítése volt. Az értékelő személy figyelmét leginkább a jegyzőkönyv vezetése kötötte le. Komoly problémát okozott az is, hogy az útállapot változás határa sok esetben nem volt egyértelműen megítélhető és ennek javítására irodai körülmények között sem volt lehetőség. Végül pedig csak egy szubjektív érték lett meghatározva, így nem volt lehetőség a szükséges útfenntartási munkák hálózati szintű megtervezésére sem.

A vázolt problémákat csak úgy lehetett megoldani, ha olyan útdadó eszközt szerkesztünk, amely közvetlenül képes számítógépre küldeni a mért távolságot (szelvényezési értéket), majd ehhez rendeljük hozzá az egyes állapotjellemzőket egy grafikus felületen keresztül. Az adatok gyors rögzítése lehetővé teszi, hogy az értékelő személy az állapotértékelést részletesebben hajtsa végre, valamint a kifáradásból származó pontatlanságok is csökkennek. A digitális felvétel továbbfejlesztett eszközei az alábbiak lettek:

- mérőkocsihoz kapcsolt saját fejlesztésű kalibrált mérőkerék,
- kézi számítógép, a saját fejlesztésű adatgyűjtő programmal,
- valamint az ugyancsak tanszéki fejlesztésű számítógépes kiértékelő program.

A mérőkocsi és az adatgyűjtő szoftver felvételi képernyőmácsolata a 3.6 ábrán látható. A rendszer egyes elemeinek szerepére és részletes ismertetésére a későbbiekben fogunk kitérni.

3.3.2.3. A helyazonosítás problematikája

Az útleltár készítés egyik fő feladata az úthibák, műtárgyak és egyéb objektumok felvétele valamint ezek helyazonosításának pontosítása. A helyazonosítás alapvetően két módszerrel történik:

1. műholdas helymeghatározás (GPS),
2. és szelvényezés.

A felvétel végrehajtása közben minden leltárművelet esetén mentésre kerül az aktuális GPS pozíció, így teremtve meg a valós helyen alapuló adatbanki nyilvántartás alapját. Habár a GPS méréstechnika rohamosan fejlődik, mégsem szabad – erdei körülmények között – csak a műholdas helymeghatározásra alapozni. Ennek oka, hogy a GPS-mérés pontossága szoros kapcsolatot mutat a vegetációs ciklussal. A vegetációs időn kívüli, a késő őszi, téli és kora tavaszi időszakban elérhető geodéziai pontosságot elsősorban az erdőterület fatérfogata befolyásolja. Minél sűrűbben vannak a fák, minél vastagabb a törzsük, annál nagyobb darabot takarnak ki az égboltból és teszik bizonytalanabbá a távolságmérést (Bácsatyai et al., 2007). A vegetációs időben (dús lombkorona) a kitakarás olyan mértékű is lehet, hogy egyáltalán nem képesek pozíciót fogni

a műholdas eszközök. Mivel az útleltár felvétele általában kora tavasztól késő ősziig tart, a helyazonosítás alapját mindmáig a szelvényezés adja.

Az utak vonalás létesítmények, így lehetőség nyílik arra, hogy a felvett úthibákat és objektumokat egy szelvényezési értékkel, vagyis az út kezdőpontjától mért távolságukkal rögzítsük. Már a korai térképkészítők is mérőkereket alkalmaztak a hosszak mérésére. A mérőkerék alapvetően fordulatokat számláló szerkezettel ellátott gördíthető kerék volt, amellyel főleg az utak hosszát mérték le, ezért útmérőnek vagy hodométernek is nevezték és lovas kocsin alkalmazták. Útmérőt a görög Héron és a római Vitruvius is szerkesztett vagy használt, újkori változatai vagy jelentősebb alkalmazásai a francia Fernel (1525), a német Schiessler (1583) és a szintén német Trechler (1584) nevéhez fűződnek, de szabatos kivitelű utódaikat – pl. baleseti helyszínelésnél – még ma is használják³.

Ennek mintájára az Erdőfeltárási Tanszéken kifejlesztettünk egy speciális mérőkereket, amely az állapotadatok terepi rögzítését végző szoftver számára szolgáltatja valós időben az aktuális szelvényértéket. Fejlesztés közben több különböző működési elvű prototípust is megvizsgáltunk. A gyakorlatban bevált megoldás a következő jellemzőkkel rendelkezik:

- A mérőkerék a mérőkocsi vonóhorgához kapcsolódik.
- A szerkezet futóművét két, egymással párhuzamosan elhelyezett kerék alkotja.
- A szelvényérték rögzítése egy, a mérőautó utasterében elhelyezett, saját fejlesztésű adatgyűjtő egységben történik. Az adatgyűjtő a beépített LCD képernyőjén az aktuális szelvényértéket jelzi, illetve USB kapcsolaton keresztül az állapotértékelő szoftver számára továbbítja.
- A távolság mérésére szolgáló szenzorként reed relét alkalmazunk. A relé a kerék egyik küllőjén elhelyezett mágnes elhaladásakor zárja az adatgyűjtő jelfeldolgozó egységének áramkörét, aminek hatására az adatgyűjtőn futó firmware a szelvényértéket a kerék kerületének megfelelő értékkel növeli. A jelenleg alkalmazott kerék kerülete 2015 mm, így az eszköz felbontása 2 m körüli.
- Az állapotértékelő szoftverben lehetőségünk van mind a mérőkerék kerületét, mind az aktuális szelvényértéket beállítani.
- Több, egyenlő távolságra elhelyezett mágnessel a mérőkerék felbontását növelhetjük.

A GPS vevőt a mérőkocsiban, a hozzá kábellel csatlakoztatható antennát pedig egy erős mágnest tartalmazó talp segítségével a mérőkerék közepén helyeztük el (3.7 ábra).

A leírtakból látható, hogy az állapotadatok megbízható rögzítése csak a két módszer és eszköz együttes használata mellett biztosítható. A GPS pozíció a valós helyen alapuló adatbanki nyilvántartást teremt meg, míg a mérőkerekkel meghatározott szelvényezési érték olyan területeken is lehetővé teszi a munkát, ahol a GPS műholdak jelének vételét a környezet nem teszi lehetővé. A két módszer az úttengely térképi vonalának ismeretében oda-vissza átszámítható.

3.3.2.4. A felvételezés végrehajtása

Az értékeléseknél minden állapotjellemző esetében hármas skálát alkalmaztunk. A hiba súlyosságától függően beszélhetünk gyenge/ritka (1), közepes/gyakori (2) és erős/kiterjedt (3) állapotról. A legtöbb állapotfelvételi módszer a hiba mértéke mellett annak felületi kiterjedését is rögzíti. Mivel a felvételezés mozgó gépjárműből történik, ezt a tényezőt is a háromfokozatú skála leírásába építettünk be. Ennek oka, hogy a burkolati hibák nagyságának megbecslése a burkolat teljes felületének százalékában még alacsony sebesség mellett is nagyon bizonytalan.

³<http://lazarus.elte.hu/hun/tanszjgp/tarlat/10.htm>

A felvételezés alatt a megfigyelést végző személy a burkolat és az út környezetének állapotát a mérőkocsi folyamatos (5-10 km/h) haladása mellett egy érintőképernyős kézi számítógépen (vagy táblagépen) megjelenő háromfokozatú állapotjellemzők megfelelő értékének megjelölésével rögzíti. Abban az esetben, ha egy hibatípus nem fordul elő, akkor az adott hibaérték súlyossága nulla (0). Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy az adott szelvényértékekhez nem kerül rögzítésre semmilyen érték sem. A felvételezés menetét a 3.7 ábra mutatja be szemléletesen.

A szubjektív állapot felvétele közben az utak kezdeténél és végénél, hidaknál, valamint kilométerenként digitális fénykép is készül, kibővítve ezzel a dokumentálható helyszíni információkat. Később ezek a fényképek további elemzésekre adnak lehetőséget.

3.3.2.5. Az útpályaszerkezet felületi romlásának értékelése

A romlások jellege háromféle lehet: *deformáció*, *repedés* és *bomlás*. Az idő függvényében a romlás általában az alábbi fokozatokban jelentkezik:

$$deformáció \longrightarrow repedés \longrightarrow bomlás$$

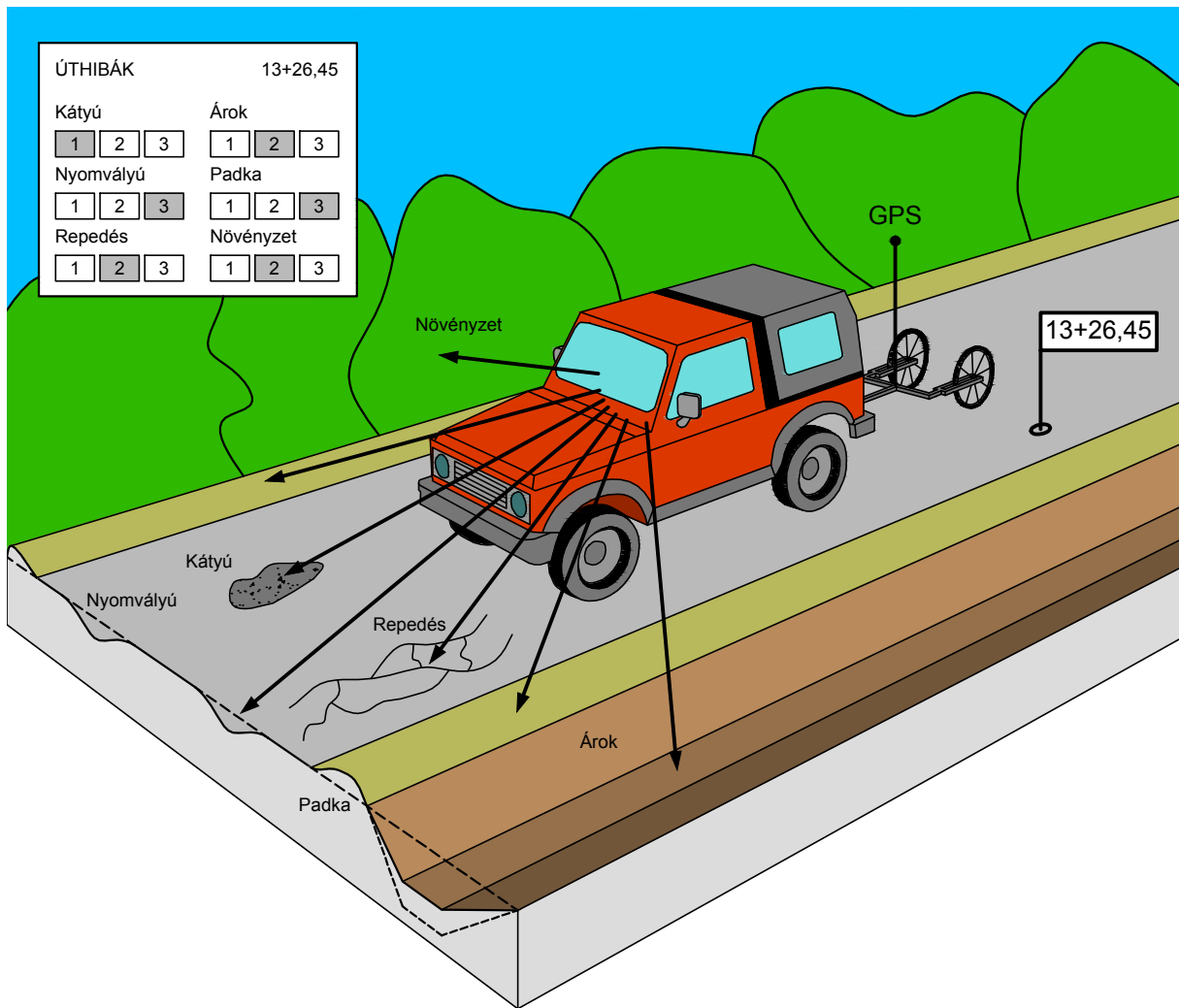
gyakran azonban repedés vagy bomlás formájában is kezdődhet. Az osztályozásnak ez a módja bizonyos mértékig a romlások okaira is utal. A deformáció ugyanis a legtöbb esetben altalajokokra vezethető vissza, míg a bomlások előidézője leginkább a pályaszerkezeten belül keresendő (Boromisza, 1958). A repedések átmenetet képeznek a két csoport között. A romlás különféle változatait a 3.8 ábra mutatja be. A hibafelvétel csak akkor nyújthat hasznosítható információkat, ha az egyes hibatípusok leírása egyértelműen meghatározott.

Nyomvályú A pályaszerkezetnek, vagy a burkolatnak függőleges értelemben való tartós elmozdulását plasztikus alakváltozásnak nevezzük. A plasztikus alakváltozás csak akkor alakulhat ki, ha a pályaszerkezet kellő mértékben hajlékony, ellenkező esetben hirtelen, ill. rövid átmeneti deformáció után elreped (Boromisza, 1958). A keréknyomok irányában megjelenő hosszirányú alakváltozás a nyomvályú, aszfalt és a makadám rendszerű pályaszerkezeteknél egyaránt jelentkező hibatípus. Az aszfalt burkolatok nyári nyomvályú képződéséhez és egyéb deformációinak létrejöttéhez mindenképpen járműforgalom és pedig nehéz teher vagy nagyon lassú és sűrű könnyű forgalom szükséges (Török, 2000). Normális körülmények között az aszfaltvastagságnak legfeljebb csak a 25%-a lehet a nyommélység (az eredeti felülethez képest) és ehhez a számításához legfeljebb csak 15 cm vastagságot érdemes figyelembe venni a nagyobb vastagságú aszfaltburkolatból. A nyomvályúban felgyülemelő csapadék egyrészt növeli a vízen csúszás veszélyét, másrészt a mikro repedéseken át beszivárgó nedvesség gyorsítja a leromlás folyamatát. Ha a nyomvályú mélysége 20 mm-nél nagyobb, akkor – az esésviszonyoktól függően – már több milliméteres vízmegállások is kialakulhatnak (Ambrus és Pallós, 2004).

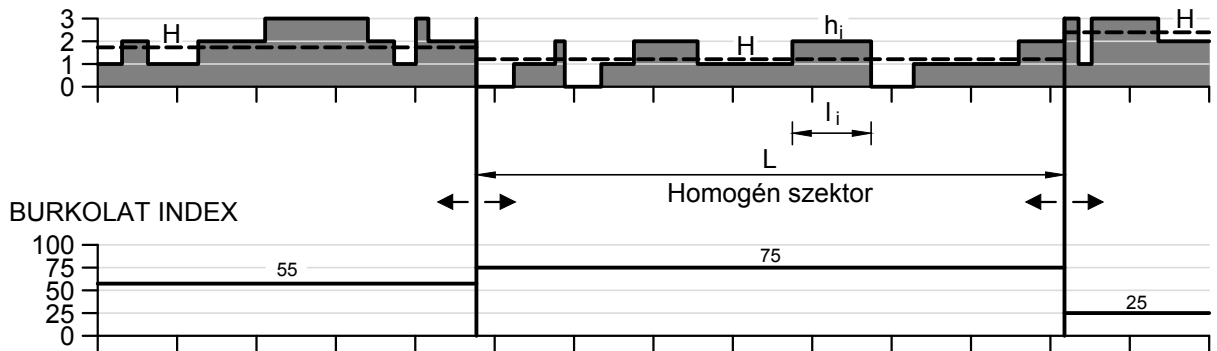
Makadám rendszerű pályaszerkezeteknél a hosszirányú deformációk már az építés után is viszonylag hamar kialakulnak. A járműforgalom alatt folyamatosan mélyülnek, de sokáig nem okoznak szerkezeti problémát, csak a fedőréteg vastagsága csökken le (kopás). Később már a zúzottkő pálya felülete is megjelenik, a kiékelő zúzalék kipereg, és a kialakuló deformációk a zúzottkő pálya szerkezetét is érintik.

A leírtakból következik, hogy a „nyomvályúsodás” mértéke a burkolatfelület keresztirányú profiljának süllyedésével hozható kapcsolatba. Értékelése:

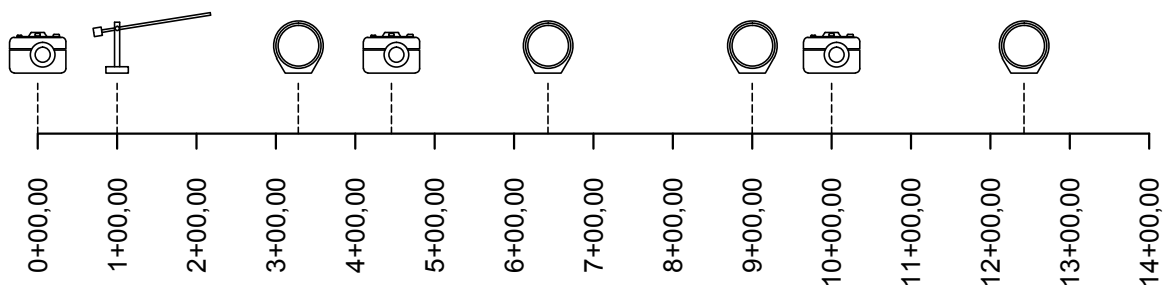
- [0] : Ha a felület ép, szemmel láthatóan nincs hosszirányú deformáció.
- [1] : Ha a deformáció szabad szemmel már gyengén kivehető és a csapadék egy része megáll vagy benne folyik.
- [2] : Ha a deformáció szabad szemmel már egyértelműen kivehető és a csapadékból származó víz nem képes távozni.



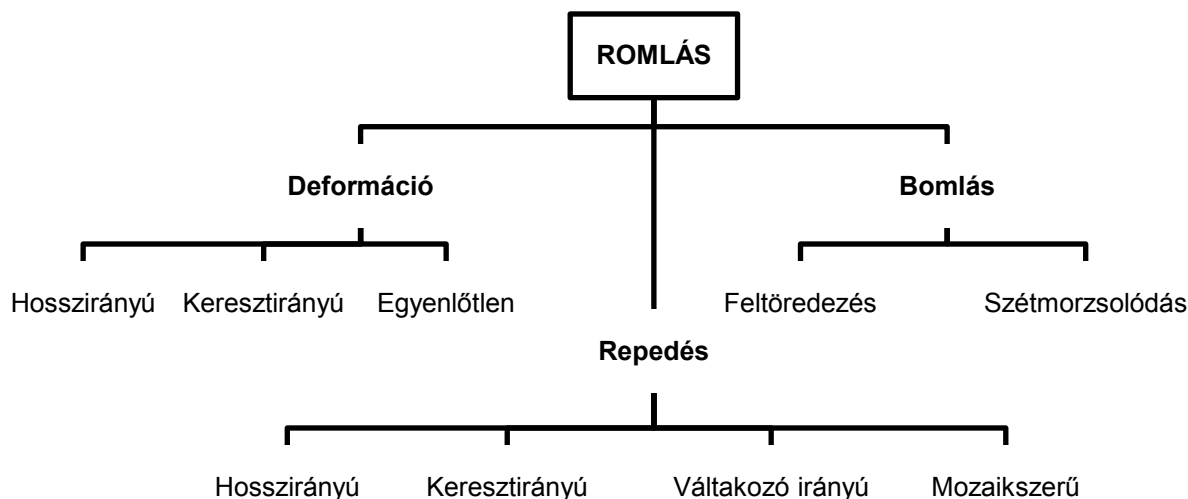
ÁLLAPOTJELZŐK (Nyomvályú, Repedés, Kátyú, Padka, Árok, Növényzet)



LELTÁRI OBJEKTUMOK



3.7. ábra. A szubjektív állapotfelmérés és értékelés.



3.8. ábra. A hajlékony útburkolatok jellemző hibatípusai (Boromisza, 1958).

- [3] : Ha a deformáció szabad szemmel már erősen kivehető és makadám burkolatoknál a zúzottkő alapot érinti.

Repedés A repedésképződés – az aszfalt burkolatoknál – többféle ok folytán alakul ki. Általában a repedések a vízszintes irányú feszültségek (pl. termikus feszültségek) felhalmozódásának hatására, vagy pedig a túlzott hajlító igénybevétel következtében jönnek létre. Az aszfaltburkolat élettartama alatt különböző repedések alakulnak ki: hosszirányú repedések, keresztirányú repedések, elágazásos repedések és hálós repedések. Értékelése:

- [0] : Ha a felület repedésmentes.
- [1] : Ha egyes hosszirányú vagy keresztirányú repedések láthatók a felületen.
- [2] : Ha hosszirányú és keresztirányú repedések együttes megjelenése figyelhető meg laza hálózatban.
- [3] : Ha hosszirányú és keresztirányú repedések sűrű hálózata vagy az ún. mozaikos repedés figyelhető meg.

Az útburkolat bomlása (kátyúk) A romlás utolsó fázisában a burkolat felbomlik, kátyúk képződnek és megkezdődik a pályaszerkezet teljes szétesése (Boromisza, 1958). Értékelése:

- [0] : Ha a felület teljesen ép, kátyúmentes.
- [1] : Ha a kopóréteg mélységéig terjedő ún. sekély kátyú előfordulása lokális és 0,5 m²-nél kisebb.
- [2] : Ha a sekély kátyú folyamatosan és foltszerűen megjelenő, valamint 0,5 m²-nél nagyobb.
- [3] : Ha a bomlás mértéke eléri az ún. ütőkátyú mértékét.

3.3.2.6. A pályaszerkezeten kívüli részek állapotának értékelése

Útfenntartási szempontból nem elég, ha csak a pályaszerkezet tulajdonságait ismerjük, hanem lényeges annak feltárása is, hogy milyen állapotban vannak és milyen beavatkozásokat igényelnek a padkák, vízvezető berendezések valamint a műszelvényt borító növényzet. A pályaszerkezeten kívüli részek minősítése különösen jelentős, mivel az útpályaszerkezet leromlási folyamatban

kiemelten fontos szerepet játszanak, főleg a keskeny egy forgalmi sávossal erdészeti utaknál. Nem véletlen, hogy a Roadmaster rendszer is víztelenítési osztályzatot képez ezekből a paraméterekből. Az árkok, átteresztők, padkák és rézsűk értékelését külön-külön kell elvégezni, célszerűen a burkolat minősítésével egy időben. A legfontosabb pályaszerkezeten kívüli részek (Kosztka, 2001):

- Az árkok állapotának minősítése.
- Az átteresztők minősítése.
- A padkák állapotának minősítése.
- A rézsű állapotának minősítése.
- A növényzet állapota.

Mivel az állapotfelvétel mozgó gépjárműből történik, nincs mód az átteresztők állapotának rögzítésre (felhalmozódott hordalék mennyiségének becslése), csupán azok helyazonosítása lehetséges. Ezt a hiányosságot egy későbbi gyalogos bejárás alatt könnyedén orvosolhatjuk. A rézsűk állapotát az eróziós károk, hámlások, kagylósodások és suvadások mértékének függvényében ítéljük meg. Mivel a rézsűk kijavításánál rendkívül fontos, hogy a meghibásodást előidéző okokat is megszüntessük, ezért mindig szükséges részletes terepi feltárás is, így mozgó gépjárműből nem célszerű rutinszerűen ezt a hibatípust értékelni.

Az árkok állapota Az árkok alapvető célja, hogy az útpályára jutó vizet gyorsan elvezessék. Az árok használhatóságát kétféle hiba ronthatja, amelynek megszüntetése is különböző: az árok feltöltődése és az árok eróziója. A két hiba nem különül el felvételezéskor, mivel mozgó gépjárműből nem lehetséges egyértelműen elkülöníteni mindig a két hibatípust. Jellemzően pedig az árok különböző mértékű félhízása fordul elő. Értékelése:

- [0] : Ha az árokfenék ép illetve az árok fenékszintje a pályaszerkezet alsó síkja alatt min. 10 cm-rel van.
- [1] : Ha az árok fenékszintje rövid szakaszon az előbbi szintet meghaladja, vagy ha az árokfenéken az erózió kezdeti jelei már mutatkoznak.
- [2] : Ha az árok teljes hosszában már megfigyelhetők a feltöltődés vagy az erózió jelei.
- [3] : Ha az árok mélysége rövidebb szakaszon a szükséges mélység felét már elérte, vagy ha az árokfenék eróziója a 10 cm-t meghaladja.

A padkák állapota A padka feladata a kitérő vagy leálló gépkocsik számára megfelelő hely biztosítása, valamint a szegélyfélelem csökkentése. Műszakilag az útpályaszerkezet oldalsó megtámasztásáért felel. Ezeknek a feladatoknak a kellő teherbírású, befüvesedett sima padka felel meg. A padka hibája kétféle lehet: vagy felhízott, vagy erodált állapotú. Jellemzően a padka különböző mértékű félhízása fordul elő. Értékelése:

- [0] : Ha a padka ép és megfelelő teherbírású, valamint 1 cm-nél nem magasodik jobban a burkolat széle fölé.
- [1] : Ha a padka szakaszonként a burkolat széle fölé emelkedik, vagy rövid szakaszon már előfordul keréknyom és kezdeti padkaerózió.
- [2] : Ha a padka folyamatosan a burkolat széle fölé emelkedik, vagy kis mélységű padkaeróziót tapasztalunk.
- [3] : Ha a padka szakaszonként úgy felhízik, hogy a víz a burkolat felszínéről nem tud elfolyani, vagy a kopórétegnél mélyebb padkaeróziót tapasztalunk.

A növényzet állapota A padkán, árokban és a rézsűn felnövő növényzet kedvezőtlené válhat, ha lecsökkenti a szabad látótávolságot, illetve gátolja a műszelvény gyors kiszáradását, és akadályozza a padkára való kitérést (fás növényzet). Értékelése:

- [0] : Ha nincs növényzet, vagy jelenléte nem zavaró.
- [1] : Ha a növényzet ápolását kaszálással el lehet végezni.
- [2] : Ha a fás cserjék megjelennek a padkán és az árokban.
- [3] : Ha túlburjánzott, forgalmat és útfenntartást egyaránt akadályozó.

3.3.2.7. A rögzített adatok értékelése

Az útleltár alatt felvett elsődleges adataink kiértékelésére egy saját fejlesztésű számítógépes programot készítettünk. Az állapot könnyebb értékelését segíti elő, ha a pályaszerkezet állapotát kifejező mérőszámokat egy összevont ábrán tüntetjük fel, amit állapotrajznak nevezünk. A szoftver ezt az állapotrajzot automatikusan generálja a terepi felvételtől.

Az állapotjellemzők grafikus képernyőn megjelenő értékei alapján meg kell állapítanunk, hogy melyik szelvényben változik meg számottevően az út állapota. Az így kijelölt határok között kialakulnak az állapot szempontjából homogénnek tekinthető szektorok. Ezek a szektorok jelentik a felújításkor a legkisebb egyben kezelhető egységet. A pontos szektorképzést – a programon belül – a határ dinamikus változtatásának lehetősége is tovább segíti (3.7 ábra). A lehatárolt szakaszokra egy átlagos állapotérték lesz jellemző, számítása a következő:

$$H = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n h_i l_i \quad (3.5)$$

ahol:

H = az adott hibatípus súlyozott átlagértéke szakaszon belül (0–3).

h_i = adott burkolathiba i -edik állapotértéke szakaszon belül (0–3).

l_i = adott burkolathiba i -edik állapotértékének hossza a szakaszon belül (m).

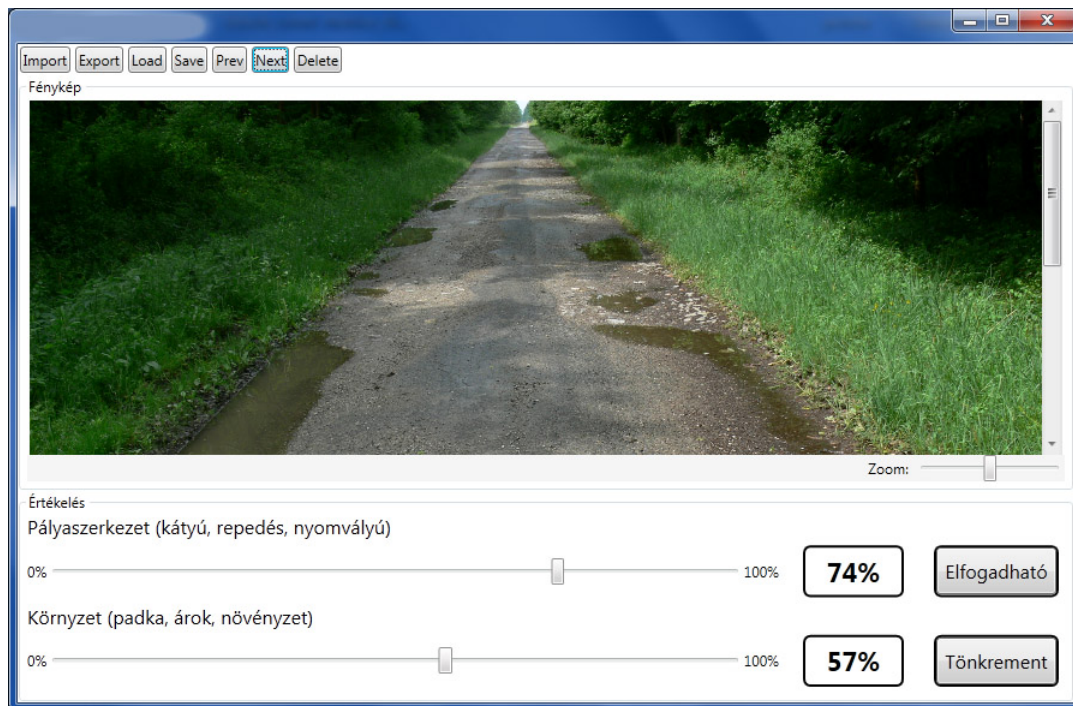
L = az adott szakasz teljes hossza (m).

A fenti összefüggés a hibák területarányos átlagát fejezi ki. A legfontosabb ekkor, hogy építéstechnológiai szempontból az út ne aprózódjék fel. Célszerűnek látszik ezért aszfalt pályaszerkezetű útszakaszoknál a minimális hosszat kb. 500 m-ben, makadám rendszerű utaknál pedig minimum 100 m-ben meghatározni. A kiértékelő szoftver működési elvét a 3.7 ábra mutatja be. Jól látható, hogy a folyamatosan rögzített állapotparaméterekből, szubjektív megítélés alapján homogén szakaszokat képzünk. A képzett szakaszok átlagos értékét a 3.5 összefüggéssel számítjuk (Kisfaludi et al., 2012).

Az állapotfelvétel és értékelés eredményeként ismertté válik, hogy különböző szempontok szerint vizsgálva, milyen az út állapota. A nehézséget a különféle hibatípusok és azok kombinációinak együttes értékelése okozza. Jelenleg a különféle összegző indexek (OPI) terjedtek el, melyek az egyes útszakaszok összehasonlítását segítik. Az út állapotának komplex értékelését csak az egyes hibák súlyozó tényezőinek ismeretében lehetséges elvégezni.

Hasznos megközelítés, ha a különböző burkolathiba-típusokat aszerint osztályozzuk, hogy forgalmi vagy környezeti hatás, esetleg a kettő kombinációja váltotta-e ki azokat (Gáspár, 2003). Ennek megfelelően először a nyomvályú (h_{ny}), repedés (h_r) és kátyú (h_k) hibatípusból célszerű egy összegző osztályzatot kidolgozni, mivel ezek közvetlenül jellemzik a pályaszerkezet pillanatnyi műszaki állapotát. Másodsorban pedig a padka (h_p), árok (h_a) és növényzet (h_n) paraméterekből kell levezetni egy környezeti osztályzatot, amely a pályaszerkezet leromlási kockázatáról (víztelenítési problémák) valamint a szükséges karbantartási munkák sürgősségéről tájékoztat. A burkolat állapotát a *Burkolat Index* (B_i), míg az út környezetét az ún. *Környezeti Index* (K_i) jellemzi:

$$B_i = 100 - (b_0 h_{ny} + b_1 h_k + b_2 h_r) \quad (3.6)$$



3.9. ábra. A PaveRater szubjektív szakértői vélemények gyűjtését támogató program.

és

$$K_i = 100 - (b_0 h_a + b_1 h_p + b_2 h_n) \quad (3.7)$$

Az összegző osztályzat kidolgozásánál egy 100 fokozatú skálából indultunk ki, ahol a tökéletesen hibamentes utat tekintjük 100 pontosnak vagy 100%-nak (hasonlóan a PCI-hez). A százalékos értékelés azért praktikus, mivel az értékelő személyek sokkal könnyebben tudják megfogalmazni szubjektív véleményüket, valamint bármilyen más skálára is könnyen átszámítható az így kapott eredmény. Az egyenletek együtthatóit a szubjektív állapotértékelés közben készített fényképek számítógépes feldolgozásával becsültük meg. Az egyes fényképekhez tartozó állapotadatokat az állapotrajz alapján gyűjtöttük ki. Ezután felkértük az Erdőfeltárási Tanszék munkatársait, hogy a feltáróutakról készített felvételeket egy erra a feladatra fejlesztett program segítségével értékeljék (3.9 ábra). Az egyenletek együtthatóit (b_0 , b_1 és b_2) pedig az irodai értékelések után kapott szakértői vélemények statisztikai feldolgozása után kaptuk:

$$B_i \approx 100 - (15h_{ny} + 5h_k + 1h_r) \quad (3.8)$$

és

$$K_i \approx 100 - (10h_a + 5h_p + 2h_n) \quad (3.9)$$

Az egyenletek együtthatói még nem véglegesek, mivel több mint 1000 km felmért erdészeti út értékelése folyamatban van. Az már viszont jól látszik, hogy a burkolati hibák közül a nyomvályú hibatípus, a környezeti jellemzők közül pedig az árok állapota a legmeghatározóbb. Mindkét index esetében az aszfalt burkolatú utaknál az 50 pont alatti, míg makadám rendszerű utaknál a 25 pont alatti érték a tönkrement útállapotot jelenti. Ilyenkor már csak komoly ráfordításokkal lehetséges beavatkozni, ezért ezt tudatos útfenntartással el kell kerülni.

3.3.3. Az automatizált állapotfelvétel és értékelés gyakorlati tapasztalatai

3.3.3.1. A mintaterületek bemutatása

A bemutatott rendszerrel 2006 óta végeztünk útleltározást és állapotértékelést. Két erdőgazdaság teljes úthálózatát felmértük (Bakonyerdő, Mecsekerdő). További négy erdőgazdaság (Észak-

erdő, KAEG, Zalaerdő, Egererdő) területén folyamatban van a digitális útleltár kialakítása és állapotadatokkal való feltöltése. Az eddigi felmérések legnagyobb részét hegy- és dombvidéki területeken végeztük. Tapasztalatunk szerint ezeken a területeken a helyazonosítást nem szabad csak GPS mérésekre alapozni, mivel a mérés pontossága szoros kapcsolatot mutat a vegetációs ciklussal és a domborzattal (meredek oldalak). Így a helyazonosítás alapját minden körülmények között a mérőkerék és a szelvényezés biztosítja.

Az eredmények alapjául a 2006-2011 között azonos elvek szerint végzett felmérések szolgálnak. Ez alatt az idő alatt 1080 km erdészeti út állapotértékelése történt meg. Itt a két jellemző burkolattípusra – aszfalt és makadám – vonatkozó adatokat közlöm. Aszfalt burkolatú útból 454 km-t, makadám burkolatúból 626 km-t értékeltünk. Tapasztalataink szerint az aszfalt burkolatú utak meghatározó hibatípusa a repedés, ami az irodalmi adatokkal megegyezik. Ezt jól igazolja, hogy a felmért utak 60%-án a repedés elérte a legrosszabb kategóriát, ami az erdészeti utaknál jellemző vékony aszfaltrétegek következménye. Emellett a többi hibatípus a közepes állapotot jelölő 2-es szinttel jellemezhető. A makadám utakon az árok feltöltődés és a padka felhízás volt jellemző (Kisfaludi et al., 2012).

3.3.3.2. Az adatokból számítható felújítási költség

Az állapotjelzők értékei és a gyakorlati tapasztalatok alapján meghatározható, hogy milyen beavatkozás szükséges a hiba javításához. A beavatkozás ismeretében pedig kiszámítható, hogy adott útszakasz javítása milyen költséggel jár. Az állapotjelzők közül a felület megbomlásával járó kátyúk kialakulása utal a pályaszerkezet elhasználódásra. Ennek 3-as értéke már olyan mértékű tönkremenetelt jelez, amelyet a pályaszerkezet egy részének vagy egészének újraépítésével lehet hosszútávon megnyugtatóan helyreállítani. Ezzel viszont az összes állapotjelzőt az új útnak megfelelő vagy azt megközelítő értékre hozzuk fel. A felmért és kiértékelt 1080 km erdészeti út állapotjellemzői közül a kátyúk kijavításának költségeit határoztuk meg, annak mértékétől és a burkolat típusától függő technológiát alkalmazva.

A 3.2 táblázat a kátyúosság mértékétől függő beavatkozásokat és azok költségeit mutatja be. A burkolat felületének meghatározásánál a terepi felvételkor megállapított szélességek átlagával számoltunk, amely aszfalt burkolatú utaknál 3,00 m makadám burkolatú utaknál 3,50 m volt. A kátyúk felületének a teljes felülethez viszonyított arányát aszfalt burkolat esetén próbamérésekkel becsültük meg. Makadám burkolatnál a kisebb mélységű kátyúk kevésbé vehetők észre, ezért a kátyú állapotjelző 2-es értéke esetén a felület 50%-nak javítását vettük számításba. Mind az aszfalt, mind a makadám burkolatnál a kátyú állapotjelző 3-as értéke esetén az állapot megnyugtató helyreállítása teljes felületre kiterjedő beavatkozást igényel. A beavatkozások egységárait az országos normákat felhasználó HunKalk költségvetés készítő programból vettük ki. Miután meghatároztam az egységárat, az állapotértékelési adatokból hibatípusonként kigyűjtöttük az 1, 2, 3-as értékű állapotjelzőkhöz tartozó úthosszakat (3.3 táblázat). A hosszt megszorozva az egységárral megkapható, hogy mennyibe kerül a felmért úthálózat kátyús szektorainak javítása. Az „a” és „b” módszer közötti különbség értékelésénél figyelembe kell venni, hogy a „b” eljárással amellett, hogy minden burkolatot érintő hiba megszűnik, az eljárás teherbírás növekedéshez is vezet, mivel gyakorlatilag a pályaszerkezet újraépítéséről van szó (hidegremix). Az új pályaszerkezet élettartalmát már objektív mérésekkel (teherbírásmérés) szükséges megállapítani. A teljes felmért hálózat felújítási költség-bebecslésének bemutatásától annak terjedelme miatt tekintünk el. A 3.4 táblázatban szereplő számok tükrében érdemes azonban belegondolni, hogy Magyarországon 1 km új autópálya építési költsége átlagosan 1,5 milliárd Ft⁴, amennyiből gyakorlatilag a felmért 626 km makadám pályaszerkezetű erdészeti út magas színvonalon felújítható lenne (Kisfaludi et al., 2012).

⁴www.nfi.hu

Állapotjelző	Aszfalt			Makadám		
1	Átlagosan a felület 1%-a			Átlagosan a felület 1%-a		
	Kátyúzás	126	Ft/m	Javítás	38	Ft/m
2	Átlagosan a felület 5%-a			A felület 50%-án		
	Kátyúzás	629	Ft/m	Javítás	1880	Ft/m
	Felületi bevonat	2787	Ft/m			
	Összesen	3416	Ft/m	Összesen	3416	Ft/m
3a	Átlagosan a felület 12%-a			A teljes felületen		
	Kátyúzás	1509	Ft/m	Javítás	3759	Ft/m
	Felületi bevonat	2787	Ft/m			
	Összesen	4296	Ft/m	Összesen	3759	Ft/m
3b	Remixelés	7815	Ft/m	Remixelés	9118	Ft/m
	Kopóréteg	11571	Ft/m			
	Felületi bevonat	2787	Ft/m			
	Összesen	22173	Ft/m	Összesen	22173	Ft/m

3.2. táblázat. A kátyúk kijavításának fajlagos költsége burkolattípus és súlyosság szerint.

Állapotjelző	Aszfalt burkolatok állapotjelzői [m]					
	Kátyú	Nyomvályú	Repedés	Árok	Padka	Növényzet
Nincs	23200	28 597	11 705	9 139	14 651	25 579
1	65716	67 353	33 173	20 034	42 398	24 521
2	321247	322 250	131 774	355 586	358 932	323 054
3	54443	35 406	276 94	68 847	37 625	80 452
Állapotjelző	Makadám burkolatok állapotjelzői [m]					
	Kátyú	Nyomvályú	Repedés	Árok	Padka	Növényzet
Nincs	8 803	5 980	5 980	6 807	7 643	28 016
1	36 389	48 287	48 287	19 680	31 564	53 532
2	546 813	506 409	506 409	296 973	394 721	450 436
3	33 813	65 142	65 142	302 358	191 890	93 834

3.3. táblázat. A felmért utak megoszlása hibatípusok, és azok mértéke szerint.

Állapotjelző	Aszfalt		Makadám	
1	8 260 501	Ft	1 171 726	Ft
2	1 059 710 678	Ft	1 027 735 034	Ft
3a	233 876 239	Ft	127 103 067	Ft
3b	1 207 164 639	Ft	308 306 934	Ft
Összesen „a”:	1 301 847 419	Ft	1 156 009 826	Ft
Összesen „b”:	2 275 135 818	Ft	1 337 213 694	Ft
Átlagosan „a”:	2 867 505	Ft/km	1 846 661	Ft/km
Átlagosan „b”:	5 011 312	Ft/km	2 136 124	Ft/km

3.4. táblázat. A kátyúk kijavításának költsége burkolattípus és súlyosság szerint.

3.4. Összefoglalás

Az útgazdálkodási rendszerekben a döntéseket megalapozó információkat az állapotfelvételkor és a felvett adatok értékelésekor szerezzük be. Az állapotfelvétel és értékelés első ütemében célunk a hálózat állapotának felmérése és a durva diagnózis felállítása. Ennek érdekében az úthálózat pillanatnyi állapotát jellemző állapotparaméterek és forgalmi adatok beszerzése szükséges.

Az automatizált szubjektív állapotfelvétel gyors, gazdaságos és megbízható adatokat szolgáltat az erdészeti feltáróutak állapotáról. A burkolati hibák és a pályaszerkezet környezetét leíró paraméterek együttesével jellemzett útállapot pedig már kifejezi, hogy hol és miért kell beavatkozni, valamint a szükséges költségek is jól megbecsülhetők. Hálózati szinten viszont szükséges egyetlen számadattal is kifejezni az út állapotát. Ezt a komplex állapotjellemző paramétert a felvett hibatípusok szubjektív súlyozásával lehetséges kialakítani. A komplex állapotjellemző valamint a forgalmi adatok együttese lehetővé teszi, hogy az elvégzendő munkák sürgőssége szerint rendezzük a hálózat elemeit. A pénzügyi lehetőségeknek megfelelően pedig ki lehet választani azokat a hálózati elemeket, amelyeken a finom diagnózis felállításához szükséges részletes állapotfelvételt és teherbírásmérést végrehajtjuk.

Az automatizált szubjektív állapotértékelés eszközrendszerének (mérőkerék, elektronika) gyakorlati megvalósítását *Markó Gergely* és *Balázs László* kollégám végezte. Az állapotfelvétel és értékelés elvi háttérét – valamint szoftveres támogatását – pedig én dolgoztam ki. A rendszer tesztelésében és az úthálózatok állapotértékelésében *Péterfalvi József*, *Kisfaludi Balázs* és *Balázs László* kollégám volt segítségemre. A felvételi eljárást Kosztka (1986) által javasolt módon érdemes továbbfejleszteni. Eszerint a szelvényértékekhez csatoltan hang alapú értékelés tárolását kell megoldani, valamint az értékelt útról olyan képsorozatot, vagy videofelvételt kell készíteni, amelyen az állapotjelzők minősítése szelvényhez kötötten elvégezhető.

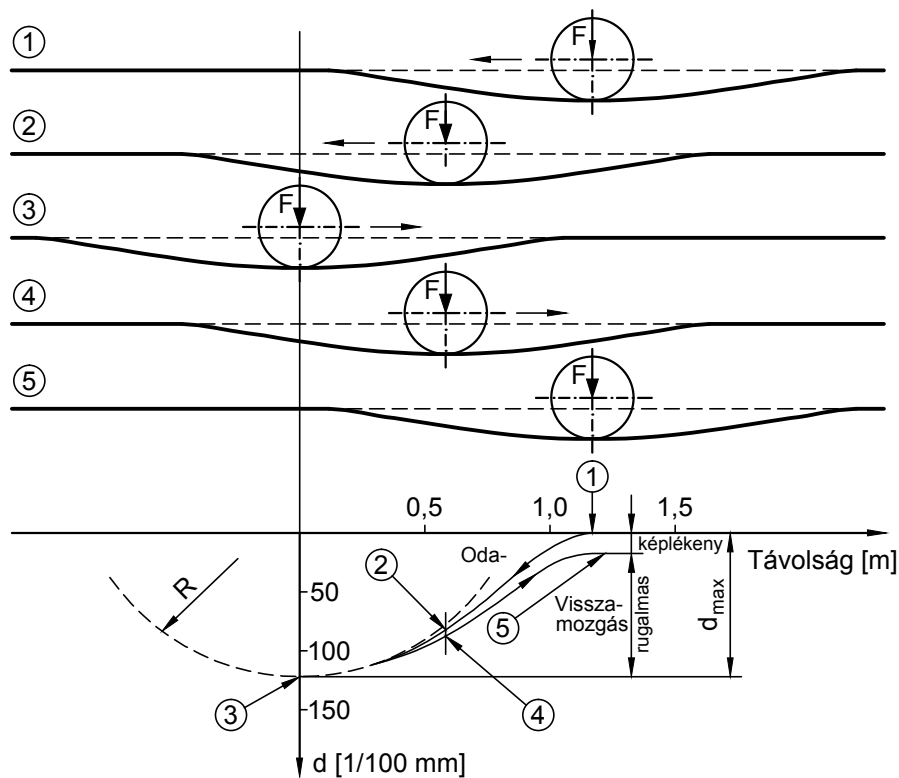
4. fejezet

Az állapotértékelés objektív mérőeszközei

Utak pályaszerkezetének tervezésekor célként fogalmazható meg, hogy olyan pályaszerkezetet hozzunk létre, amely hosszútávon gazdaságosnak tekinthető. Alapvető feltétel mindig, hogy az út pályaszerkezete az élettartam alatti forgalom terhelését elviselje, teherbírása megfelelő legyen. Az utak teherbírása használatuk közben fokozatosan csökken, majd elérnek egy olyan állapotot, amikor már biztonságosan a további forgalom elviselésére alkalmatlanná válnak. Ilyenkor a pályaszerkezet megerősítése szükségszerűvé válik. A kívánt útállapot létrehozásához szükséges költségek a leromlás mértékével arányosak, így meglévő útjaink állapotának megismerése nélkülözhetetlen. A megfelelő fenntartási eljárás kiválasztása sem képzelhető el objektíven enélkül (Kosztka et al., 2008).

4.1. A forgalom és az útpályaszerkezet kapcsolata

A forgalom a járművek abroncsain keresztül adja át terhelését a pályaszerkezetnek. Ennek hatására függőleges igénybevételek (nyomó, ütő, rázó, hajlító, szívó stb.) és a vízszintes erőhatásokból (fékezésből, gyorsításból, koptatásból stb.) származó nyíró igénybevételek jelennek meg (Kosztka, 2009). Ezen feszültségek az egyes pályaszerkezeti rétegekben eltérő hatást fejthetnek ki, ilyenek a rugalmas és a plasztikus (maradandó) alakváltozás, a törés és a szerkezeti átrendeződés (Boromisza, 1976). Mindezen szerkezeti változások összessége a burkolat felszínén alakváltozásokban jelentkezik, vagyis kialakul az úgynevezett behajlási teknő vagy deformációs felület.

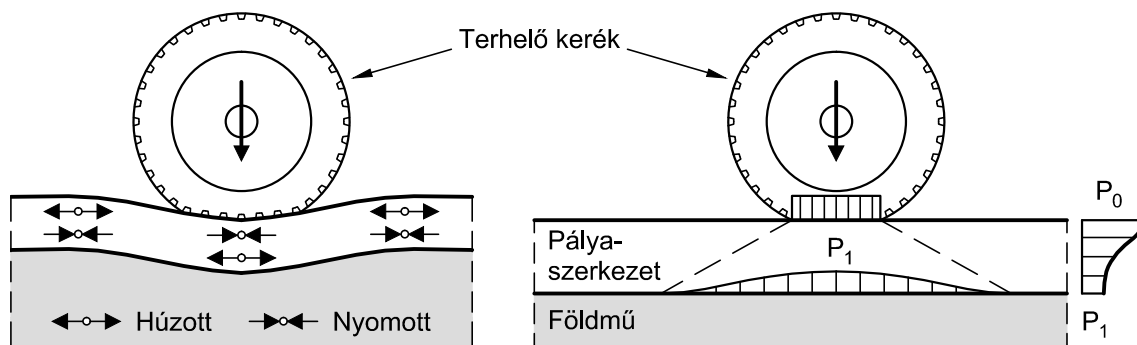


4.1. ábra. Mozgó kerékterhelés hatására kialakuló elmozdulások.

Szigorúan véve egy jól megtervezett és megépített pályaszerkezet csak rugalmas alakváltozást szenvedhet el a külső kerékterhelés hatására. Ilyenkor a terhelés megszűnése után az eredeti alakjába tér vissza a szerkezet. A valóságban a rugalmas alakváltozás mellett kismértékű maradandó alakváltozással is számolni kell. Ennek mértéke általában a mérési eszközök pontossági határán kívül esik. Ugyanis, ha a maradandó alakváltozás nagysága csupán 0,0001 mm is lenne, akkor 10000 kerékáthaladás után már 1,0 mm süllyedés mutatkozna a szerkezet felületén, ez viszont a valóságnak nem felel meg (Boromisza, 1976). Ezért az esetek többségében a kerékterhelés hatására létrejövő maximális elmozdulást a rugalmas alakváltozás nagyságával egyenértékűnek foghatjuk fel. Ezt az egyszerűsítést igazolja az ismételt terhelések hatására bekövetkező alakváltozások törvényszerűsége is. A 4.1 ábrán jól megfigyelhető, hogy ha a kerékterhelés többszörösen terheli a pályaszerkezetet egy adott szelvényben, akkor a gyakorlatban kicsi az a hiba, amely a rugalmas vagy a teljes alakváltozás mérésének különbségéből adódik. Természetesen hosszútávon a maradó alakváltozások összegződnek és keréknyom kialakulásához vezethetnek (Boromisza, 1976).

4.1.1. Az útpályaszerkezetek hajlító igénybevétele

A forgalom alatt lévő pályaszerkezet elsősorban hajlító igénybevételt szenved, a hajlításból származó húzófeszültség nagysága pedig a hajlítás minimális sugarától függ. Hajlításra csak azok a felületek vehetők igénybe, amelyek kohézióval és húzószilárdsággal rendelkeznek. A szemcsés, kohézió és kötőanyag nélküli rétegek csak nyomó- és nyírófeszültségek felvételére és átadására képesek. A hajlékony pályaszerkezeteken – a jármű kerékabroncs terhelésének hatására – behajlási teknő jön létre a kerék alatt, amely a kerékkel együtt mozog. Ennek hatására a kerék haladási síkjában a pályaszerkezet minden pontjában kétszer változnak ellenkező előjelűre a hajlító feszültségek (4.2 ábra). Ugyanakkor a keréknyom szélső peremén csak a közel kör alakú behajlási medence változatlan hajlítófeszültségei terhelik a burkolatot – egy kerékáthaladásakor csak egyszer – felső felületén keresztirányú hajlító-húzófeszültséget okozva, melynek nagysága a



4.2. ábra. A pályaszerkezet igénybevételei és feszültségeloszlása.

kerék alatti alsó hajlító-húzófeszültségnek kb. 25%-a (Török, 2000).

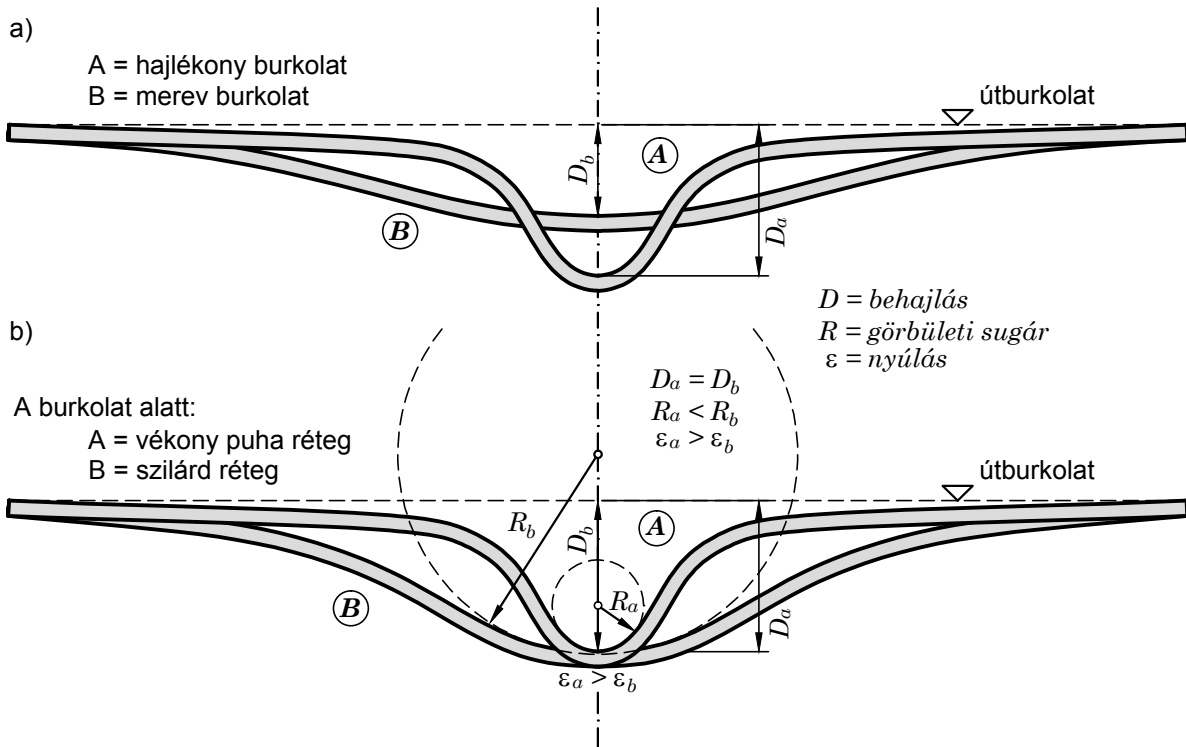
A klasszikus elmélet szerint a tönkremenetel akkor következik be, amikor az alsó aszfaltréteg fokozatosan csökkenő fáradási szilárdsága már a terhelésekből eredő, ismétlődő húzófeszültségek szintje alá süllyed. Ekkor alulról felfelé fáradási repedések indulnak, melyek a burkolat felületére érve fokozatosan kialakuló, összefüggő hálós repedéseket, felületi bomlásokat okozva eredményezik az anyag kifáradását, a tönkremenetelt. Hagyományosan a burkolat hátralévő élettartamát a központi behajlás nagysága alapján határozzuk meg. A terhelés tengelyében mért elmozdulás magában foglalja a talaj legfelső rétegének, az ágyazat, az alap és a burkolat függőleges elmozdulásait is. Szigorúan véve a földmű (altalaj) felületén mért behajlás kisebb, mint a szerkezet felszínén. Az eltérés a pályaszerkezet egyes rétegeinek különböző mértékű összenyomódásából tevődik össze (Boromisza, 1959).

A hajlékony pályaszerkezetek a terhelést az alátámasztó földműnek kisebb felületen adják át, mint a merev pályaszerkezetek. Ennek köszönhetően alapesetben a merev és a hajlékony pályaszerkezetek behajlási vonala markánsan különbözik egymástól, amit a 4.3 ábra felső része szemléltet. Sok esetben tapasztalhattuk már, hogy a mért központi behajlás megengedhető értéke ellenére is rövid idő alatt összerepedezett a felület. Ennek oka lehet az, hogy a jó minőségű burkolat és az alatta fekvő rétegek között lecsökkent teherbírású réteg helyezkedik el, aminek hatására a kicsi alakváltozás mellett a görbületi sugár is alacsonyra adódik (Boromisza, 1976). A fárasztási igénybevételnek kitett burkolat pedig ott fog megrepedni, ahol a hajlítás a legnagyobb mértékű. Fontos tehát tudnunk, hogy azonos behajlás értékek eltérő pályaszerkezet kombinációk mellett is előállhatnak. A példából is látható, hogy a központi behajlás önmagában nem képes egyértelműen eldönteni a burkolat megfelelőségét, a 4.3 ábra a fentiek szemléltetését szolgálja.

Összefoglalva azt mondhatjuk, hogy a pályaszerkezet fő feladata az, hogy a külső terhelés hatására létrejövő igénybevételeket a földmű felületén egyenletesen elossza, így a viszonylag kis teherbírású földműnek – ezzel együtt magának a pályaszerkezetnek – a káros alakváltozásait megakadályozza (Kosztka, 2009). Tönkremenetel szempontjából pedig a hajlítás sugara lesz a döntő, nem pedig a központi behajlás nagysága. Ezért, ha a pályaszerkezetre nézve a kritikus igénybevételt vizsgáljuk, a központi behajlás mérése mellett a hajlított burkolat görbületi sugarát is elemezni kell.

4.2. A teherbírás és a behajlásmérés kapcsolata

A továbbiakban a pályaszerkezet teherbírásán azt a határigénybevételt értjük, amelynek túllépése után a pályaszerkezetet – vagy annak rétegeit – rendeltetésszerűen már nem lehet tovább használni. A behajlásmérés értékeiből ezen igénybevétel nagyságára lehet következtetni valamint annak a teherismétlődésnek a számára, amit a pályaszerkezet élettartama végéig elviselni képes. A pályaszerkezet rugalmas alakváltozásának nagysága elsősorban a szerkezet típusától, környezetétől, a terhelés nagyságától és időtartamától függ. Hazánkban az alkalmazott teher



4.3. ábra. A központi behajlás és a görbületi sugár viszonya (Boromisza nyomán, 1976).

nagyságát 50 kN-ban határozták meg, így az első három paramétert rögzítettnek tekintve a továbbiakban csak a terhelés jellegét vizsgáljuk (Kosztka et al., 2008).

A pályaszerkezetek teherbírásának mérésére az elmúlt 50 esztendőben számos a gyakorlatban is bevált eljárást dolgoztak ki az adott kor műszaki színvonalának megfelelően. Mindegyik eljárás eltérő módon modellezi a forgalom és a pályaszerkezet kapcsolatát. Ennek megfelelően a mért eredmények is kisebb-nagyobb mértékben eltérnek egymástól (Kosztka et al., 2008). Az útpályaszerkezet teherbírását roncsolásmentes alapon jellemző összes berendezés a pálya behajlását méri. Három fő csoportjuk különböztethető meg:

- statikus berendezések (statikus vagy lassan mozgó teher hatására mérik a szerkezet reakcióját),
- vibrációs berendezések (vibrációs vagy ciklikus teher által kiváltott pályaszerkezet-reakciót regisztrálnak),
- impulzusos berendezések (ismert nagyságú tömeg ismert magasságról a pályára ejtése után a pályaszerkezet-reakcióját rögzítik).

Attól függően, hogy a teherbírás mérés közben statikus vagy dinamikus terheket használunk, beszélhetünk statikus vagy dinamikus vizsgálatokról. A statikus vizsgálatok jellemzője, hogy a terhelő erő nulláról indulva lassan és folyamatosan éri el végső értékét. A terhelés lassú növekedésének megfelelően az alakváltozások is lassan alakulnak ki, így a hőfejlődés mértéke alacsony és – legalábbis elvileg – a terhelés folyamata alatt el is távozik. A vizsgált szerkezet hőmérséklete a terhelés folyamata alatt állandó, tehát a folyamat izotermikus (Szalai, 1994).

A dinamikus vizsgálatok legfontosabb jellemzője, hogy a vizsgált szerkezet részecskéi viszonylag kis amplitúdójú, de nagy gyorsulású (általában harmonikus rezgő) mozgást végeznek. Ilyenek a rezonanciafrekvencia vagy a hanghullámok terjedési sebességének mérésével kapcsolatos vizsgálatok. A gyors mozgás – a belső súrlódás révén – hőfejlődéssel jár, melyről feltételezzük, hogy a rövid vizsgálati időtartam alatt nem tud a környezetbe kisugárzódni. A dinamikus vizsgálatok

folyamata elvileg tehát adiabatikus. A gyakorlatban a két különböző termodinamikai folyamatból származó teherbírási paraméterek eltérése elhanyagolható mértékű. Ennél jóval nagyobb eltéréseket eredményeznek a mérési metodikákban rejlő különbségek (Szalai, 1994).

A valóságban az elhaladó jármű hatására egy adott keresztmetszetben a terhelés fokozatosan nő, majd csökken. Az alakváltozás a sebesség függvényében a másodperc tört része alatt lezajlik. A pályaszerkezet igénybevétele tehát dinamikai jellegű. A terhelés hatására a pályaszerkezet rezgésbe jön, alakváltozása pedig periodikus és csillapodó jellegű lesz. A kialakuló feszültségek és alakváltozások az időben eltérést mutatnak egymáshoz képest, vagyis az alakváltozás késleltetett. A késleltetés okát az anyagok viszkoelasztikus tulajdonságában kell keresni (Boromisza és Abdelaziz, 1980). Ha a pályaszerkezetet a rezgések figyelembevételével kívánjuk tárgyalni, olyan fizikai modellt kell létrehoznunk amely tömeg-rugó-dugattyú rendszerből épül fel.

A dinamikus vizsgálatok jellege szerint alapvetően roncsolásos és roncsolásmentes eljárásokat különböztetünk meg attól függően, hogy sor kerül-e a pályaszerkezet anyagának megzavarására. Az előbbieknél a vizsgálat alapelve a fárasztás, az utóbbiaknak pedig a rezgés (Boromisza, 1993).

4.2.1. Roncsolásos dinamikai vizsgálatok

A fárasztási vizsgálatok lényege, hogy a laboratóriumi próbatestet ismételt terhelésnek vetjük alá, miközben mérjük az átadott erőt és az alakváltozást. A vizsgálat elvégezhető állandó feszültséggel, amelynek hatására a teherismétlődési szám növekedésével az alakváltozás nő (*controlled stress*), vagy pedig állandó alakváltozással, melynek hatására a teherismétlődési szám növekedésével a feszültség nő (*controlled strain*). Ugyanazon anyag esetén az előbbi módszernél kisebb élettartam adódik Boromisza (1993). Jelen dolgozatnak nem tárgya a roncsolásos vizsgálatok ismertetése ezért részletekbe nem bocsátkozunk.

4.2.2. Roncsolásmentes dinamikai vizsgálatok

A roncsolásmentes vizsgálatok lényege az, hogy a vizsgálandó szerkezetekben rezgést keltünk és az ennek hatására jelentkező fizikai jellemzőket megmérjük. Ezekből – különféle megfontolások útján – a szerkezeti jellemzők már számíthatóak. A rezgések alapvetően harmonikus (vagy kényszer) rezgések és szabad (csillapított) rezgések lehetnek. A laboratóriumi technikában inkább az előbbi, az in situ vizsgálatoknál mindkét módszer ismeretes, de inkább az utóbbi a jellemző (Boromisza, 1993).

A hullámok terjedési sebességének a vizsgálata területén elsősorban az angol *Road Research Laboratory* és a francia *Ponts et Chaussées* laboratóriumok módszerei említhető meg. Könnyű (GOODMAN) vibrátorral a pályaszerkezetben 40 és 60 000 Hz frekvenciájú rezgéseket idéznek elő. A felvevő készülékkel a gerjesztő és a RAYLEIGH- (felszíni saját) hullám fáziseltolódását mérik. Az eredmények alapján felrajzolható a sebesség és a frekvencia közötti összefüggés. Ezzel az eljárással kívánnak tájékozódni a különböző útpályaszerkezeti anyagok dinamikus tényezőinek az évek során való változásáról (Gáspár, 1968).

A rezonancia technikát elsősorban laboratóriumi vizsgálatoknál használják. A vizsgálandó próbatestre rezgéseket adnak át, a próbatest más helyén pedig felfogják ezeket. A frekvencia változtatásával meghatározható a legnagyobb amplitúdót adó rezonancia-frekvencia. A dinamikus E -modulus számításának képlete:

$$E = C \cdot W \cdot f^2 \quad (4.1)$$

A fenti összefüggésben C a próbatest méretétől, alakjától és a rezgésterjedés módjától függő tényező, W a próbatest súlya, f pedig a rezonancia-frekvencia. A rezonancia-frekvencián alapuló laboratóriumi vizsgálatok azt mutatták, hogy a mérések elég nagy szórással és bizonytalansággal reprodukálhatók, egyrészt a mérőkészülékek szerkezeti hibái, másrészt a mérés végrehajtási módszere miatt. Ezért az E -modulus pontos meghatározására kevésbé alkalmas, inkább relatív

összehasonlításra alkalmazható. A rezonancia technika a fázisszög-késés méréssel összekapcsolva alkalmassá tehető útpályaszerkezetek vizsgálatára is.

A harmonikus rezgéskeltésen alapuló vizsgálati módszerek és eszközök eddigi tapasztalatairól azt mondhatjuk, hogy az ilyen módszerrel kapott értékek nehezen lokalizálhatók az útpályaszerkezet egyes rétegeire, másrészt a kapott eredmények erősen eltérőek. Ezért az ilyen módszerekkel meghatározott rugalmassági modulust nem lehet egy abszolút érték számszerű megállapítására használni, hanem csak különböző útszakaszok rétegeinek relatív összehasonlítását teszik lehetővé (Boromisza és Abdelaziz, 1980).

A E -modulus viszonylag pontos meghatározására alkalmasnak látszanak a csillapított rezgéskeltésen alapuló vizsgálati módszerek. Ez esetben a rezgéskeltést egy-egy impulzus adja, az impulzusok időtartama pedig a másodperc tört része.

4.3. Statikus és kvázi statikus teherbírás mérés

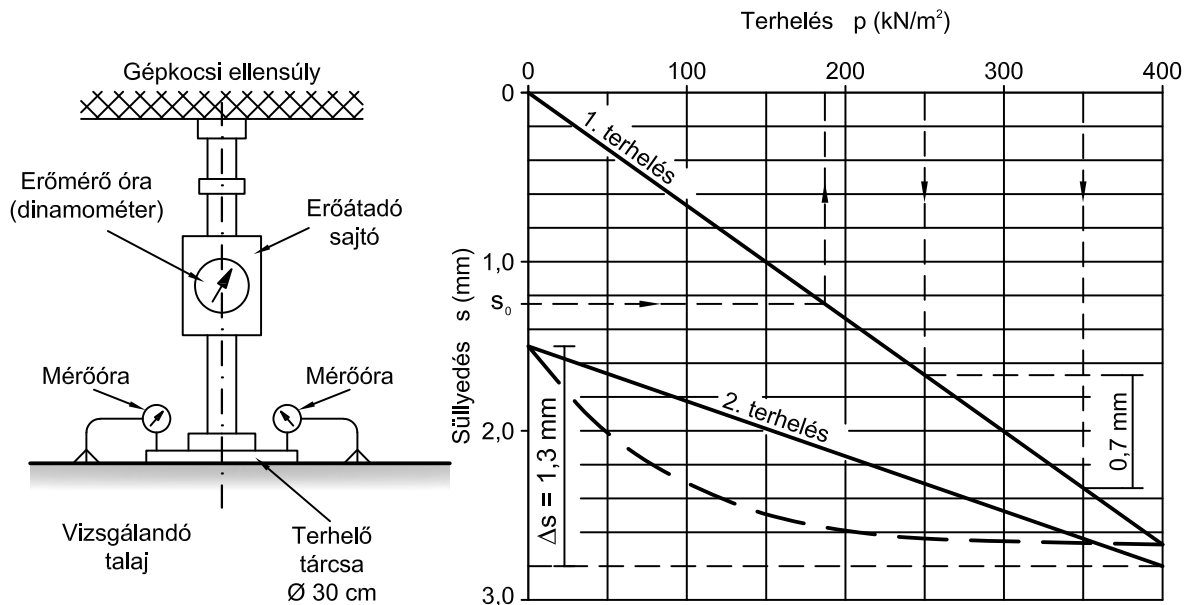
4.3.1. A tárcsás teherbírás mérő készülék

A tárcsás terheléssel az ellenálláson alapuló teherbíróképességi jellemzők határozhatóak meg. A méréskor adott átmérőjű merev tárcsa lépcsős terhelés következtében előálló süllyedését rögzítjük. Az egyes terhelési lépcsőket az előző terhelés hatására előálló összenyomódás befejeződése után kell alkalmazni. A terhelés és a bekövetkező összenyomódás közötti összefüggésből a földmű (az úttükör), az egyes útpályaszerkezeti rétegek vagy a teljes útpályaszerkezet teherbíróképessége a teljes – vagyis a rugalmas és a maradó – alakváltozás alapján, különböző alakváltozási együtthatókkal jellemezhető. Ezek az alakváltozási együtthatók alkalmasak a földmű teherbíróképességének jellemzésére, a hajlékony és merev útpályaszerkezetek méretezésére, az egyes pályaszerkezeti rétegek és az úttükör teherbíróképességének (minőségének, tömörségének) ellenőrzésére. A vizsgálathoz szükséges eszközök:

- 30 cm átmérőjű tárcsa, legalább 20 mm vastag merev lemezből.
- Emelő berendezés, legalább 40 kN terhelhetőséggel.
- Erőmérő, célszerűen az emelőberendezéssel összeszerelt dinamóméter. Gyűrűs dinamóméter alkalmazása esetében felül az ellensúllyal való érintkezést pontszerűen (pl. acélgolyó közvetítésével) kell kiképezni.
- Legalább 40 kN ellensúly leadására alkalmas terhelt tehergépkocsi.
- Merev mérőállvány a mérőórák felfüggesztésére alkalmas módon kiképezve, amelynek lábai legalább 1,2 m-re legyenek a tárcsa szélétől.
- 1–3 db mérőóra 1/100 mm leolvasó képességgel és legalább 10 mm mérési határral.

4.3.1.1. A mérőberendezés felállítása

A tehergépkocsi hátsó tengelyének középvonalára merőlegesen kijelöljük a tárcsa helyét. Ha a megméréendő felület nem eléggé egyenletes és vízszintes, akkor azt a kiálló részek levágásával rendezzük. Az egyengetés közben a megméréendő felület fellazítása nem engedhető meg. A megméréendő réteg felületére kb. 0,5 cm vastagságú száraz, közel egyforma szemcsékből álló homokréteget terítünk. Erre a homokrétegre helyezzük a tárcsát. A tárcsa felfekvését csöves libellával kell ellenőrizni és biztosítani kell annak vízszintes helyzetét. A tárcsára annyi közvetítő elemet helyezünk, hogy az erőmérővel felszerelt emelőberendezés közvetlen kapcsolatba kerülhessen az ellensúllyal. A tárcsára, ill. a közvetítő elemekre kerül az emelőberendezés és az erőmérő. Az ellensúly alátámasztása (a gépkocsi kereke) legalább 1,20 m-re legyen a tárcsa szélétől. A



4.4. ábra. Tárcsás teherbírásmérés és az E_2 teherbírási modulus meghatározása a második süllyedési görbe alapján

mérőállvány elhelyezése után egy vagy három mérőórát szerelünk fel. A három mérőórát egymástól 120° -ra helyezük el, hogy azok elmozdulásából a tárcsa átlagos süllyedését ki lehessen számítani (4.4. ábra). Egy mérőóra használata esetében a mérőórát a tárcsa középpontjának függőleges tengelyében, a mérőórakeretben kell elhelyezni (Gáspár, 1968).

4.3.1.2. A mérés végrehajtása

A tárcsa felfekvési egyenetlenségének megszüntetése érdekében először $0,02 \text{ N/mm}^2$ előterhelést kell alkalmazni. Az előterhelés megszüntetése után – ha a mérőórák $0,02 \text{ mm/perc}$ -nél nagyobb mozgást már nem végeznek – a mérőórákat nulla helyzetbe állítjuk. Ezután a tárcsát $0,05 \text{ N/mm}^2$ nagyságú terhelési lépcsőben a szükséges legnagyobb terhelés vagy süllyedés eléréséig terheljük. Az egyes terhelési lépcsők akkor tekinthetők befejezetteknek, ha a mérőórák mozgása $0,02 \text{ mm/perc}$ -nél nem nagyobb. Valamennyi terhelési lépcső hatására létrejött süllyedés mértékét mm-ben, $1/100 \text{ mm}$ -es pontossággal jegyezzük fel. Napsütésben a mérőórákat és a mérőhidat árnyékban helyezük el. A legnagyobb terhelés elérése után a tárcsát $0,1 \text{ N/mm}^2$ -es terhelési lépcsőkben tehermentesítjük, és a konszolidáció kivárása után a tárcsát ismét addig terheljük, mint az első alkalommal. A mérésről jegyzőkönyvet vezetünk. Az egyes terhelési lépcsők hatására a bekövetkezett süllyedéseket a terhelés függvényében ábrázoljuk. Ha a görbe kezdeti szakasza inflexiót mutat, a mérést hibásnak tekintjük, és megismételjük Gáspár (1968) és 2509/3 (1989).

A mérés során alkalmazott terhelés nagysága az alábbiak szerint változik: az ágyazási együttható (tényező) számításához a terhelést legalább az $1,3 \text{ mm}$ süllyedés eléréséig kell folytatni; a teherbírási modulus mérése során a legnagyobb terhelés földmű és pályaszerkezeti alsó alapréteg esetén $0,3 \text{ N/mm}^2$, pályaszerkezeti rétegek esetén $0,5 \text{ N/mm}^2$ legyen.

4.3.1.3. A mérési eredmények feldolgozása

A fent ismertetett módszerrel, felhasználva a BOUSSINESQ-féle süllyedésképletet, a vizsgált szerkezet statikus modulusát (E_2), mint a rugalmas, homogén és izotróp féltérnek tekintett legalsó réteg teherbírási modulusát meghatározhatjuk:

$$E_2 = c \cdot (1 - \mu^2) \cdot \frac{p}{\Delta s} \cdot r \quad (4.2)$$

ahol

r = a tárcsa sugara, 150 mm

p = a legnagyobb nyomás, 0,40 Mpa

Δs = a legnagyobb nyomáshoz tartozó süllyedéskülönbség mm-ben

μ = a POISSON-féle szám

c = a BOUSSINESQ-féle tárcsaszorzó ($c = \pi/2$ merev és $c = 2,0$ hajlékony)

KÉZDI professzor szerint a „tárcsás próbaterhelések lemeze inkább merevnek, mint hajlékonynak tekinthető” Kézdi (1979) és az erre vonatkozóan közzétett elméleti és tényleges mérési eredményei is igen közelállóak. Ezért a merev tárcsa ($c = \pi/2$ szorzó) választása javasolt a statikus teherbírási modulus kiszámításához. A statikus teherbírásnál meghatározott értékekből számítható a tömörségi tényező, ami a teherbírára és a tömörségre is jellemző számadat:

$$T_t = \frac{E_2}{E_1} \quad (4.3)$$

ahol

E_1 = az első görbe alapján számított statikus modulus

E_2 = a második görbe alapján számított statikus modulus

Amennyiben a tömörségi tényező $T_t = 1,0$ akkor a földmű és a szerkezeti rétegek tömörsége kiváló, mivel a terhelés hatására tömörödés nem jött létre. A teherbírás kielégítőnek mondható, ha $1 \leq T_t \leq 2$ közötti értékeket vesz fel. A kettőnél nagyobb tömörségi tényező azonban már a földmű vagy a pályaszerkezet nagyfokú teherbíróképeség csökkenésére utal. Ennek oka lehet a földmű tömörítetlensége vagy elázása. A vizsgálat eredményeiből még számítható az ágyazási együtthatót (C) N/mm^3 -ben:

$$C = \frac{p' \cdot D}{s_0 \cdot D_0} \quad (4.4)$$

ahol

s_0 = 1,25 mm süllyedésérték

p' = az 1,25 mm süllyedést előidéző terhelés, N/mm^2

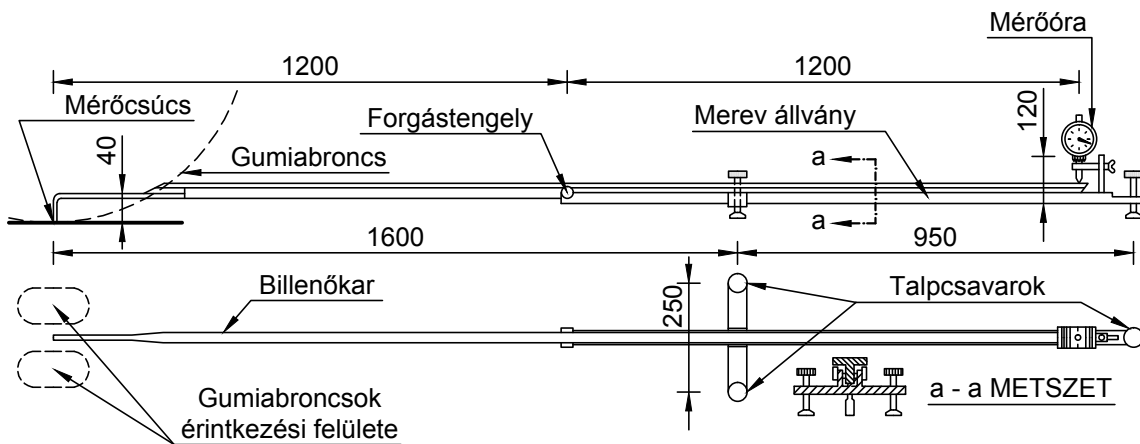
D = az alkalmazott tárcsa átmérője, mm

D_0 = állandó, 750 mm

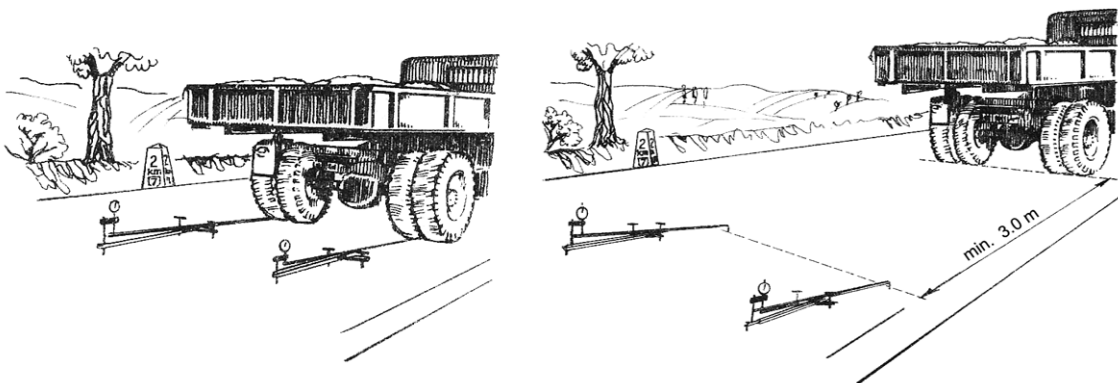
Mivel az ágyazási együtthatót 75 cm átmérőjű tárcsával kellene mérni ezért a 30 cm-es mérési eredményeket korrigálni kell, ezt fejezi ki a képletben a D/D_0 tényező.

4.3.2. Benkelman-tartó (billenőkaros behajlasmérő)

Több mint 50 éve jelentek meg az első közlemények arról az egyszerű mérőeszközzel, amelyet A. C. Benkelman tervezett és alkalmazott a kerékterhelés hatására bekövetkező behajlások mérésére. Az egyszerű és olcsó Benkelman-tartót az amerikai Western Association of State Highway Officials (WASHO) útkísérletekhez alakították ki az 1950-es években. Azóta világszerte szinte példátlan mértékben elterjedt pályaszerkezetek állapotfelmérésére, kutatásra és erősítéstervezésre (Gáspár, 2003). A kifejlesztett módszer szerint a terhelt tehergépkocsi ikerabroncsai közé a maximális behajlás helyén egy a burkolatra támaszkodó vízszintes tengely körül forgó kart kell elhelyezni és a burkolat elmozdulását a kar másik végén mért elmozdulásból lehetséges meghatározni. A mérés közben a terhelő tehergépkocsi álló helyzetben van, így a terhelés statikus jellegű (Boromisza, 1959). Az eszköz alapelvét a 4.5 ábra mutatja be. Eszerint az alumínium vagy faanyagú kerethez erősített kétkarú emelő végét a szabványos terhelésű tehergépkocsi ikerabroncsai közé helyezik. A terhelőjármű elhaladása után mérőórával a burkolatfelület függőleges irányú (rugalmas) mozgását határozzák meg (Gáspár, 2003).



4.5. ábra. A billenőkaros behajlasmérő (Benkelman-tartó) vázlatos rajza.



4.6. ábra. A billenőkaros behajlás mérése.

4.3.2.1. A mérés végrehajtása

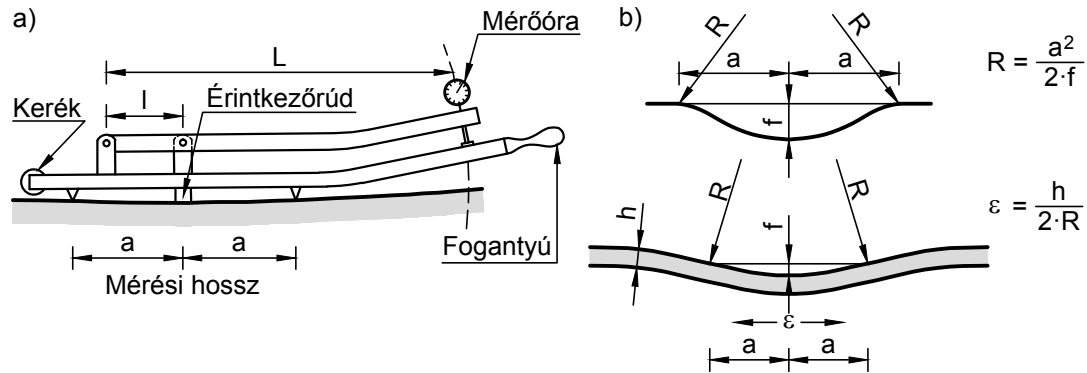
A készülék mérőcsúcsát a vizsgálat alá vett pályaszerkezeti réteg felületére állított tehergépkocsi ikerabroncsa közé helyezük és leolvassuk a mérőóra állását. A behajlásérték kiszámításának egyszerűsítése érdekében az első leolvasáskor a mérőóra nulla értékre állítható. Ezután a gépkocsit mintegy 3,0 m-rel előreküldjük, és a mérőórákat leolvassuk (4.6 ábra). A két leolvasás értékének különbsége megadja a vizsgált réteg felületén a kerékterhelés hatására előálló függőleges irányú rugalmas alakváltozást (Gáspár, 1968). A mérőkart úgy helyezük a gumiabroncsok közé, hogy azokkal ne érintkezzenek. A mérőóra leolvasása előtt meg kell győződni arról, hogy a készülék forgó és elmozduló alkatrészeiben nincs-e szabad mozgást gátló súrlódás. Ez a gyakorlatban a tartóállvány gyenge ütögetésével érhető el, és akkor tekinthető megszűntnek, ha a mérőóra mutatója már nem halad tovább, hanem egy adott érték körül mozog. A mérőórát 1/100 mm pontossággal olvassuk le. A gépkocsi egy percnél hosszabb ideig nem állhat a mérési helyen. A gépkocsi mintegy 3,0 m-rel történő továbbhaladása után a mérést megismételjük (Gáspár, 1968; 2509/4, 1989). Ha a mérési szelvények távolsága 25 m-nél kisebb, akkor szelvényenként elegendő egy mérés is.

4.3.2.2. A mérési eredmények értékelése

A mérési hely mértékadó behajlásértékét az egymástól 3,0 m-re végzett mérések átlagértéke adja. A behajlás értékét mindig 0,1 mm pontosan és a szabványos 50 kN nagyságú kerékterhelésre vonatkoztatva fejezzük ki. A számításnál a behajlás és a terhelés közötti összefüggést lineárisnak tételezzük fel. Az eredményeket végül hossz-szelvényen ábrázoljuk (Gáspár, 1968; Kosztká,

Mérőóra állása (mm)	Határérték (mm)
0,50 mm alatt	0,15
0,51–1,00 mm között	0,20
1,01–3,00 mm között	0,30
3,00 mm felett	1,00

4.1. táblázat. A mért behajlások értékelése



4.7. ábra. A Müller-féle görbületmérő eszköz

2009).

4.3.3. Optikai behajlásmérés

Az optikai eljárást először francia mérnökök fejlesztették ki, majd Svájcban Wild-gyártmányú precíziós szintezőműszert alakítottak át erre a célra. Működésének lényege, hogy a mérési ponton fényforrást helyeztek el és annak terhelte, majd terheletlen helyzetét kb. 5 m-re felállított optikai bemérő műszerrel határozták meg. Több fényforrás egyidejű alkalmazása esetén mérhetőek a behajlási teknő egyes pontjai. Körülményes használata miatt nem terjed el széles körben (Gáspár, 1968).

4.3.4. Müller-féle görbületmérő eszköz

A behajlás legnagyobb értéke mellett szükséges annak megvizsgálása is, hogy a terhelő kerék közelében, hossz- és keresztirányban milyen alakú a behajlási teknő. A görbületmérő berendezéseket ezért kezdetben a statikus terhelés következtében kialakuló behajlási teknő görbületi sugarának közelítő meghatározásához fejlesztették ki. A görbületi sugár méréséhez először a moszkvai MADI-Egyetemen majd Müller F. készített egyszerű mérőműszert (4.7 a) ábra), amellyel már korán számos mérést végeztek. A mérési elv megfelel a Benkelman-féle mérési elvnek, azzal a különbséggel, hogy utóbbinál a behajlást egy meghatározott mérési bázison (30–60 cm) belül vizsgálják, vagyis a húrmagasságot olvassák le (Strunck, 1968).

A mérési eredményekből a következő számítással becsülhető meg a görbületi sugár (4.7 b) ábra):

$$R = \frac{a^2}{2f} \quad (4.5)$$

A görbületi sugár jelentősége abban rejlik, hogy ha ismerjük a bitumennel kötött réteg vastagságát, valamint a kötött réteg felületén meghatározott görbületi sugár nagyságát, akkor a vizsgált réteg alján keletkező megnyúlások (ε) a következő képlettel megbecsülhetőek (Boromi-

sza, 1997a):

$$\varepsilon = \frac{h}{2R} \quad (4.6)$$

A fellépő nyúlások ezután az anyagra vonatkozó megengedhető nyúlásokkal már összevethetőek (Strunck, 1968).

4.3.5. Automatizált behajlasmérő eszközök

Ezek a berendezések megőrizték a Benkelman-tartó alapelvét, csupán a mérési sebesség növelésére törekedtek. Tulajdonképpen a behajlasmérő berendezés felkerült a terhelő járműre, így a pálya egy adott pontjának maximális elmozdulását a jármű haladása közben automatikusan képes regisztrálni.

A Lacroix-deflektográf készüléket francia mérnökök fejlesztették ki abból a célból, hogy a pályaszerkezet alakváltozásait – a forgalmat jobban szimuláló – mozgó terhelés alatt legyenek képesek rögzíteni. A 3–4 km/h sebességgel közlekedő automatikus mérőkocsi két fő (gépkocsivezető és mérőtechnikus) személyzettel a hátsó ikerkerék abroncsok alatti behajlást 0,02 mm pontossággal, induktív elmozdulásmérővel méri úgy, hogy a kerekek a mérőkocsi alváza alatt elhelyezett, az útburkolaton álló mérőkar felé gördülnek. A legnagyobb behajlás elérése után a mérőkart az elektromechanikus szerkezet 3–4 m-re, a következő mérőpontig tovább csúsztatja, miközben rögzíti a szelvényezési értékeket is. Az eredmények számítógépes feldolgozásra alkalmas adattárolóra kerülnek, de grafikusan is megjeleníthetők. Az automatikus Lacroix-deflektográf mérőberendezéssel végzett munkát egyértelműen kényelmesebbnek, a kapott adatokat úgy mérés technikailag, mint statisztikailag megbízhatóbbnak kell minősíteni a kézi behajlasmérővel szemben (Kosztka, 2009; Kosztka et al., 2008; Baksay, 1976).

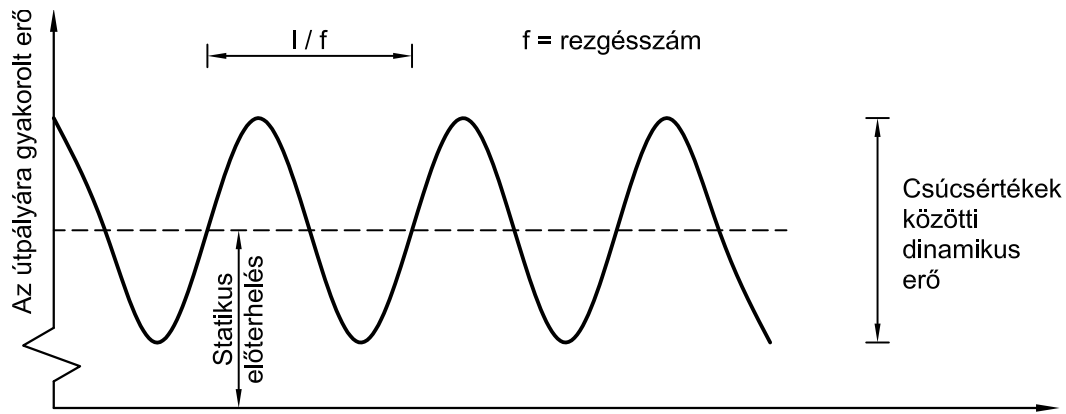
A British Pavement Deflection Data Logging Machine ehhez hasonló alapelvű. A California Traveling Deflectometer 6,22 m-enként határozza meg a pályabehajlást, miközben a jármű 0,8 km/h sebességgel halad előre (Gáspár, 2003).

4.4. Dinamikus teherbírásmérés

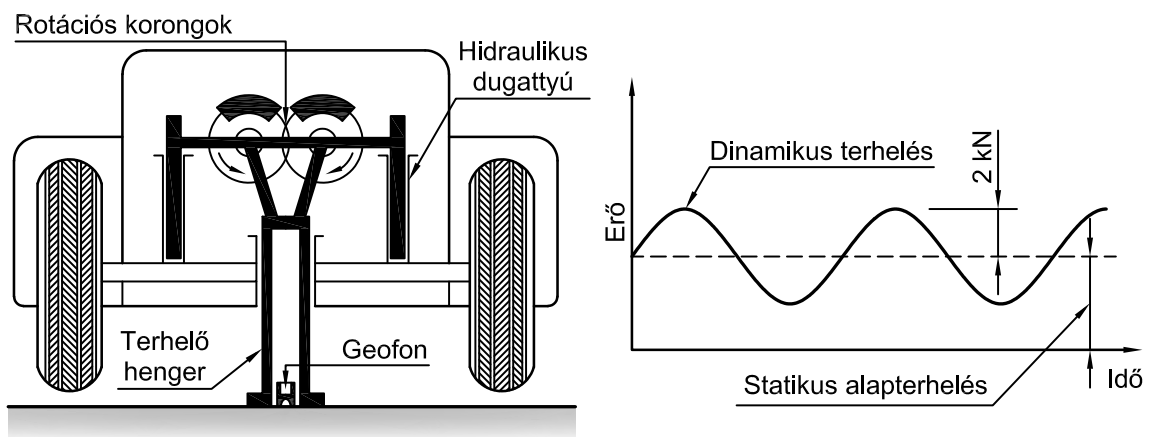
4.4.1. Állandósult vibráló terhelés alatt történő behajlasmérés

Az állandósult vibráló terhelés alatt történő behajlasmérés (Steady-State Dynamic Deflection) lényege az, hogy a teherátadás a vizsgált szerkezetre közel szinuszos lefutású és meghatározott időtartamú (Shahin, 2005). A pályaszerkezetre jutó terhelés ilyenkor két részből tevődik össze: áll egy relatív nagy statikus előterhelésből valamint egy szinuszhullámszerű dinamikus erőhatásból (4.8. ábra). A csúcserőértékek közötti dinamikus erő amplitúdójának kisebbnek kell lenni, mint a statikus előterhelés, egyébként a szerkezet „ugrálni” kezd a pályaszerkezet felületén. A kellemetlen hatás elkerülhető, ha a statikus előterhelést növeljük, de ilyenkor a terhelés hatására maga a vizsgálandó pályaszerkezet szenved deformációkat így rontva a mérési eredmények pontosságát (Shahin, 2005). Ezért az alkalmazott terhelés a méréseknél csak töredéke egy nehézjármű kerékterhelésének. A vizsgálat során az alakváltozás amplitúdóját mérjük, kiegészítve még a teherátadás frekvenciájával is. Az elektromos működés lehetővé teszi a kis elmozdulások pontos mérését és ezzel közvetve a kis terhek alkalmazását (Tombor, Boromisza és Hoffmann, 1985). A könnyű vibrátorok közé tartozik a Vibraflect, Dynaflect és a Road Rater. A berendezések leginkább vékony pályaszerkezetek, alacsonyrendű közutak, városi utcák és parkolók vizsgálatára alkalmasak a fentiek alapján.

Nehéz vibrátorokkal a SHELL-vállalatnál kezdtek el először foglalkozni (Shell Heavy Vibrator), később német és francia kutató intézmények is bekapcsolódtak a fejlesztésbe. Ezek a vibrátorok néhány száz Herzig terjedő frekvenciával 10–30 kN-os erőhatást fejtettek ki. Ezáltal a nagy sebességgel haladó nehéz gépjárművek dinamikus hatását próbálták reprodukálni (Gáspár, 1968). Napjaink újabb kialakítású nehézvibrátora a Rolling Dynamic Deflectometer.



4.8. ábra. A statikus és a szinuszhullámszerű dinamikus terhelés kapcsolata



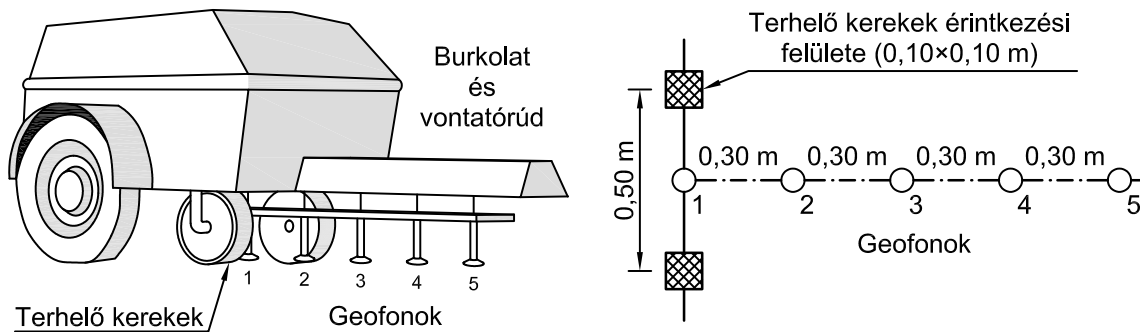
4.9. ábra. A Vibraflect készülék és periodikus terhelése

4.4.1.1. Vibraflect

A Stuttgarti Műszaki Egyetem Otto Graf Intézete által kifejlesztett Vibraflect (4.9. ábra) két fő részből áll. Az egyik főelem egy mérőérzékelővel ellátott vibrációs terhelőgép, amely utánfutóban helyezkedik el, a másik a vontató jármű feldolgozó elektronikai egysége. Az utánfutó két hidraulikus dugattyúja egy henger alsó végére erősített teherelosztó lemez fel- és leengedését szabályozza. Ez haladás közben az utánfutó belsejében van, míg mérés közben a 4,5 kN-os utánfutó már nem a kerekeire, hanem a leengedett terhelőhenger körlemezére támaszkodik fel. A statikus alapterhelést két különösen rotációs, ellenkező forgású korong gerjeszti. A terhelés dinamikus komponense megfelel egy 8 Hz állandó frekvenciájú szinusz függvénynek és egy 2 kN-os erő amplitúdónak. A deformációs vonalról gyorsulásmérők adnak információt. A legnagyobb elmozdulás a teherelosztó lemez belső nyílásában elhelyezett érzékelő rögzíti. Az egymástól 0,3 m távolságban lévő gyorsulásérzékelők automatikusan fel- és leemelhető, csuklósan a teherelosztó lemezhez rögzített karon helyezkednek el. Egy mérés jellemzően két percet igényel. Ilyenkor a mérési helyek maximális távolsága 20 m és az alakváltozási vonalat öt darab érzékelővel veszik fel (Hoffmann, 1985).

4.4.1.2. Dynaflect

A Dynaflect kis terhelésű, állandó frekvenciájú berendezés, amelynek kisméretű kétkerekű utánfutójában öt érzékelőt (geofont) helyeztek el (4.10. ábra). A statikus alapterhelés 9 kN (2000 lb) a dinamikus terhelést pedig két darab 8 Hz szögsebességgel ellentétes irányban forgó tömeg



4.10. ábra. Dynaflect készülék terhelő kerekeinek és geofonjainak elrendezése

segítségével hozzák létre. A 4,54 kN (1000 lb) nagyságú dinamikus terhelést a két kerék között egyenlő arányban osztják szét. A behajlási vonal felvétele egymástól 30 cm távolságban elhelyezett geofonok segítségével történik (Gáspár, 2003). Mérés során a terhelt acélkerekek az érzékelőkkel együtt az útpályaszerkezet felületén helyezkednek el. A mérés befejeztével az acélkerekek az érzékelőkkel együtt felemelkednek és a szerkezet a gumiabroncsok segítségével átáll a következő mérési pontra. Abban az esetben, ha a mérési pontok közel helyezkednek el egymáshoz a mérőeszköz a terheletlen acélkerekeken is képes továbbgurulni maximum 9,66 km/h (6 mph) sebességgel. Az eszköz alkalmazhatóságát a viszonylag alacsony csúcsértékek közötti dinamikus erő nagysága (4,54 kN) valamint az terhelés nagyságának és frekvenciájának állandósága határolja be (Shahin, 2005).

4.4.1.3. Road Rater

A Road Rater (Útértékelő Berendezés) olyan vibrációs elvű teherbírásmérő berendezés, amelynél nem csak a terhelés nagyságát, de a rezgésszámot is változtatni lehetett. Erre a célra szolgáló tömeg emelésével és süllyesztésével hozzák létre a dinamikus terhelést. A statikus előterhelés a kisebb verzióknál 2,23–9,1 kN (500–2000 lb), a nagyobb modelleknél 10,7–25,8 kN (2400–5800 lb) között volt változtatható, míg a dinamikus erő csúcsértéke 2,23–35,6 kN (500–8000 lb) között mozgott. A terhelési frekvencia 5 és 70 Hz között volt folyamatosan állítható típusonként. A terhelést egy 457,2 mm (18 inch) átmérőjű tárcsán adódik át a pályaszerkezetre. A burkolat behajlását pedig négy darab sebességátalakítóval rögzítették (Gáspár, 2003). A korai verziók még a hordozó gépjárművön kaptak helyet, a későbbi verziók viszont már külön utánfutóra szerelve jelentek meg (Huang, 2004).

4.4.1.4. Rolling Dynamic Deflectometer

A Rolling Dynamic Deflectometer (RDD) egy viszonylag új eszköz a dinamikus vibrációs eszközök között. Az eszközt a Texasi Egyetemen fejlesztették ki az 1990-es években. Működési elvét tekintve megegyezik a már bemutatott eszközökkel, a legnagyobb eltérés abban van, hogy itt a mérés folyamatosan történik. A készülék célja, hogy a központi behajlás nagyságának változását folyamatosan lehessen rögzíteni kontrollált terhelési körülmények között. A nagyszámú mérési eredmény segítségével pedig viszonylag könnyen felderíthetőek a nem megfelelő teherbírású útszakaszok (Huang, 2004).

Az RDD készülék alapját egy szervohidraulikus rendszer adja, amellyel a dinamikus terhelés előállítható. A statikus előterhelés 36–55 kN, a dinamikus csúcsterhelés 14–23 kN, a terhelési frekvencia pedig 5–100 Hz között változtatható. A dinamikus terhelést két acélkerék segítségével adja át a pályaszerkezetre. A fentiekén kívül tartalmaz még erő és elmozdulásmérő berendezéseket is. Az RDD a pályaszerkezet felületével érintkező és azon gördülő szenzorokat alkalmaz a dinamikus deformációs profil folyamatos rögzítésére. A szenzorok a könnyű merev vázhoz

kapcsolódó kerekekből (2–3 db) és a vázra szerelt függőleges elmozdulásokra érzékeny sebességátalakítóból vagy gyorsulásmérőből épülnek fel. A mérőkerekek folyamatosan érintkeznek a burkolat felszínével így a dinamikus terhelés hatására kialakuló elmozdulásokat az érzékelők egyértelműen képesek rögzíteni. Az adott átmérőjű kerekek egyben szűrőként is funkcionálnak, mivel a felület érdességéből származó apró elmozdulások (*rolling noise*) sokszor meghaladják a dinamikus terhelésből származó deformációkat (Bay és Stokoe, 1998).

Az első generációs szenzorok csak 1,6 km/h-ás mérési sebességet tettek lehetővé. Az alkalmazható mérési sebességet ugyanis a gördülő szenzorok átmérőjének nagysága (152 mm) határozza meg. A problémát az okozza, hogy bizonyos sebesség felett a szenzorok a felületi egyenetlenség miatt eltávolodnak a pályaszerkezet felületétől és így rontják a mérés pontosságát. A megoldást a második generációs szenzorok hozták meg, ahol a nagyobb leszorító erő érdekében légrugókat alkalmaztak. Ezen fejlesztések ellenére is csak maximum 5 km/h sebességgel lehetett a mérést végrehajtani (Lee és Stokoe, 2005).

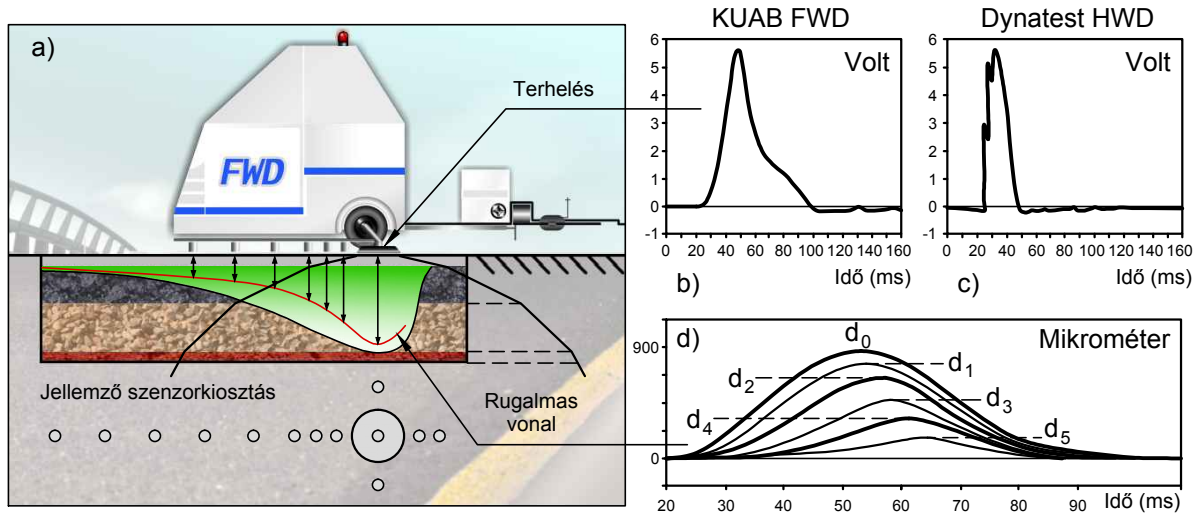
4.4.2. Impulzusalapú behajlásmérő eszközök

A csillapított rezgéskeltésen alapuló mérési eljárásokat elsősorban pályaszerkezetek vizsgálatára fejlesztették ki. A rezgéskeltést egy-egy impulzus adja, az impulzusok időtartama a másodperc törtrésze. Többszöri impulzuskeltés esetében ezek egymás közötti időtartama akkora, hogy a keltett rezgések egymást nem befolyásolják (Boromisza, 1993). A gyakorlatban az impulzussal operáló behajlásmérő berendezések általában egy lökésállítóval ellátott tárcsára – a helyzeti energia felhasználásával – adott magasságból adott tömeget ejtenek le. Ezzel elérhető, hogy viszonylag kis tömeg mozgatásával akkora nyomás adható át a vizsgált pályaszerkezetre, mint a sokkal nagyobb terhelést igénylő statikus módszerrel. A tömeg, a rugórendszer (gumiütköző) és az ejtési magasság egymástól függetlenül állítható, hogy ezáltal a felületre az általunk kívánt terhelést viuessük fel. Az útpályára ható terhelési impulzus rugalmas alakváltozásokból vagy behajlásokból álló, a terhelési centrumtól kiinduló „hullámfrontot” eredményez. A függőleges elmozdulások maximális értékeit a terhelési lemez közepén és több a terhelési centrumtól sugár irányban elhelyezett érzékelőkkel rögzítik. Ezek a behajlások a terhelési impulzus függvényében jellemzik a felépítmény szerkezeti szilárdságát. Az ezen elven alapuló berendezéseket általánosan nehézsúlyos behajlásmérő (Falling Weight Deflectometer, FWD) eszközöknek nevezik (4.11 és 4.12 ábra).

A mérés alatt rögzített behajlási teknő lényegesen több információt szolgáltat a pályaszerkezet pillanatnyi állapotáról mint a központi behajlás, így pontosabban határozható meg annak teherbírása, hátralévő élettartalma és a szükséges erősítőréteg vastagsága. Egy adott pályaszerkezet esetében az alkalmazandó rehabilitációs eljárás kiválasztása igen nagy gazdasági jelentőséggel bír. A pályaszerkezet állapotának megfelelő ismerete nélküli döntéshozatal igen költséges lehet. Az FWD berendezés által képzett adatok az egyes rétegvastagságokkal kombinálva igen biztosan alkalmazhatók a burkolat helyszíni rugalmassági modulusának (felületi egyenértékű modulus) megállapítására. Az így kapott információk felhasználhatóak a szerkezeti elemzéseknél a teherbírás meghatározására, a hátralévő élettartam becslésére, az erősítő réteg vastagságának meghatározására, amennyiben szükséges (akár az elvárt tervezési élettartamon túl is).

4.4.2.1. A terhelési impulzus és az elmozdulások rögzítése

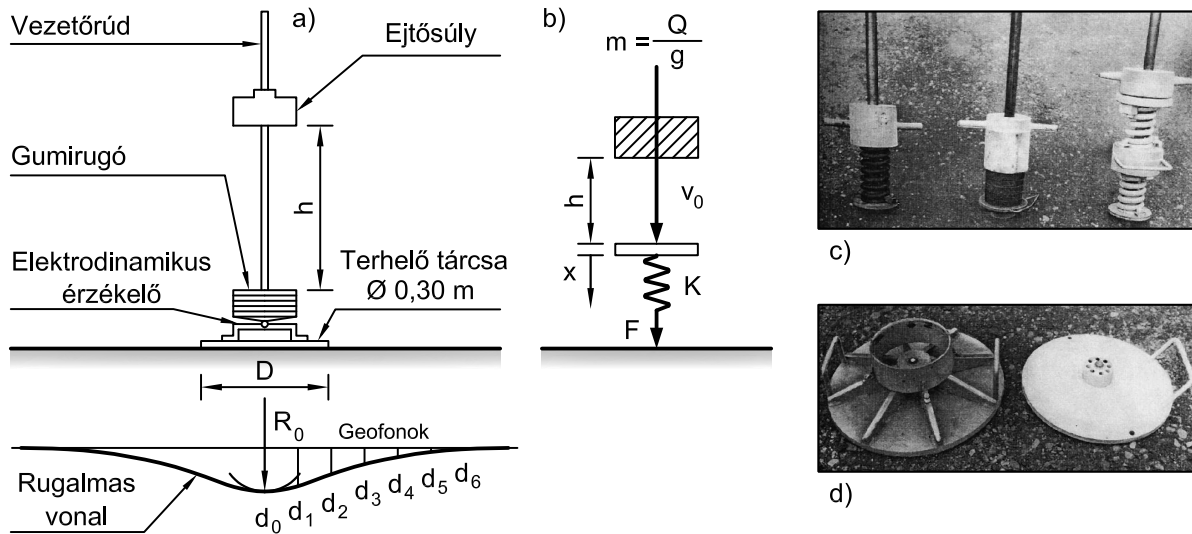
Az FWD készülék szerkezete részleteiben gyártónként különbözhet. Ez gyakran azt is jelenti, hogy a terhelési impulzus az egyes készüléktípusok esetében eltérő lehet. Az aszfaltréteg (és néha a többi rétegek) merevsége a terhelési sebességtől függ, így a felépítmény reakciója függ a teherimpulzus típusától. Egy jármű terhelési impulzusának szimulálásánál azt a terhelési időt kell figyelembe venni, ami megközelítően megfelel egy gördülő kerék terhelési idejének. A legtöbb FWD készülék esetében az impulzus kezdetétől a maximális érték eléréséig 5–30 ms telik el, és a terhelési impulzus időtartama pedig 20–60 ms (4.11 b) és c) ábra). Fontos kiemelni,



4.11. ábra. Az FWD készülékek működési elve.



4.12. ábra. KUAB (a) és Dynatest típusú (b) FWD készülékek.



4.13. ábra. A könnyű ejtősúlyos teherbírásvizsgáló berendezés és fizikai modellje

hogy normális esetben a terhelés időben változó grafikonja nem szimmetrikus lefutású, ezért a terhelés teljes időtartama (szélessége) nem alkalmas az FWD készülékek jellemzésére. Helyette célszerűbb a kiindulási állapot és a maximális impulzus közötti időtartamot, azaz az ébredési időt (*rise time*) alkalmazni (Shahin, 2005). Az FWD berendezések kb. 30 ms idő alatti méréseikkel az útpálya teherbírását közelítő módon tudják csak jellemezni, mivel az egymástól bizonyos távolságokban fekvő geofonok mindig a helyi maximális behajlásokat regisztrálják, amelyek azonban nem pontosan azonos időben, hanem a sebesség szerint eltolódott időpillanatokban keletkeznek (4.11 d) ábra). Az ebből fakadó hiba minimalizálható, ha a teherimpulzus felfutó ágát az időben megnyújtjuk. A nagyobb ébredési idő – a szenzorok maximális elmozdulásai között – kisebb időeltérést fog eredményezni (Shahin, 2005). Az ejtősúlyos készülék terhelési idejét dinamikus frekvenciára átszámítva csak 30–60 Hz frekvencia körüli értékeket lehet kapni, amely értékek növelése tovább már csak nehézkesen oldható meg (Grätz, 1999). Fontos tehát figyelembe venni a teherimpulzus alakját és az ébredési idő hosszát, mivel ennek függvényében a maximális elmozdulások értéke akár 10–20%-os eltérés is mutathatnak FWD típusonként. A behajlási teknő alakjának meghatározásához szükséges, hogy az FWD készülék megfelelő számú behajlás-érzékelővel rendelkezzen. A behajlás-érzékelőknek az FWD készülékek körében két típusa létezik, a geofon és a szeizmométer. Az alkalmazott érzékelő típusa az adott FWD készüléktől függ. Vékony aszfaltréteget tartalmazó felépítményeknél a behajlás érzékelőknek a terhelési centrumhoz közelebb kell lenniük, mint vastagabb aszfalt rétegeket tartalmazó felépítmények esetében.

4.4.2.2. A csillapítatlan rezgéskeltés elméleti háttere

Az impulzusos mérőeszközöknél alkalmazott dinamikus erő értéke egyszerűen számítható, ha feltételezzük, hogy a rugólap és a vezetőrúd tömege elhanyagolható az ejtősúlyhoz képest, másrészt pedig a csillapított helyett csillapítatlan rezgőmozgással számolunk (Nemesdy, 1985). A tömeg-rugó rendszerben egyensúly esetében a külső erők egyensúlyban vannak (4.13.b. ábra), amit a következő differenciálegyenlet fejez ki (Boromisza, 1993):

$$m \cdot \frac{d^2 x(t)}{dt^2} = -K \cdot x(t) \quad (4.7)$$

ahol

x = rugó elmozdulás
 m = tömeg
 t = idő
 K = rugóállandó

Az egyenleteket m -el végigosztva, végül az időfüggő helykoordinátára a

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} + \frac{K}{m} \cdot x(t) = 0 \quad (4.8)$$

egyenletet kapjuk. Ha egy adott rugó és tömeg esetén állandó K/m arányt ω^2 -el jelöljük, akkor a fenti differenciálegyenlet a következő alakba írható:

$$\frac{d^2x(t)}{dt^2} + \omega^2 \cdot x(t) = 0 \quad (4.9)$$

Az egyenlet matematikailag egy differenciálegyenlet, amely a meghatározandó függvény mellett annak differenciálhányadosát is tartalmazza. Az egyenletnek eleget tevő $x(t)$ függvény(ek) megkeresése, vagyis a differenciálegyenlet megoldása matematikai módszerekkel lehetséges. A rugóerő a tömegeerővel egyenlő, tehát a csillapítóhatás nincsen figyelembe véve. A fenti (4.7) jelű másodrendű differenciálegyenlet egyszerű megoldása a csillapítatlan rezgőmozgást írja le a t idő függvényében:

$$x(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) = A \cdot \cos\left(\omega \cdot t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right) \quad (4.10)$$

ahol A a legnagyobb kitérés értéke, amit a rezgés amplitúdójának nevezünk, φ pedig a kezdő fázis. Tehát adott m tömeg és K rugóállandó esetén mindig olyan harmonikus rezgőmozgás fog létrejönni, amelynek körfrekvenciája $\omega = \sqrt{K/m}$. Az egyes konkrét mozgások azonban különböznek az A amplitúdó és a φ kezdőfázis szerint. Ezeket az ún. integrációs állandókat a kezdeti feltételek szabják meg:

$$\varphi = \arctan\left(-\frac{v_0}{\omega \cdot x_0}\right) \quad (4.11)$$

$$A = \sqrt{\left(\frac{v_0}{\omega}\right)^2 + x_0^2} \quad (4.12)$$

ahol x_0 a kezdeti elmozdulás és v_0 a kezdősebesség. A konkrét feladatban a kerületi kezdőfeltétel, hogy az ejtő súly tömege a rugóra v_0 sebességgel érkezik meg h magasságból (Nemesdy, 1985):

$$v_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (4.13)$$

ahol

v_0 = sebesség

h = ejtési magasság

g = nehézségi gyorsulás

Vagyis, ha $t = 0$ és $x = 0$ akkor h magasság és g nehézségi gyorsulás esetében:

$$\frac{dx}{dt} = v_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (4.14)$$

ennek megfelelően:

$$x(t) = v_0 \sqrt{\frac{m}{K}} \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{K}{m}} \cdot t\right) \quad (4.15)$$

A fél periódus idő $t = T$ jelölés mellett ott lesz, ahol az x elmozdulás ismét nulla ($x = 0$). Ezen T idő felénél $t_0 = T/2$ esetén van az x_{max} legnagyobb elmozdulás, következésképpen a

legnagyobb rugóerő is $F_{max} = x_{max} \cdot K$. Ha tehát $x = 0$ kell legyen, akkor a fenti egyenletből (Nemesdy, 1985):

$$\sin\left(\sqrt{\frac{K}{m}} \cdot t\right) = 0$$

és mivel $\sin(\pi) = 0$, ezért adódik a $t = T$ félperiódus idő:

$$T = \pi\sqrt{\frac{m}{K}} \quad (4.16)$$

A legnagyobb x elmozdulás tehát a $t_0 = T/2$ esetén van, most $t = t_0$ értéket a (4.15) képletbe téve:

$$x_{max} = v_0\sqrt{\frac{m}{K}} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = \sqrt{2 \cdot g \cdot h \cdot \frac{m}{K}} \quad (4.17)$$

és a keresett legnagyobb rugóerő

$$F_{max} = x_{max} \cdot K = \sqrt{2 \cdot g \cdot h \cdot m \cdot K} \quad (4.18)$$

A rugó alakváltozását és az erő változásait elektronikus úton mérve adódik, hogy az alakváltozások ugyan jól egyeznek a képlet és a valóság között, a rugóerő azonban további rezgéseket mutat egy T félperiódus időn belül, s ezt csak az elhanyagolt tömegek és a rezgéscsillapítás figyelembevételével lehetséges számításba venni.

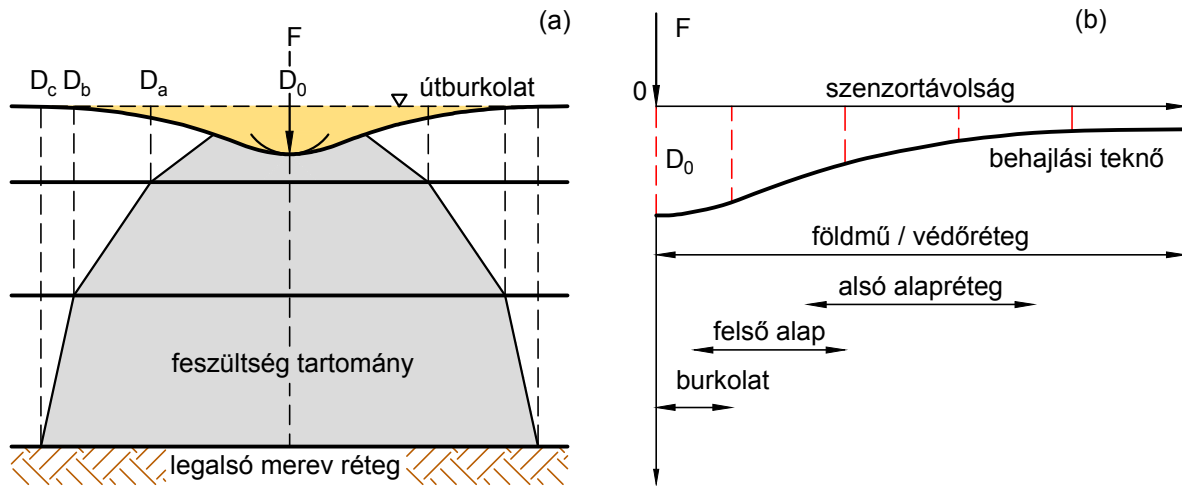
A levezetett közelítő képletekből látható, hogy a tömeg és a rugóállandó együttesen határozzák meg a terhelési időt. A gyakorlatban ezért olyan nagyságú ejtő súlyt és rugóállandót alkalmaznak, amelyek közelítőleg egy 60–80 km/h járműsebességnek felelnek meg. Az F_{max} nagyságú erőt egy D átmérőjű tárcsa közvetíti a pályaszerkezet felületére amely alatt p_{max} nyomásérték lép fel:

$$p_{max} = \frac{F_{max}}{r^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot F_{max}}{D^2 \cdot \pi} \quad (4.19)$$

Az igen rövid terhelési idő miatt a terhelés hatására kialakuló elmozdulások mérése csak közvetett módon történhet. Ezért a gyakorlatban a gyorsulásmérők terjedtek el, amelyek jeleit kétszer integrálva a műszer azonnal a hirtelen elmozdulásokat mutatja (Nemesdy, 1985). A kialakuló deformációs vonal felvétele után már a rugalmasságtan alaptételeit felhasználva lehetséges a további elemzés. A fenti elvet követő eszközöket könnyű és nehéz változatban alakították ki az alkalmazott ejtő súly nagyságától függően. A könnyű berendezéseknél az ejtő súly emelése kézzel történik, míg a nehezeknél ezt hidraulikus rendszer végzi. A könnyű eszközök a talajok, ágyazatok vizsgálatát, míg a nehezek teljes pályaszerkezetek elemzését teszik lehetővé (Boromisza, 1993).

4.4.2.3. A mért deformációk információtartalma

Az útpályaszerkezetek mechanikai modellje alapján alapvető feltevésekkel élhetünk az FWD készületek által mért elmozdulások elemzésével kapcsolatosan. A legfontosabb, hogy a pályaszerkezet felületén átadott külső terhelés a mélységgel arányosan csak eloszolhat az egyes rétegekben, de sohasem csökkenhet le, és így minden vízszintes síkmetszetben a függőleges feszültségek eredője azonos értékű. Ezért a felszínen mért maximális elmozdulások a szerkezetet alkotó anyagok saját deformációinak összege a kialakuló feszültségzónán belül. A terhelés tengelyétől távolodva pedig minden deformációhoz tartozik – a pályaszerkezeten belül – egy olyan jellegzetes mélység, amely csak közvetlenül hozható kapcsolatba a mért elmozdulással (4.14 a) ábra). Vagyis elvi lehetőség van arra, hogy a terhelés tengelyétől jellegzetes távolságra mért elmozdulásokkal közvetlenül jellemezzünk egyes szerkezeti rétegeket. Ezt az összefüggést szemlélteti a teherbírásmérésre vonatkozó brit előírás (HD29/94, 2008) egyik ábrája is (4.14 b) ábra). Egy ponton túl



4.14. ábra. A rögzített behajlási teknő különböző paramétereinek alapján a felszín alatti rétegek állapotára becsléseket tehetünk.

már nem alakulnak ki további felszíni deformációk, mivel a feszültségzóna nem terjed tovább, ezt a mélységet határmélységnek nevezzük. A gyakorlatban ez úgy képzelhető el, hogy egy alsó végtelen merev réteg gátolja a elmozdulások kialakulását vagy egy adott mélységnél a belső sűrűdés már képes ellensúlyozni a kialakuló deformációkat.

Az útpályaszerkezeteket alkotó rétegek jellemzésére ezért számos teknőparamétert dolgoztak ki. Ezek részletes összefoglalóját megtalálhatjuk Horak (1987) munkájában. Az aszfaltburkolatok jellemzésére a felszíni görbületi indexe (Surface Curvature Index, SCI) terjedt el. Csupán a terheléshez közeli elmozdulások használhatóak fel hozzá. Az SCI növekedése azt mutatja, hogy az aszfaltréteg gyengül. Az alaprétegek szerkezeti jellemzésére az alap károsodási index (Base Damage Index, BDI) használatos. A BDI növekedése a rétegek gyengülését jelenti. A távolabb mért behajlások vagy az alap görbületi indexek (Base Curvature Indices, BCI) jól használhatóak az alap alatti rétegek és a teherhordó általaj elemzésére. Ezen paraméterek növekedése is a rétegek gyengülését jelenti (Van Gurp, 1995). A legfontosabb teknőparaméterek összefoglalóját a 4.2 táblázat tartalmazza. A behajlási teknő paramétereit a következő célokra használhatjuk: a vizsgálandó útszakasz homogén alszakaszokra osztása, vagy a várható élettartam meghatározása.

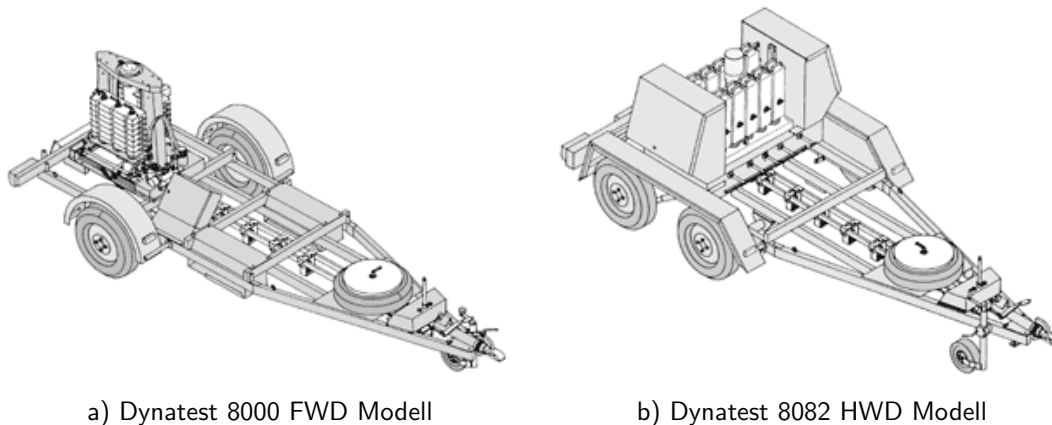
4.4.2.4. FWD készülékek

KUAB A svéd KUAB ejtősúlyos készülék vontatott rendszerű, működtetése a vontató járműben elhelyezett irányítópulttal történik. A mérőeszköz a nagyméretű fémburkolat alatt helyezkedik el, az egység alján lévő ajtó automatikusan kinyílik, hogy a mérőberendezést az útburkolat felületére leereszthessék. Ez a megoldás a mechanikus és elektronikus elemeket védi a víz, az olaj, a por és egyéb hatástól. Az 50-es jelű modell 12–50 kN, míg a 150-es jelű 12–150 kN nagyságú impulzus előállítására képes. A behajlást legalább két ponton (a teherátadás tengelyében és attól meghatározott távolságban) mérik, szeizmométer (rezgésmérő) segítségével. A rezgésmérőket a helyszínen, a berendezésbe beépített mikrométerek segítségével kalibrálják. Kéttömeges rendszer közvetítésével terhelik a burkolatot. Ily módon más FWD modelleknél hosszabb impulzusidőt érnek el (szélessége 50–60 ms közötti), amely a tehergépkocsik által a közúti forgalomban keltett feszültségek időbeli lefolyását jobban megközelíti (Gáspár, 2003). A terhelőtárcsát több elemből állítják össze, hogy így még nagyobb felületen érintkezessen a burkolattal. A tárcsa átmérője: 30 cm (hajlékony) és 45 cm (merev) lehet.

A hazai vizsgálatok alkalmával az elmozdulásokat – egy mérési vonalon – a terhelés tengelyében hat, egymástól 200 mm-re lévő ponton mérték. Lehetőség van a szeizmométer különböző

Paraméter	Összefüggés	Eszköz	Hivatkozás
Felület görbületi index <i>SCI - Surface Curvature Index</i>	$SCI = D_0 - D_{300}$	BB, RR, Dyn., FWD	Shrivner, 1968
Alap romlási index <i>BDI - Base Damage Index</i>	$BDI = D_{300} - D_{600}$	RR, FWD	
Alap görbületi index <i>BCI - Base Curvature Index</i>	$BCI = D_{600} - D_{900}$	Dyn., FWD	Peterson, 1972
Hajlítási index <i>BI - Bending Index</i>	$BI = D_0/a$	BB	Hveem, 1954
Lapultság <i>S - Spreadibility</i>	$S = \frac{25}{D_0} (D_0 + D_{300} + D_{600} + D_{900})$	Dyn., RR, FWD	Vaswani, 1971
Alaktényező <i>F - Shape Factor</i>	$F_1 = (D_0 - D_{600}) / D_{300}$ $F_2 = (D_{300} - D_{900}) / D_{600}$ $F_3 = (D_{600} - D_{1200}) / D_{900}$	FWD	Hoffman, 1981
Maximális elmozdulás <i>Maximum deflection</i>	D_0	BB, RR, Dyn., FWD	Shrivner, 1968
Alap görbületi tényező <i>CBF - Curvature Basin Factor</i>	$CBF_x = (D_0 - D_x) / D_0$	FWD	Hothan-Schäfer
Behajlási tényező <i>DR - Deflection Ratio</i>	$DR = D_x / D_0$	FWD	Classen, 1976
Terület index <i>AI - Area Index</i>	$AI = \frac{6}{D_0} (D_0 + 2D_{300} + 2D_{600} + D_{900})$	FWD	Hoffman, 1981
<i>AP - A. Under Pavement Profil</i>	$AP = \frac{1}{2} (5D_0 - 2D_{300} - 2D_{600} - D_{900})$	FWD	Hill-Thompson
Érintő iránytangens <i>TS - Tangent Slope</i>	$TS = (D_0 - d_L) / L$	FWD	Stock, 1984
Behajlások iránytangense <i>SD - Slope of Deflection</i>	$SD = \tan^{-1} [(D_0 - D_x) / x]$	BB	Kung, 1967
Hatótávolság <i>RI - Radius of Influence</i>	$RI = L / D_0$	BB	Ford, 1962
Görbületi sugár <i>RoC - Radius of Curvature</i>	$RoC = x^2 / [2D_0 ((D_0 / D_x) - 1)]$ $x = 127 \text{ mm}$ $RoC = 200^2 / [2D_0 (1 - (D_{200} / D_0))]$	CM, BB FWD	Dehlen, 1962 Horak, 2008
Magyarázat: D_x - a felületi elmozdulás a terhelés tengelyétől x távolságra (mm), a - a behajlási teknő hosszának negyede, L - maximális elmozdulás és az érintési pont közötti távolság, d - elmozdulás az érintési pontban, BB - Benkelman-tartó, FWD - Falling Weight Deflectometer, RR - Road Rater, CM - Curvaturemeter, Dyn - Dynaflect			

4.2. táblázat. A leggyakoribb teknőparaméterek (Kim et al. 2000 alapján).



a) Dynatest 8000 FWD Modell

b) Dynatest 8082 HWD Modell

4.15. ábra. A Dynatest cég FWD berendezései

távolságokban való elhelyezésére, ezáltal a görbületi vonal felvételére is. A berendezés méri a levegő és a burkolat hőmérsékletét is. A dinamikus teherbírásmérés hazai alkalmazását megalapozó adaptációs vizsgálatok 1991-ben kezdődtek meg. Ezek alapján megállapítható, hogy a mérési eljárás gyors, szubjektivitástól mentes. A berendezés mozgékonyaságánál fogva nagyszámú mérés elvégzésére alkalmas. 1993-tól hazánkban 4 db KUAB típusú FWD végzi az országos közúthálózat pályaszerkezet-teherbírási hálózati és létesítményi szintű jellemzését (Boromisza, 1997b).

Dynatest A Dán fejlesztésű Dynatest nehéztömegű teherbírásmérő berendezés egy igen pontos, megbízható és folyamatosan fejlesztett eszköz a behajlásmérések elvégzésére. A Dynatest cég komplex FWD technológiája megoldást kínál az analitikus-empirikus pályaszerkezet számítások elvégzéséhez, az automatikus pályaszerkezet állapotértékeléshez és a mérnöki menedzsment rendszerek alkalmazásához is.

Az alkalmazott terhelő erő széles határok között, a pályaszerkezet függvényében (szerkezeti rétegek merevsége, felépítése) változtatható. Ennek megfelelően két típus különíthető el: a Dynatest 8000-es modell (4.15.a. ábra) inkább közutakra és hajlékony pályaszerkezetekre lett kifejlesztve, így a terhelő erő nagysága 7 kN és 120 kN között helyezkedik el, míg a Dynatest 8081/8082-es modell (Heavy Weight Deflectometer) repülőterek és beton burkolatok mérést szolgálja a 30–240 kN közötti terhelésével (4.15.b. ábra).

A jellemző terhelési idő 25–30 ms. A terhelés kezdete és a csúcserő közötti minimális idő 10–15 ms minden teheresetben. Kétféle tárcsa alkalmazható, a hajlékony (szegmentált) átmérője 30 cm míg a merev tárcsa átmérője 45 cm (Shahin, 2005). A mérés megbízható és gyors (akár 60 mérési pont/óra). Felépítését tekintve a következő érzékelőkkel van ellátva: 9–15 db behajlásmérő (geofon), melyek a terhelés középpontjától egészen 2,4 m-es távolsáig állíthatóak, lehetőség van laterális szenzorkiosztásra is. A terhelés pontos értékét egy darab tárcsa alatti erőmérő cella rögzíti minden ejtés után. Infravörös hőmérsékletmérő szenzor méri a felületi hőmérsékletet, mellette rögzíti a levegő hőmérsékletét. Tartalmaz távolságmérő egységet valamint a mérési pontok megjelölését szolgáló eszközöket is. Opcionálisan ellátható videó és GPS rendszerrel (Shahin, 2005).

Phønix A Phønix ML 10000 FWD modell 10,2–102,3 kN terhelési tartományba eső dinamikus impulzust állít elő. Mérésre 3–6 behajlásmérő jeladó állítható be egy 2,4 m-es rúd különböző pontjain. Az elektronikus ellenőrző rendszer mikroszámítógépből, ellenőrző szoftverből és érzékelőkből áll. Levegő- és burkolat-hőmérsékletmérő szenzorokkal valamint festék alapú jelzőrendszerrel is felszerelhető. A fémborítás alatt elhelyezett henger alakú ejtőtű kilenc különálló egységből épül fel, amik segítségével akár a 300 kg is elérhető. A lökészerű terhelést a tárcsa

gumialátéteken keresztül adja át a szerkezetre (Gáspár, 2003).

Jils Az amerikai fejlesztésű Jils sokkban hasonlít az eddig bemutatott FWD készülékekhez. A terhelő erő nagysága itt 10 és 125 kN között változhat, a terhelési idő jellemzően 20–35 ms. Ugyancsak fel van szerelve hőmérsékletmérő szenzorokkal, a terhelést egy 30 cm átmérőjű tárcsán át közvetíti a terhelt szerkezetre és a kialakult deformációkat pedig 9 db geofonnal rögzíti. A dinamikus terhelést erőmérő cellával minden mérés után eltárolja.

4.5. Behajlásmérő eszközök az erdészeti úthálózatokon

A teherbírás mérésére hosszú ideig csak a kézi behajlásmérő eszköz állt rendelkezésre. A kézi behajlásmérésnél fontos szempont, hogy a mérőkar alátámasztásának olyan távolra kell kerülnie a terhelő gépkocsi gumiabroncsától, hogy az már a pályaszerkezet mozgásában ne vegyen részt. Ezt a terhelés hatására kialakuló ún. együttdolgozó hosszt kísérleti úton lehetséges csak meghatározni. Hazánkban ezzel kapcsolatban Boromisza (1959) végzett méréseket a 60-as években. Vizsgálatai során az együttdolgozó hossz mértékét 1,2 m-ben határozta meg, bár a WASHO (Western Association of State Highway Organizations) mérések szerint ez akár 2,0 métert is elérhet. Mindenesetre hazánkban az 1:1 arányú mérőkarok terjedtek el, ahol az alátámasztás és a mérőcsúcs közötti távolság 1,2 m volt (4.5 ábra).

Az erdészeti feltáróhálózatok felmérését először az 1:1 arányú mérőberendezésekkel kezdték el végrehajtani, de már viszonylag korán kiderült, hogy a berendezés állványának lábai a deformációs vonalon belül helyezkednek el. Az ebből eredő hiba az erdészeti utak vékony pályaszerkezetein jelentős mértékűre adódott (Herpay et al., 1975; Kosztka, 1978). A vázolt probléma kiküszöbölésére ezért a behajlásmérő eszköz módosítására volt szükség (Kosztka, 1978). Azért, hogy a behajlásmérő talpai a tehergépkocsitól távolabb kerüljenek, a tapogatócsúcs felé eső mérőkart kétszeresére kellett megnyújtani, tehát a mérőkarok aránya így 2:1 arányúak lettek. Ez a túlnyújtás általában elég arra, hogy a lábak már deformációmentes helyre kerüljenek, a műszer hossza pedig még nem befolyásolja a kezelhetőséget. Kedvezőtlen ennél az elrendezésnél az, hogy a leolvasott értékből a valódi értéket kettővel való szorzás útján nyerjük, ami az esetleges hiba nagyságát is ugyanígy növeli. Gondos méréssel ez a hiba minimálisra csökkenthető és a várható végeredményt nem befolyásolja (Kosztka, 2001). A berendezés mérőcsúcsának helyzete is eltér a közutakon alkalmazott méréshez képest. Erdészeti feltáróutaknál a mérőcsúcsot nem a kerék felfekvésének vonalába, hanem az elé kell elhelyezni. Ezáltal a kerék áthaladásakor a pályaszerkezet először benyomódik, a mérőóra negatív szélsőértéket vesz fel, majd a kerék továbbhaladásakor rugalmasan visszaugrik, a mérőóra pozitív szélsőértéket mutat. A behajlás nagyságát a két szélsőérték különbségének kétszerese adja. A bevezetett mérési metodika legjobban az angliai TRRL eljáráshoz hasonlított, vagyis az automata Lacroix-mérőkocsi által követett elvet valósította meg (Kosztka, 1978).

A Müller-féle görbületmérő eszközzel az Erdészeti Szállítástani Tanszék az 1970-es években zajló Makk-pusztai kísérleti úton szerzett tapasztalatokat. A mérés kivitelezésekor problémát okozott a mérési hossz helyes felvétele, valamint az eszköz pontos elhelyezése. A mérési eredmények nagy szórást mutattak, így azok felhasználása további számításokra kétséges volt (Herpay et al., 1975).

1975-ben jelentek meg a Lacroix-mérőkocsik a magyar közúthálózatokon, de csak később, 1984-ben alkalmazták őket először – kísérleti jelleggel – az erdészeti feltáróhálózatok felmérésére. Legnagyobb hátrányuk az volt, hogy az egy forgalmi sávós erdészeti utakon a mérés idejére a forgalmat le kellett zárni, mert a mintegy 16 tonna tömegű, az alvázra függesztett mérőberendezés miatt alacsony szabad magasságú tehergépkocsi a keskeny és puha padkára, vagy terepre a meghibásodás komoly veszélye nélkül nem tudott lemenni (Kosztka, 2001).

A dinamikus ejtősúlyos berendezések közül 2007-ben a Dynatest FWD készülékkel történtek meg az első mérések. A tapasztalatok azt mutatták, hogy az FWD készülékek hatékonyan

Jellemzők	Benkelman-tartó	Lacroix-deflektográf	FWD
Eszközigény	terhelt tehergépkocsi, 2 db behajlásmérő	mérőkocsi	mérőkocsi
Személyzet	4 fő	2 fő	2 fő
Igénybevétel	statikus	kvázi statikus	dinamikus
Szimulált sebesség	0 km/h	3–4 km/h	60–80 km/h
Mérés módja	diszkrét	folyamatos	diszkrét
Mérés sűrűsége	min. 25 m	4 m	25 m
Napi teljesítmény	15 km	20 km	15 km
Mért paraméter	központi behajlás	központi behajlás	behajlási teknő
Adatok rögzítése	manuális	automatikus	automatikus
Ismételhetőség	kielégítő	közepes	kiváló
Eszköz költsége	alacsony	magas	magas

4.3. táblázat. Teherbírásmérő eszközök összehasonlítása.

alkalmazhatók az erdészeti feltáróutak speciális körülményei között is. A mérés minőségét viszont nagyban befolyásolja a burkolatfelület tisztasága (sárfelhordás). Az erdészeti gyakorlatban alkalmazott teherbírásmérő eszközök összehasonlítását a 4.3 táblázat mutatja be.

4.5.1. Az eltérő eszközökkel mért elmozdulások átszámításának kérdése

A már ismertetett mérési módszerek közül a világon a legelterjedtebb és a leggyakrabban alkalmazott a kézi behajlásmérés volt, így számos útkísérlet eredményei (WASHO, AASHO) és műszaki előírás tartalma is az ilyen módon meghatározott behajlásértékekre vonatkoztak és vonatkoznak még ma is. Ezért az eltérő mérési módszerek átszámításának igénye hamar felmerült és máig fennmaradt.

A Lacroix-Benkelman összehasonlító vizsgálatokat a Somogyi Erdőgazdaság területén lévő Szántód-Jaba puszta erdészeti feltáróúton végezték el 1984-ben. Az eredmények azt mutatták, hogy nincs számottevő különbség a két módszer között, ezért átszámítás nem szükséges. Az egyezést a már ismertetett mérési elvek hasonlósága magyarázza (Kosztka, 1986; Kosztka, 2001; Kosztka et al., 2008). Az eredmény eltért a közutas tapasztalatoktól, ahol a mérőkocsival és a behajlásmérővel megállapított behajlásértékek közötti viszonyszámot 1,1–1,3-nak találták (2509/4, 1989).

1993-tól kezdődött a KUAB típusú FWD készülékek alkalmazása a magyar közúthálózat állapotértékelésében. A dinamikus behajlásértékek statikus behajlásadatokká való átszámításának kérdése pedig újra felvetődött. Azóta az eltelt években több összemérés is történt, ennek megfelelően az alkalmazott képlet is többször változott. Egy 2005-ben elvégzett Benkelman-FWD (KUAB és Dynatest) összemérésnél, a statikus behajlásra való átszámításra az alábbi képlet adódott (Tóth, 2007):

$$BB = 1,1985 \cdot FWD - 0,0826 \quad (4.20)$$

ahol:

BB = Benkelman-tartó behajlás [mm].

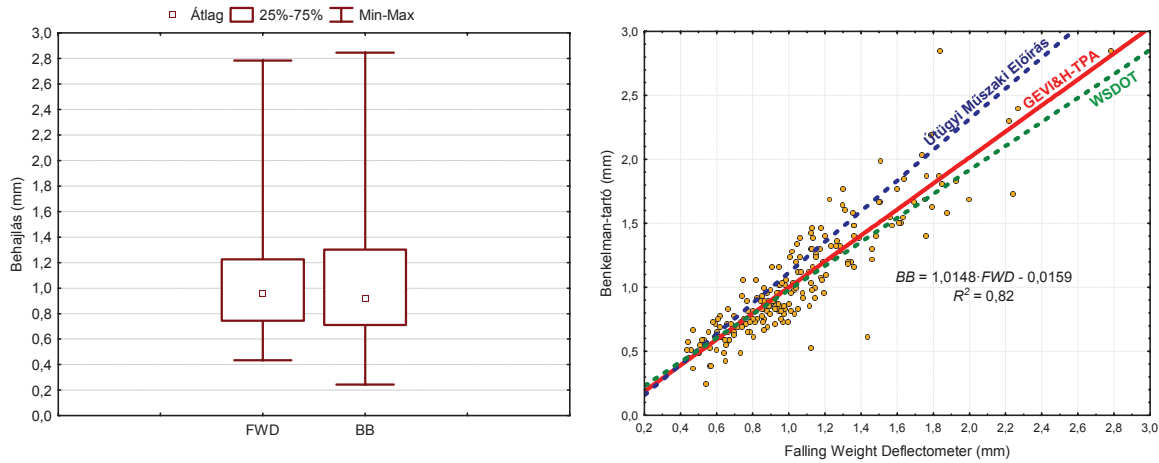
FWD = FWD behajlás [mm] a 30 cm átmérőjű tárcsa alatt az 50 kN-os teher hatására.

$R^2 = 0,97$.

Itt érdemes még megemlítenünk a Washington State Department of Transportation Materials Laboratórium (WSDOT) által 1982 és 1983 között gyűjtött adatokon alapuló képletét is¹:

$$BB = 0,93748 \cdot FWD + 0,0423 \quad (4.21)$$

¹<http://training.ce.washington.edu/WSDOT/>



4.16. ábra. Behajlás box-plot (a) és összefüggés az FWD–BB behajlásértékek között (b).

ahol $R^2 = 0,86$ és a szórás $= 0,08$ mm, míg a minta nagyság 713 db.

2007-ben kísérleti céllal újabb párhuzamos összemérést végeztünk a kézi behajlásmérő és a dinamikus Dynatest FWD készülék között. A kísérleti útszakasz ismét a Szántód-Jaba pusztai feltáróút volt. A mérést az 5 km hosszú úton 25 m-ként végeztük el a jobboldali keréknyomban, az átlag hőmérséklet 25°C volt (Kosztka et al., 2008). A mért statikus és dinamikus behajlásértékek statisztikai jellemzői jól egyeztek egymással (4.16 a) ábra). A mérési eredményekre illesztett lineáris modell determinációs koefficiense erős összefüggést mutatott a két mért paraméter között (4.16 b) ábra):

$$BB = 1,0148 \cdot FWD - 0,0159 \quad (4.22)$$

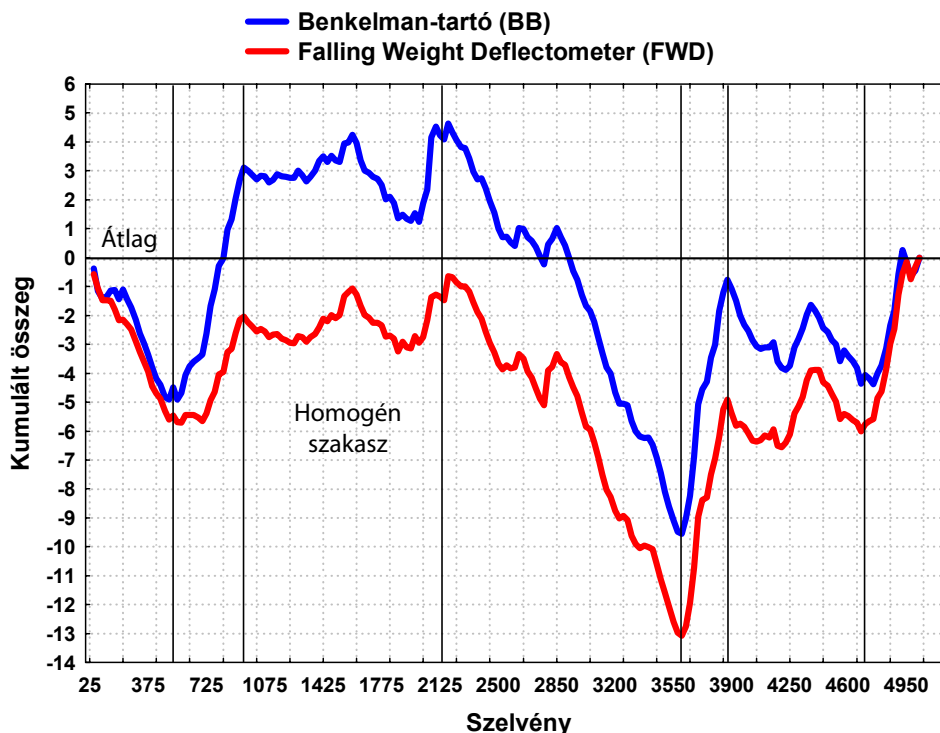
ahol $R^2 = 0,82$. A mérési eredményeket valamint a bemutatott átszámító összefüggéseket grafikusan a 4.16 b) ábra mutatja be. Jól látható, hogy az átszámító képletek közel azonos eredményt adnak, és jól beilleszkedik közéjük a 4.22 regressziós modell is. Ennek ellenére a felállított statisztikai modell elvi felépítése helytelen, mivel a tengelymetszet nem egyenlő zéróval. Logikus, hogy egy átszámító függvény az origóból induljon ki, hiszen nulla FWD elmozduláshoz nulla kézi behajlásmérés (BB) tartozik. Az egyes szerzőktől származó modellek összehasonlítása miatt mégis a hagyományos (nem feltételes) regressziószámítás mellett döntöttünk. A tengelymetszet $b = 0$ feltétel alkalmazásakor a 4.22 összefüggés az alábbi alakra egyszerűsödik:

$$BB = 1,0015 \cdot FWD \quad (4.23)$$

ahol $R^2 = 0,822$. A feltételes regressziós egyenes általában rosszabb (de legalábbis nem jobb), mint az előzőekben megismert, hagyományos módon meghatározott regressziós függvény (Orbay, 1990). A vizsgálatok azt is kimutatták, hogy a (4.23) szignifikánsan nem tér el a feltétel nélküli regressziószámítás eredményétől.

A statikus behajlás adatok alapján elvégezhető egy adott útszakasz homogenizálása, majd a homogén szakaszokon a jellemző mértékadó behajlás kiszámítása, amely az érvényben lévő Útügyi Műszaki Előírás szerint a behajlás alapján történő pályaszerkezet megerősítés alapjául szolgál. A homogén szektorokat a kumulált összegek módszerével határoztuk le, mivel ennek segítségével meghatározhatók azok a területek, ahol a mért behajlások az út egy bizonyos szakaszán eltérnek a teljes szakasz átlagos behajlásától:

$$\begin{aligned} s_1 &= x_1 - \bar{x} \\ s_2 &= x_2 - \bar{x} + s_1 \\ s_i &= x_i - \bar{x} + s_{i-1} \end{aligned} \quad (4.24)$$



4.17. ábra. Homogén útszakaszok.

ahol x_i az i -edik pontban mért behajlás, \bar{x} az egész út átlagos behajlása és s_i az átlagos behajlástól való eltérések kumulált összege az i -edik pontban. Ha a kumulált összegeket grafikusán ábrázoljuk, az értékeket összekötő vonalak meredekségének változása, illetve a lokális szélsőértékek mutatják meg az inhomogenitásokat, azaz a lehetséges szakaszhatárokat (4.17 ábra). A homogén szakaszok helyes megválasztása közben figyelembe kell venni, hogy előírt valószínűségi szint esetén a mértékadó behajlás érték matematikai-statisztikai meghatározásához Student-szerint legalább 12 db mért érték szükséges. Ez 25 m hosszú mérési távolság esetén min. 300 m hosszú homogén szakaszokat jelent. Az így meghatározott szakaszok mértékadó behajlása alapján a szükséges erősítőréteg vastagság már a HUMU (Hajlékony Útpályaszerkezetek Méretezési Utasítása) alapján számítható. A különböző módon mért behajlásértékek alapján számított erősítővastagságok többnyire csak 1-2 cm-ben térnek el egymástól, ami a modell megbízhatósága mellett elhanyagolható különbség (Kosztka et al., 2008).

A fenti eredmények alapján azt lehet mondani, hogy az erdészeti feltáróutak jellemző pályaszerkezetein a központi behajlásértékek szempontjából az eltérő mérési módszerek közel azonos eredményt szolgáltatnak, ezért a behajlásértékek átszámítása szükségtelen. Az eltérő mérési módszerek a homogén szakaszok lehatárolását és az így számított szükséges erősítőréteg vastagságát nem befolyásolják jelentős mértékben. Ebből következik, hogy elvileg mind a két mérési módszer használható, de mérés technikailag és az adatok megbízhatóságát tekintve a közeljövőben csak az FWD készülékek alkalmazása javasolható.

4.5.2. A behajlásmérés továbbfejlesztésének szükségessége

Az FWD készülékekkel történő mérésekkel a központi behajlás mellett a burkolat alakváltozása több ponton is mérhető, ezáltal a lehajlási vonal (behajlási teknő) alakja is előállítható. A behajlási teknő alakjának ismeretében számíthatóvá válnak olyan paraméterek, amelyek a mechanikai elveken alapuló pályaszerkezet-méretezési eljárások bemenő adatai. Véleményünk szerint a jövőben azokat a mérési eljárásokat kell előnyben részesíteni, amelyek lehetővé teszik



4.18. ábra. A Geobeam (Anderson, 2008) és az EHT Delta eszköz (Rabaiotti, 2008).

a teljes behajlási teknő rögzítését.

A nehéz ejtősúlyos eszközök beszerzési ára és fenntartási költsége igen magas, ezért az erdészeti utakon végzett teherbírásméréseket FWD-készülékkel rendelkező külső vállalkozó bevonásával lehetséges csak megoldani. Célszerűnek tűnik tehát egy olyan eljárás kidolgozása, amely az erdészeti utakkal foglalkozó szakemberek számára is elérhetővé teszi a behajlási teknő önálló mérését.

4.6. A kézi behajlásmérés továbbfejlesztése

A kézi behajlásmérés továbbfejlesztésének igénye igen hamar felmerült. Az első fejlesztések még megőrizték a Benkelman-tartó alapelvét, csupán a mérési sebesség növelésére törekedtek. A későbbi fejlesztések a mérési sebesség helyett inkább már a mért paraméterek kiterjesztésére és azok megbízhatóságára koncentráltak. Az automatizált Benkelman-gerendák is ebbe a csoportba tartoznak.

4.6.1. Geobeam, EHT Delta és társaik

A Geobeam egy automatizált Benkelman-tartó, aminek a fejlesztése az 1980-as években kezdődött (Tonkin&Taylor). A fejlesztés fő célja volt megőrizni a kézi behajlásmérés egyszerű alapelvét úgy, hogy közben a teljes deformációs vonal automatikusan rögzíthetővé váljon minimális költségnövekedés mellett. A mérés alatt a mérőgerenda érzékelője automatikusan rögzíti a függőleges elmozdulást és eközben minden méréshez hozzárendeli a kerékterhelés pozícióját. Így a behajlási teknő megfelelő feldolgozó szoftver segítségével rekonstruálható. A kerékterhelés pozícióját a tehergépkocsihoz kapcsolt mérőkerékkel mérik és rögzítik. A mérőkerék felbontása 10 mm, ami igen sűrű mintavételezést tesz lehetővé. Az FWD készülékekkel ellentétben a Geobeam egy pont függőleges elmozdulását rögzíti eltérő időpillanatokban (Anderson, 2008). A mérőrendszer a 4.18 ábrán látható. A Geobeam jól használható, reprezentatív mérési eredményeket szolgáltat olyan esetekben is, amikor a vízzel telített földmű miatt az FWD eszközök már nem alkalmazhatóak megbízhatóan (konszolidáció kérdése).

Az EHT Delta roncsolásmentes kísérleti eszköz már lehetővé teszi a behajlási medence háromdimenziós rögzítését. Az eszköz fejlesztése és kivitelezése az IGT (Institute for Geotechnical Engineering, ETH Zürich) közreműködésével történt, részletes ismertetése Rabaiotti (2008) dolgozatában megtalálható. A mérési elv hasonló a Geobeam megoldásához, csak itt az eszköz 11 ponton képes – optikai elven működő – lézertáv mérőkkel észlelni a mozgó jármű haladási irányára merőlegesen kialakuló deformációkat. A mozgó jármű pozícióját pedig nem mérőkerékkel, hanem a visszaverődési időn alapuló lézeres távmérővel határozza meg. Az így nyert adatsorból az egyes időpillanatokhoz tartozó vertikális metszetek a terhelő tehergépkocsi pozíciójának ismer-



4.19. ábra. Automatizált Benkelman-tartó, Németország (Dähnert, 2005).

retében háromdimenziós felületté alakítható. Mivel az EHT Delta eszköz mérete nagy, kezelése pedig bonyolult, egyelőre csak alapkutatáshoz használták fel.

Természetesen a Geobeam és az EHT Delta mellett még számos más megoldás is létezik a kézi behajlásmérés korszerűsítésére. A teljesség igénye nélkül érdemes megemlíteni a weimari Bauhaus-Universität Építőmérnöki Karán alkalmazott kézi behajlásmérőt. Ennél a megoldásnál a központi érzékelő csúcs mellett további 3 mérőfejet is elhelyeztek 25–50–80 cm távolságra a terhelés tengelyétől (4.19 ábra). Az érzékelők által mért elmozdulást a mérőgerendára felszerelt elektronika dolgozza fel és tárolja automatikusan. Ez a megoldás az FWD eszközökhöz hasonlóan egymástól eltérő diszkrét pontokban (4 mérési pont) rögzíti az elmozdulásokat. A mérési pontokra illesztett függvény segítségével pedig már a különféle teknőparaméterek számíthatóak (Dähnert, 2005).

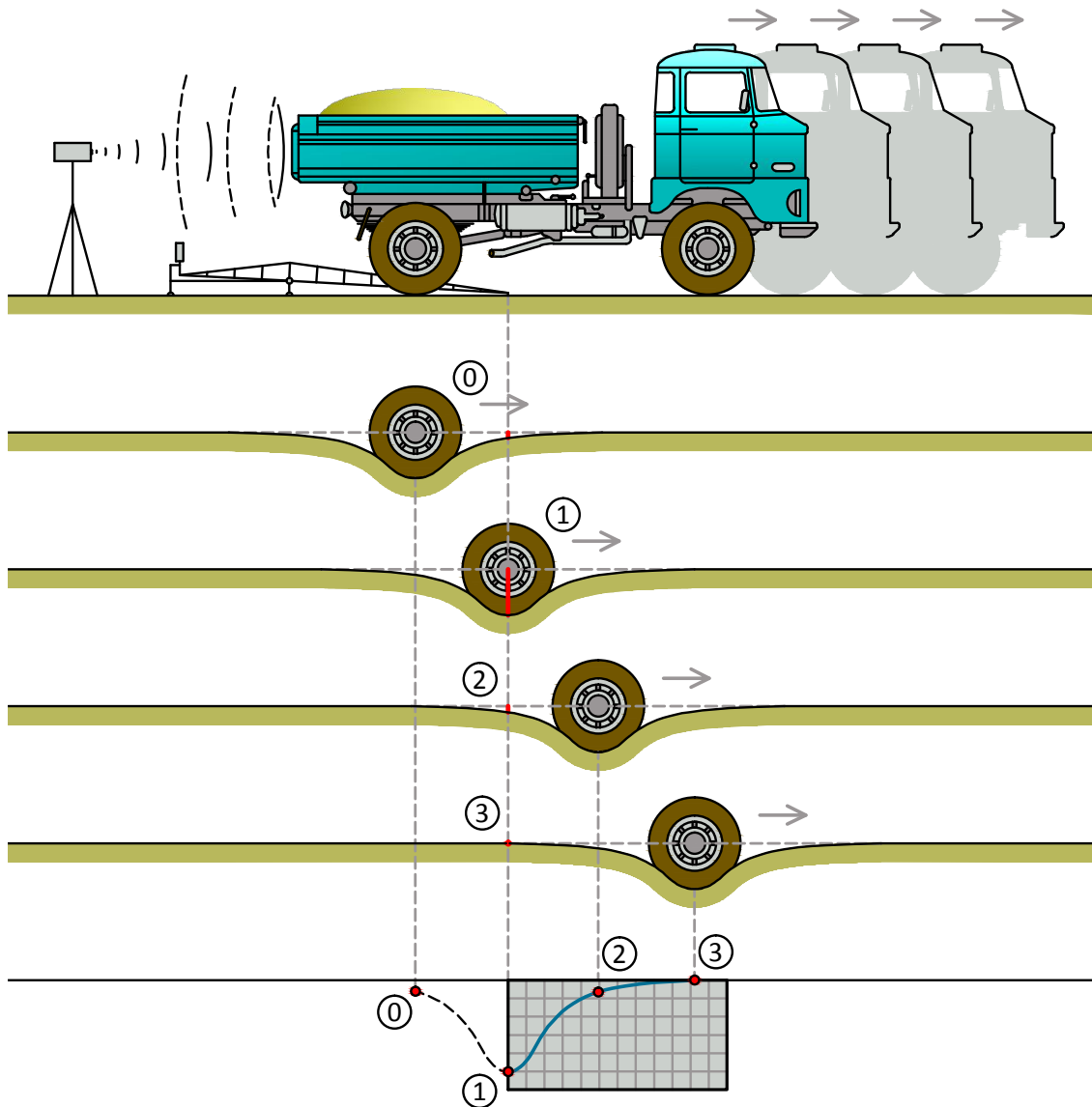
4.6.2. Advanced Benkelman Beam Apparatus (ABBA)

Az ABBA mérőeszközt az Erdőfeltárási Tanszéken *Markó Gergely* vezetésével dolgoztuk ki a kézi behajlásmérés automatizálására. A fejlesztés kiterjedt a mérési eljárás megtervezésére, a szükséges kiegészítő eszközök kiválasztására, a központi adatgyűjtő egység tervezésére és építésére, az adatgyűjtő hardveren futó firmware, valamint a PC-ken futó adatgyűjtő és elemző szoftverek kifejlesztésére. A fejlesztés az eszközök tekintetében alapvetően három pilléren nyugszik (Markó, Primusz és Péterfalvi, 2011):

1. A hagyományos Benkelman-tartók analóg mérőóráit digitális adatkimenettel rendelkező mérőórákra cseréltük.
2. A mérés közben a tehergépkocsi előrehaladását ultrahangos távolságmérővel rögzítjük.
3. A digitális szenzorok jelét a saját fejlesztésű központi vezérlő egység gyűjti, majd továbbítja az adatgyűjtő szoftvert futtató netbook felé.

A mérés a következő lépésekből áll (4.20 ábra):

1. Ismert hátsó tengelysúlyú, terhelt tehergépkocsi felállása a mérés szelvényébe.
2. Behajlásmérők elhelyezése a hátsó (szóló) tengely ikerabroncsai közé úgy, hogy a mérőcsúcs a kerék felfekvési vonala előtt legyen.
3. Digitális elmozdulásmérő órák mérési pozícióba állítása.
4. Állványra szerelt ultrahangos távolságmérő mérési pozícióba állítása.
5. Az adatgyűjtő szoftvert futtató számítógép (érintőképernyős netbook) előkészítése a mérési adatok fogadására, a külső hardverekkel az adatkapcsolat ellenőrzése.



4.20. ábra. A továbbfejlesztett kézi behajlásmérés elve (Markó, 2011).

6. Az adatgyűjtő szoftveren az adatgyűjtés indítása.
7. A tehergépkocsi lassú előrehaladása közben az adatgyűjtő szoftver rögzíti a digitális mérőórák, valamint a távolságmérő szenzor mérési adatait.
8. A tehergépkocsi 5 m-es előrehaladását követően az adatgyűjtés automatikus leállítása.

A mérőeszköz tehát a burkolat egy pontjának függőleges elmozdulását rögzíti oly módon, hogy az elmozdulásmérő órák minden „leolvasásához” hozzárendeli az elektronika a kerékterhelés távolságát is. Az így nyert adatsor megfelelő előfeldolgozását követően előállítható a behajlási teknő alakja.

4.6.2.1. Hardverelemek

A Benkelman-tartóra szerelt digitális mérőóra típusának kiválasztásakor a következő szempontokat vettük figyelembe:

- Legalább 0,01 mm felbontás.
- Minimum 10 Hz mérési frekvencia.
- Minimum 25 mm mérési tartomány.
- Nyílt formátumú digitális adatkimenet.
- Robusztus, kültéri mérésekre alkalmas kialakítás.
- Az analóg mérőóráinkkal megegyező átmérőjű (8 mm) szár.
- Kedvező ár.

A piacon elérhető kínálat tanulmányozását követően választásunk a Mitutoyo cég ID-U típusú mérőórájára esett. A Mitutoyo cég a precíziós mérőeszközök egyik vezető gyártója, az ID-U mérőóra a felsorolt követelményeknek teljes mértékben megfelel. A mérőóra digitális adatkimenettel rendelkezik, a mellékelt adatkábelek végén szabványos csatlakozókkal lehet az eszközt a cég által gyártott, vagy saját fejlesztésű adatgyűjtőhöz kötni. A Mitutoyo cég DIGIMATIC néven kifejlesztett digitális adatcsereformátuma jól dokumentált, könnyen kezelhető. A kommunikáció hardveres megvalósítása – logikai jelszintek, időzítés, külső vezérelhetőség stb. – lehetővé teszi a szenzor saját fejlesztésű mikrokontrolleres környezetbe történő illesztését. A tehergépkocsi előrehaladását egy SRF-08 típusú ultrahangos távolságmérő szenzorral rögzítjük. A szenzor fontosabb jellemzői:

- 10 mm-es felbontás.
- 0,3–6 m mérési tartomány.
- Nagy mintavételezési gyakoriság (> 20 Hz).
- I₂C szabványú kommunikáció.
- Alacsony ár.

A szenzort a következőkben bemutatott központi adatgyűjtő egység műszerházában kapott helyet. A központi adatgyűjtő és vezérlő egység egy Microchip 18F2550 típusú mikrokontroller köré épül. A műszeregyüttes központi egységének feladatai:

- USB HID szabványú kommunikációs protokollon keresztül kapcsolat fenntartása, adatcsere a PC-n futó adatgyűjtő szoftverrel.



4.21. ábra. Digitális elmozdulásmérő óra és központi adatgyűjtő-vezérlő egység távmérővel.

- A digitális elmozdulásmérő órák és a távolságmérő szenzor méréseinek szinkronizált indítása 10 mérés/mp gyakorisággal.
- A szenzorok mérési eredményeinek fogadása, átalakítása.
- A mérési eredmények továbbítása az adatgyűjtő szoftver felé.

Az adatgyűjtő-vezérlő egység tápellátása a csatlakoztatott PC USB portjáról történik. A mikrokontroller és a köré épített alkatrészek egy saját tervezésű és kivitelezésű nyomtatott áramkört foglalnak helyet. A mikrokontrolleren futó programot (firmware-t) a Microchip MPLAB fejlesztőeszköz oktatási verziójával, C nyelven készült el. A vezérlő egység próbaváltozata egy műanyag műszerházban kapott helyet, amelyet gyorscsatlakozóval fényképezőgép-állványra lehet rögzíteni. Az adatgyűjtő szoftvert egy *Vye* típusú érintőképernyős netbook futtatja. A mérőgerendára felszerelt mérőórát és a központi adatgyűjtő-vezérlő egységet távmérővel a 4.21 ábra mutatja be.

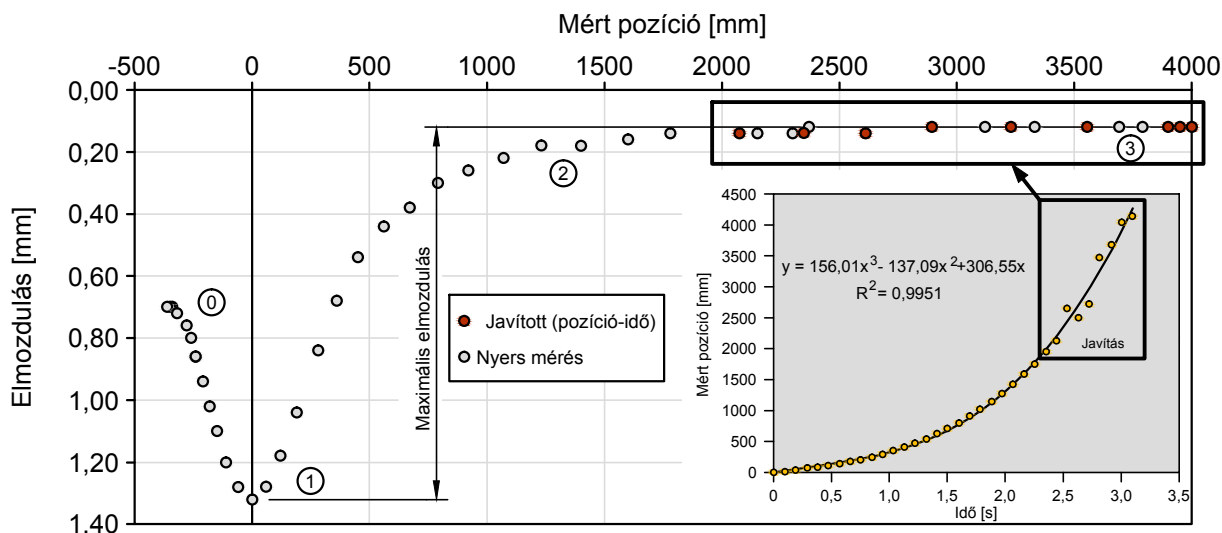
4.6.2.2. Szoftverelemek

A mérések terepi kivitelezésénél a netbookon futtatott program a vezérlést, a mért adatok előfeldolgozását és a mérési eredmények tárolását támogatja. A mérési eredmények irodai feldolgozásának támogatásához írt program az alábbi funkciókat nyújtja:

- A mérési adatsor kiegyenlítése.
- A behajlási teknő alakját jól leíró, a mechanikai számításoknak megfelelő függvény numerikus meghatározása.
- Az illesztett függvények segítségével a behajlási teknő alakjára, illetve a teherbírásra jellemző paraméterek (behajlási teknő hossza, inflexió pont helye, minimális görbületi sugár, központi deformáció, alaktényező) meghatározása.

A szoftverfejlesztések 3.5 verziójú Microsoft .Net keretrendszerben, C# nyelven, Visual Studio 2008 fejlesztőeszköz segítségével valósultak meg. A szoftverben felhasznált algoritmusok és azok elméleti alapjai később kerülnek ismertetésre.

A továbbfejlesztett kézi behajlásmérő első gyakorlati alkalmazása a Kisalföldi Erdőgazdaság Zrt. Ravazdi erdészetének Hármastarjáni másodosztályú erdészeti feltáróútján történt meg. A behajlásmérést mindkét keréknyomban 50 méterenkénti mintavételezéssel hajtottuk végre. Mind a mérőeszköz prototípusa, mind a mérési eljárás bizonyította, hogy alkalmas üzemszerű körülmények közötti használatra. A mérések időigényét vizsgálva megállapítható, hogy az eljárással 50 méterenkénti mintavételezéssel kb. 1 km hosszúságú útszakasz mérhető meg egy óra alatt (Markó et al., 2010).



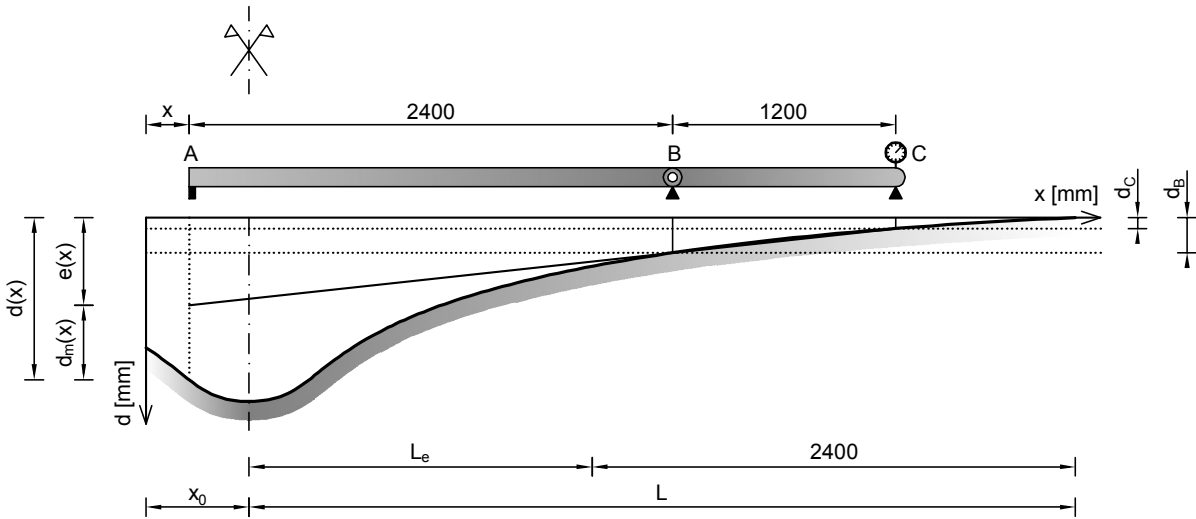
4.22. ábra. Az ABBA mérőeszközzel rögzített deformációs vonal és annak javítása.

4.6.2.3. A mérési eredmények előfeldolgozása

Az ABBA kézi behajlásmérő általános ismertetése után célszerű a rögzített adatsorok tulajdonságait is áttekinteni. Az adatgyűjtő szoftver a mérések alatt rögzíti a digitális mérőórák által „leolvasott” elmozdulásokat (d), rögzíti a kerékterhelés pillanatnyi távolságát (x), valamint a mérés indítása óta eltelt időt (t). A rögzített behajlási teknő alakját az $f : x \rightarrow d$ függvénykapcsolat egyértelműen meghatározza. Egy konkrét mérési adatsort mutat be a 4.22 ábra. A nyers adatsoron jól végigkövethető a mérés menete. A mérés alatt a kézi behajlásmérő mérőcsúcsa nem a kerék felfekvési vonalában, hanem az előtt helyezkedik el kb. 40–50 cm-re. A mérés indításakor a kerékterhelés hatására először a pályaszerkezet fokozatosan növekvő alakváltozást szenved (0-1), majd amikor a mérőcsúcs fölé ér, eléri az alakváltozás a maximumát (1). Ahogy a kerék továbbhalad a mérőcsúcson, a pályaszerkezet fokozatosan visszanyeri eredeti alakját (2-3). Az így kialakuló deformációs vonalat a mérőeszköz 5 m hosszan képes rögzíteni. Átlagosan 20–25 cm-enként történik egy leolvasás és így kb. 20–25 mérési pont áll elő a mérés végén. Ez jóval nagyobb pontszám mint amit az FWD készülékek képesek felvenni.

A nyers mérési adatok határozott trend mellett kisebb-nagyobb mértékben ingadoznak, vagyis zaj terheli őket. A zaj elsősorban a mérőszenzor működése közben kiadott jelben megjelenő véletlenszerű ingadozás, melyet nem a mérendő tulajdonság változása, hanem a szenzor működése vált ki. A behajlási teknőt leíró adatpárok (x, d) mindkét tagját tehát mérési hiba terheli, aminek a mértéke az adott paramétert rögzítő szenzor jellemzőitől függ. A rögzített három paraméter közül az idő (t) mérése a legmegbízhatóbb, ezután következik az elmozdulás (d), végül pedig a mozgó kerékterhelés (x). A zajszűrést tehát az x paraméter vizsgálatával célszerű kezdeni. Az ultrahangos távolságmérés javítására a mérést jellemző út-idő $f : t \rightarrow x$ diagram ad elvi lehetőséget. Az út-idő diagram, az idő függvényében a kerékterhelés által megtett út szemléletes ábrázolása (4.22 ábra). Jól végigkövethető rajta, hogy a mozgó kerékterhelés folyamatos gyorsulást végez. A teljes terhelési idő 3 másodperc körüli, azaz a kerékebesség átlagosan 5 km/h. Ez az érték hasonló a Lacroix-mérőkocsik mérősebességéhez, ezért a mérés ideje alatt a terhelés jellege nem statikus, hanem kvázi statikus. Az is megfigyelhető, hogy az ultrahangos távmérő utolsó 5–10 rögzített értéke (keretezett rész az ábrán) hibával terhelt, így azokat érdemes a teljes mérési sorra illesztett regressziós függvényvel vagy spline görbével helyettesíteni. Ezzel a módszerrel viszonylag megbízhatóan lehetséges a távmérésből eredő hibákat kiszűrni és azokat javítani (lásd. 4.22 ábra javított értékeit).

A kézi behajlásmérők alátámasztásának elvileg olyan távol kell lennie a terhelt gumiabroncsoktól, hogy az alátámasztás a pályaszerkezet mozgásában már ne vegyen részt (Boromisza,

4.23. ábra. A mérőkar alátámasztásából származó talphiba (e).

1959). Ellenkező esetben a mért értékeket egy ún. talphiba (e) terheli (4.23 ábra). Hazai viszonylatban is megerősített tapasztalatok alapján a vékony pályaszerkezeteknél az ebből származó hiba jelentős mértékű lehet (Kosztka, 1978). A vázolt probléma miatt terjedtek el világszerte a 2:1 arányú mérőkarral rendelkező Benkelman-tartók. Az ilyen kialakítású berendezéseknél a mérőcsúcs (A) és a talppont (B) közötti távolság kétszerese a talppont (B) és a mérőóra (C) közötti távolságnak. Ez a túlnyújtás általában elég arra, hogy a lábak deformációmentes helyre kerüljenek, a műszer hossza pedig még nem befolyásolja a kezelhetőséget (Kosztka, 1986). Minden ilyen irányú fejlesztés ellenére a talphibával továbbra is számolni kell, mivel annak mértéke a pályaszerkezetekre jellemző ún. *együttdolgozó hossz* nagyságától függ (Boromisza, 1959). Ez az érték pedig igen tág határok között változhat. A továbbfejlesztett kézi behajlásmérő a terhelés hatására kialakuló deformációs vonalat 5 m hosszon képes rögzíteni, így lehetőség nyílik a talphiba becslésére mérési pontonként:

$$e(x) = (d_B(x) - d_C(x)) \frac{3600}{1200} + d_C(x) \quad (4.25)$$

ahol:

$e(x)$ = a mérőcsúcsból x távolságban jelentkező talphiba mértéke [mm].

$d_B(x)$ = a talppontnál mért elmozdulás [mm].

$d_C(x)$ = a mérőóránál mért elmozdulás [mm].

3600 = a behajlásmérő teljes hossza [mm].

1200 = a behajlásmérő B és C pontjának távolsága [mm].

A mérőcsúcs alatt, vagyis az $x = 0$ helyettesítés után a fenti összefüggés a következő alakra egyszerűsödik:

$$e_0 = 3d_B - 2d_C \quad (4.26)$$

A talphiba figyelembevételére a behajlási teknő L_e hosszúságú, talphibával terhelt szakaszán van szükség. A talphiba figyelembevételével számítható a lehajlási vonal x koordinátájú pontjának korrigált értéke:

$$d(x) = d_m(x) + e(x) \quad (4.27)$$

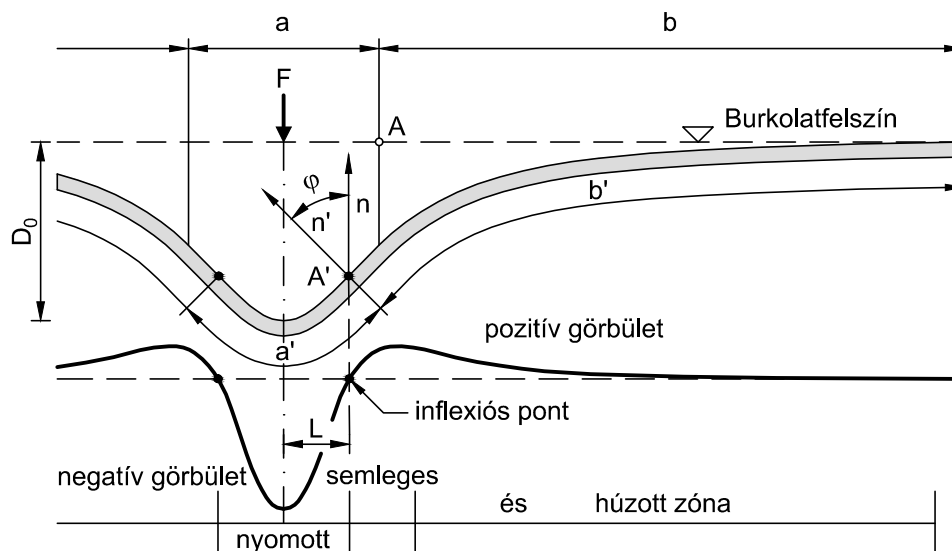
ahol:

$d(x)$ = a behajlás értéke, ha a terhelés tengelye a mérőcsúcsból x távolságra van [mm].

$d_m(x)$ = a mért behajlás a mérőcsúcsból x távolságra [mm].

$e(x)$ = a mérőcsúcsból x távolságban jelentkező talphiba mértéke [mm].

A talphibával korrigált mérési adatsor már alkalmas arra, hogy további elemzéseket hajtsunk végre.



4.24. ábra. A deformációs vonal geometriája.

4.7. A deformációs vonal geometriai leírása

4.7.1. Geometriai jellemzők

Az útpályaszerkezet felszínén – a kerékterhelés hatására – behajlási teknő alakul ki a gumiabroncs alatt, amely a terheléssel együtt mozog. Ahogyan a terhelés alatti behajlás nagyságát, úgy a behajlási vonal alakját is az útpályaszerkezet felépítése befolyásolja. Ezért a kialakuló deformációs vonal jól modellezhető a már bemutatott pályaszerkezet modellek numerikus megoldásával. Megfordítva a gondolatot, a rögzített deformációs vonal segítségével egyes pályaszerkezet rétegekről (kötött – nem kötött rétegek) többlet információ nyerhető. Ehhez azonban meg kell ismerkedni a deformációs vonal alapvető geometriai jellemzőivel. A terhelés hatására kialakult behajlási teknő – az elmozdulások alapján – három szakaszra bontható, úgymint nyomott zóna, semleges zóna és húzott zóna.

A 4.24 ábra mutatja be a behajlási teknő három jellegzetes zónáját, valamint a görbület változását. A nyomott zónában a pályaszerkezetet alkotó elemi részecskék egymáshoz közelebb kerülnek, vagyis az a távolság összenyomódik a' távolsággá. Ebben a szakaszban a terhelés tengelye alatt a behajlási teknőnek negatív görbülete alakul ki. A nyomott zóna egy 300 mm sugarú körívben belül helyezkedik el általában. Ez a szakasz hozható kapcsolatba a felület görbületi indexel (SCI) amely a kötőréteg fáradását mutatja (Fazekas, 1978).

A negatív görbület a terhelés tengelyétől távolodva fokozatosan csökken, majd a semleges zónában (inflexió) már további relatív elmozdulás nem következik be viszont az n vertikális n' helyzetbe kerül. Mivel a φ szög A' pontban eléri maximális értékét, a legnagyobb elfordulások itt lépnek fel. Ezt a pontot nevezik inflexió pontnak. Ennek a pontnak a pontos helye nagymértékben függ a pályaszerkezet típusától, felépítésétől és állapotától. Általában 300 és 600 mm között helyezkedik el a terhelés tengelyétől számítva. Az inflexió zóna a felső alaprétegek jellemzésére használható, és az alapréteg tönkremeneteli indexel (BDI) hozható kapcsolatba.

A behajlási teknő harmadik szakaszában a részecskék egymáshoz viszonyítva eltávolodnak, vagyis a b távolság megnyúlik b' távolsággá. A görbülete pozitív irányba megy át és a behajlási teknő fokozatosan hozzásimul az eredeti burkolatfelszínhez, ahol már nem mérhető további elmozdulás. A harmadik szakasz általában 600 és 2000 mm között helyezkedik el a terhelés tengelyétől számítva. Tényleges nagysága a burkolat típusától és vastagságától, valamint az ágyazat (földmű) reakciójától függ elsősorban. Ez a szakasz az alsó alaprétegek és a földmű jellemzésére használható, jellemzője az alapréteg görbületi index (BCI).

4.7.2. A deformációs vonal közelítése függvényekkel

A teherbírás megítéléséhez szükséges behajlásméréskor a terheléstől csak bizonyos távolságokra mérjük és rögzítjük a kialakult elmozdulásokat. Ez szükségessé teszi, hogy a diszkrét mérési pontokra függvényt illesszünk és így teljes képet kapjunk a kialakult elmozdulásokról. A deformációs vonal alakját leíró függvények alkalmazása azért is célszerű, mert viszonylag egyszerű számításokkal lehetséges azokat a geometria tulajdonságokat meghatározni, amelyek a terhelt pályaszerkezet szempontjából fontosak.

A bányászat hatására kialakuló felszíni süllyedések miatt (pl. alagútépítés) már korán kidolgoztak összefüggéseket a jelenség leírására. A legtöbb szerző (*Aversin, Martos, Beyer, Bals*, stb.) a *Gauss*-féle haranggörbéhez hasonló függvényalakot javasolt (Fazekas, 1978). Útpályaszerkezetek deformációs vonalának leírására Hothan és Schäfer (2004) összefoglaló munkájában találhatunk javaslatokat.

Hossain és Zaniewski (1991) a külső terhelés hatására kialakuló alakváltozás közelítésére exponenciális függvényt használt fel:

$$D(x) = ae^{bx} \quad (4.28)$$

ahol:

x = távolság a terhelés középpontjától.

a és b = paraméterek.

Vizsgálataik alapján a felsőbb és merevebb rétegek hatása az a paraméter csökkenésében, míg a mélyebben fekvő nagyszilárdságú rétegek hatása a növekvő b értékben mutatkozik meg. Az a és b együtthatók tehát az útpályaszerkezet szilárdsági jellemzőinek függvénye. Az exponenciális függvény magas korreláció mellett képes az FWD méréseket közelíteni, de a behajlási teknő természetes alakját nem tudja visszaadni. Alkalmazása ezért még magas korreláció mellett sem helyes.

Jendia (1995) kísérletet tesz a teljes deformációs vonal leírására oly módon, hogy a deformációs vonal középső tartományában ($0 \leq x \leq r$) az exponenciális függvényt egy hatodfokú polinommal helyettesíti:

$$D(x) = \begin{cases} c_3x^6 + c_2x^4 + c_1x^2 + c_0 & 0 \leq x \leq r \\ ae^{bx} & x \geq r \end{cases} \quad (4.29)$$

Az ismeretlen paraméterek közül Jendia először az a és a b értékét határozza meg. A függvények kapcsolódási pontjánál a második derivált azonosságát, vagyis a görbület folytonosságát írja elő. Ezért három kényszerfeltétel áll szemben a c_3 , c_2 , c_1 és c_0 paraméterrel. Az utolsó független változót az FWD készülék második illetve harmadik szenzorán mért értékek és a számított elmozdulások különbségének minimalizálásával, iteratív módon állítja elő. Jendia módszere a magas számításigényéhez képest is csak alacsony egyezést képes elérni az adatpontokkal (4.25 ábra).

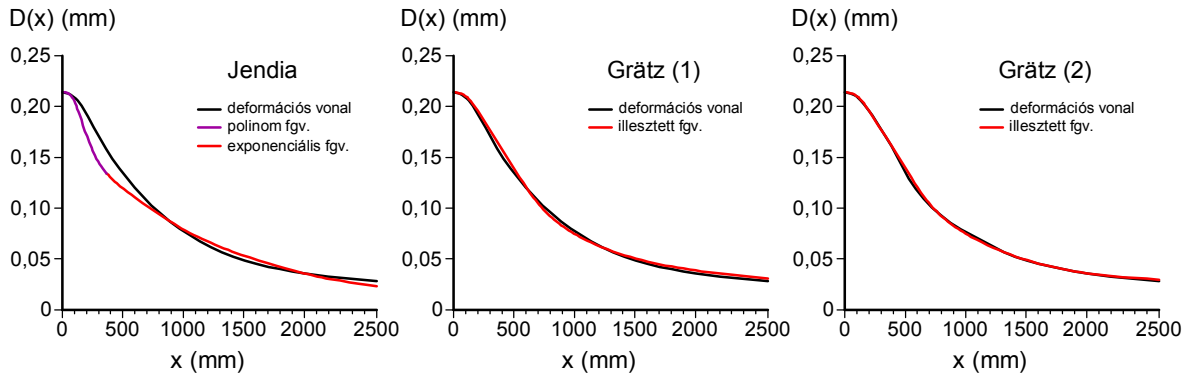
Grätz (2001) a behajlási teknő leírását egyetlen összefüggéssel teszi lehetővé:

$$D(x) = \frac{w_a + w_b x^2}{1 + w_c x^2} \quad (4.30)$$

A javasolt racionális törtfüggvény² segítségével a teljes teknőt jellemző három együttható kifejezhető (4.25 ábra. Grätz (1)). A mért eredményekkel való egyezés tovább növelhető, ha a polinom fokszámát a negyedik hatványra növeljük:

$$D(x) = \frac{w_a + w_b x^2 + w_c x^4}{1 + w_d x^2 + w_e x^4} \quad (4.31)$$

²A racionális törtfüggvény a valós számok halmazának olyan önmagára való leképezése, amelyben a hozzárendelést két polinom hányadosával adjuk meg.



4.25. ábra. Eltérő függvényillesztések összehasonlítása (Hothan és Schäfer, 2004).

A módosított racionális törtfüggvénnyel magasabb korreláció érhető el, de az egyenlet együtthatóiból a rétegparaméterekre nem lehet következtetni, mivel a koefficiensek különbözőképpen függenek az összes rétegtől (4.25 ábra. Grätz (2)). A gyakorlat számára a deformációs vonal leírására olyan függvényalak alkalmazása célszerű, amelynek segítségével levezethető olyan tekhnőparaméter ami az útpályaszerkezet egy speciális rétegét jellemzi (pl. görbületi sugár).

Dähmert (2005) dolgozatában két függvényalakot mutat be a francia irodalomból (Ph. Leger és P. Autret), amik jó egyezést mutatnak az elméleti deformációs vonallal:

$$D(x) = D_0 e^{-(x^2 b)} \quad (4.32)$$

és

$$D(x) = D_0 \frac{a}{x^2 + a} \quad (4.33)$$

ahol:

D_0 = maximális elmozdulás a terhelés tengelyében.

A 4.33 összefüggést eredetileg a Lacroix-mérések feldolgozásához fejlesztették ki. Szerkezetében pedig az *Agnesi*³-féle (ejtsd: Anyeszi) síkgörbéhez hasonló (Scharnitzky, 1989).

Cser (1961) már közvetlenül a kerékterhelés alatt kialakuló deformációk modellezéséhez használja fel a 4.33 összefüggést $a = 3r^2$ helyettesítés mellett:

$$D(x) = D_0 \frac{3r^2}{x^2 + 3r^2} \quad (4.34)$$

ahol:

r = az egyenletesen megoszlónak és köralakúnak vett terhelt felület sugara.

A görbének a terhelés szélén ($x = r$) inflexiós pontja van. Az összefüggés csak korlátozottan képes követni a kialakuló deformációkat, mivel az inflexiós pont rögzített.

4.7.2.1. A deformációs vonal regressziós közelítése

A diszkrét pontokkal rögzített behajlási tekhnő regressziós közelítése a mérési eredmények feldolgozásának és kiértékelésének alapfeltétele, és bár számos lehetséges eljárás áll már rendelkezésre, hasznos lehet ezek újragondolása. A közelítő függvény kiválasztásakor fontos szempont, hogy karakterisztikáját tekintve legyen hasonló a kialakuló deformációs vonalhoz. Az FWD készülékek méréseiből a terhelés tengelyétől 30 cm-re eső szakaszcsontról csak kevés információ nyerhető. Az ABBA mérőeszköz sűrűbb mintavételezése viszont már jól szemlélteti a deformációs tekhnő természetes alakját. A helyes zajszűréshez ezért olyan függvénycsalád szükséges, amely ennek

³Maria Gaetana Agnesi (Milánó, 1718. május 16. – Milánó, 1799. január 9.) olasz nyelvész, matematikus és filozófus, a Bolognai Egyetem tiszteletbeli tagja.

a leginkább megfelel. A Cser (1961) által javasolt függvény (4.34) módosításával feloldható az inflexiók pontra vonatkozó megkötés ($x = r$) és így a kialakuló deformációkat még pontosabban lehetséges követni (Primusz és Tóth, 2009):

$$D(x) = D_0 \frac{4r^2}{\alpha x^\beta + 4r^2} = D_0 \frac{d^2}{\alpha x^\beta + d^2} \quad (4.35)$$

ahol:

$d =$ a köralakú terhelt felület átmérője, $d = 2r$.

α és $\beta =$ alaktényező paraméterek.

A fenti függvényalak nem teljesen ismeretlen a geotechnikában, hiszen a *Bendel*-féle süllyedésszámítás is alkalmazza azt, a z mélységben fekvő vízszintes metszet feszültségi állapotának leírásához. Az α paraméter az altalaj összenyomhatóságát jellemző tényező, β pedig a talpfeszültség-eloszlásra jellemző merevségi szám (Széchy, 1957).

A felállított modell a terhelés tengelyében a maximális elmozdulást egyértelműen felveszi, míg a terhelés tengelyétől távolodva fokozatosan tart a nullához, vagyis a két elméleti peremfeltétel kielégül. A függvény az alaktényezőkön kívül tartalmazza még a terhelt tárcsa sugarát (r), mint paramétert. Ennek megléte pedig több mint az illeszkedés fokát javító függvénybővítés, mivel az alkalmazott tárcsa a merevsége és mérete függvényében adja át a pályaszerkezetre a külső terhelést, a létrejövő feszültségek pedig közvetlenül befolyásolják a behajlási teknő alakját.

Modellezés szempontjából a legkényesebb pont a $0 \leq x \leq r$ tartomány, vagyis a terhelő tárcsa alatti terület. Ennek alakját rendkívül sok tényező – a tárcsa merevsége, felfekvése, a felület érdessége, a pályaszerkezet típusa, a terhelés módja, stb. – befolyásolja, így a behajlási teknő alakja itt a legbizonytalanabb. Ezért a tárcsa alatti elmozdulások leírására a terhelés területén kívül fekvő elmozdulásokból kell kiindulni. Az α és β alaktényezők meghatározása az FWD vagy ABBA készülékek által rögzített elmozdulásokból – a legkisebb négyzetek módszerével – határozható meg. A számításhoz a 4.35 összefüggést először lineáris alakra kell hozni:

$$\log(\alpha) + \beta \log(x_i) = \log\left(\frac{D_0 d^2}{D(x_i)} - d^2\right) \quad (4.36)$$

A fenti formából már jól látható az egyenes egyenlete, így a következő helyettesítés elvégezhető:

$$b = \log(\alpha) \quad \text{és} \quad m = \beta \\ x_i = \log(x_i) \quad \text{és} \quad y_i = \log\left(\frac{D_0 d^2}{D(x_i)} - d^2\right)$$

ahol $i = 1, 2, \dots, n$ a szenzortávolságok és a mért behajlásértékek sorszámát jelenti. Behelyettesítve a fenti egyenletbe kapjuk az $y_i = mx_i + b$ alakú egyenes egyenletét. A regressziószámítás során a tárcsa alatti D_0 behajlásértéket nem vesszük számításba ($i \neq 0$), mivel azon a függvény egyértelműen áthalad. Az illeszkedés mértéke a determinációs együtthatóval (R^2) vagy az RMSE (Root Mean Square Error) tényezővel becsülhető:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \left(\frac{D_i - d_i}{d_i}\right)^2} \cdot 100\% \quad (4.37)$$

ahol:

$D_i =$ a számított függőleges elmozdulás az i . szenzornál.

$d_i =$ a mért függőleges elmozdulás az i . szenzornál.

$n =$ a szenzorok száma.

A gyakorlatban az 1%–3% közötti RMSE érték esetén fogadják el az illeszkedést. Természetesen a minél alacsonyabb RMSE érték tovább növeli a későbbi számítások pontosságát. Az így felparaméterezett függvény segítségével kijelthetőek a mérési hibák és zajok, valamint bármilyen teknőparaméter számítható, mivel a terhelés tengelyétől tetszőleges távolságban becsülhető az elmozdulás mértéke.

5. fejezet

A leromlási folyamat és az útfenntartás kapcsolata

5.1. Az útpályaszerkezetek általános leromlási modellje

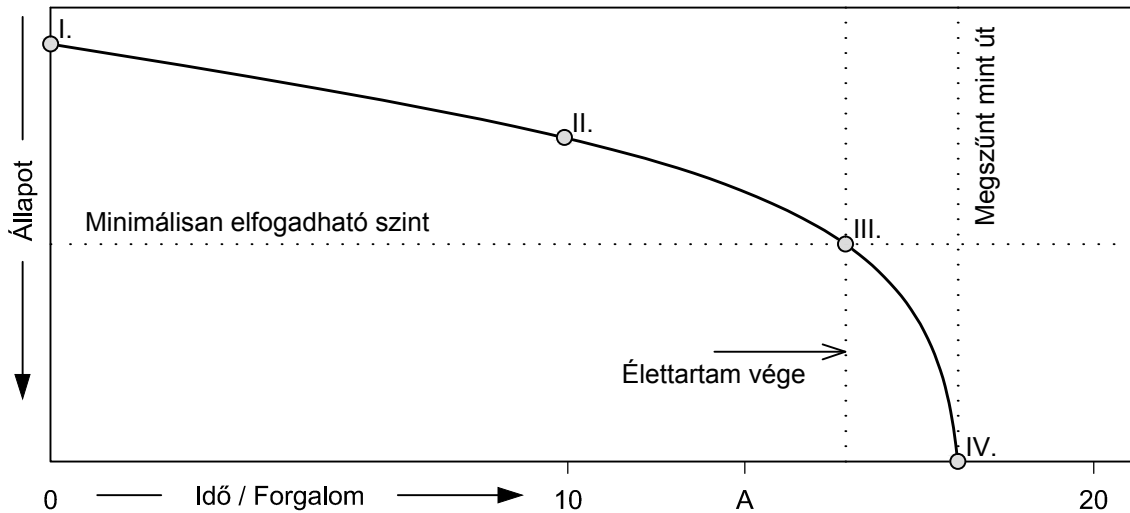
Az útpályaszerkezet állapota az idő függvényében változik. A pályaszerkezet leromlási folyamatát az 5.1 ábra szemlélteti. Az út maximálisan jó állapotának az átadás időpontjában meglévő állapotot tekinthetjük (I.). Ezután az idő múlásával a peremfeltételek (kivitelezés minősége, a forgalom nagysága és időbeni eloszlása, időjárás stb.) hatásának függvényében megindul az út fokozatos leromlása. A tönkremenetel folyamatában három szakaszt lehet elkülöníteni. A kezdeti időszakban (I.-II.) a leromlás folyamata lassú, az útfenntartás feladata ebben az időszakban a keletkező apróbb lokális hibák rendbetétele. A második szakaszban (II.-III.) a leromlás felgyorsul, a beavatkozások sűrűsége, mennyisége és sürgőssége is megnő. Ezt a szakaszt egy figyelmeztető tartománynak kell tekinteni, ami arra hívja fel a figyelmet, hogy az út állapotát valamilyen komolyabb karbantartási módszerrel helyre kell állítani. A harmadik szakaszban (III.-IV.) az út állapota rohamosan megy tönkre, azt megállítani már csak komolyabb, építés jellegű felújítással (pályaszerkezet rekonstrukció, új burkolat vagy kopóréteg építés stb.) lehet (Kosztka, 1988; Kosztka, 1990).

Annak érdekében, hogy később az útfenntartási költségeket is meg lehessen határozni, szükség van a burkolat állapotát jellemző paraméterek időbeni változásának előrebecslésére. Így, a burkolatállapot jellemzés információkhoz juttatja egyrészt a távlati tervezéssel foglalkozókat a hálózati szintű meghibásodások felmérése révén, másrészt a tervezőket a létesítmény részletes elemzésekor. Az előre becsülő modellekkel szemben támasztott főbb követelmények:

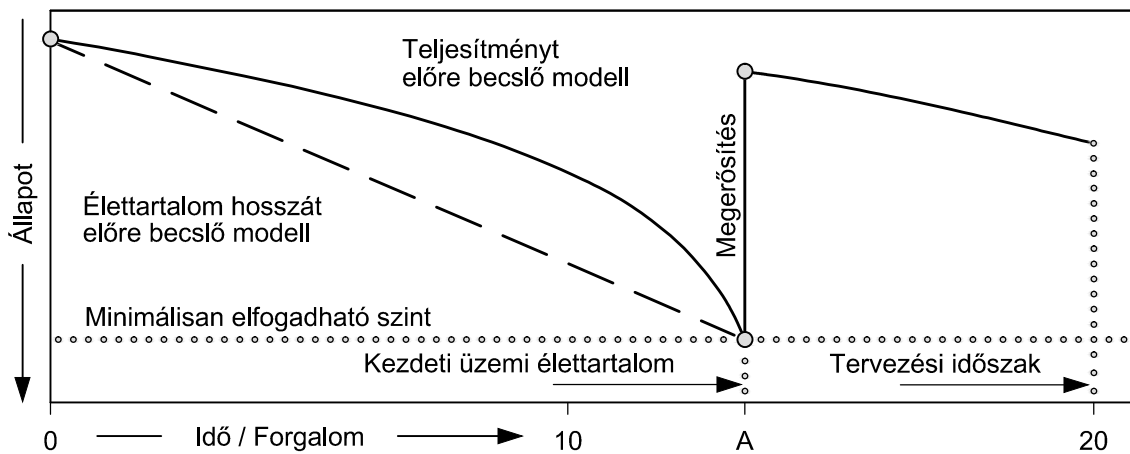
1. megfelelő adatbázis,
2. a leromlást helyesen leíró függvény,
3. a modell jóságát felmérő követelmény.

Számos statisztikai és analitikai eszköz áll rendelkezésünkre az előrejelzési modellek kifejlesztéséhez. Ezek legtöbbje korreláció vizsgálatokat, regresszió analízist vagy idősor modelleket, stb. tartalmaz. A gyakorlatban leginkább a mechanisztikus-empirikus és a regressziós leromlási modellek terjedtek el. Fontos, hogy a modell kialakításához „történeti” adatokat használjunk fel, valamint az, hogy pontosan fogalmazzuk meg elvárásainkat a modellel szemben (Gáspár, 2003).

Az útpályaszerkezetek teljesítményét (performance) az egész élettartamra, vagyis a tervezési időszakra szokták előre becsülni az útgazdálkodási rendszerek. Ennek a teljesítőképességnek a jellemzésére több eltérő teljesítmény mérőszámot (performance indicator) is kidolgoztak. Az útpályaszerkezetek teljesítményét tehát többféle állapotparaméter szerint lehetséges megfogalmazni. Ezek közül a legtöbb pályaszerkezet-gazdálkodási rendszer a következő négy burkolatállapot jellemzőt veszi figyelembe: használhatóság (járhatóság), teherbírás (szerkezeti megfelelő



5.1. ábra. A pályaszerkezet leromlási folyamata.

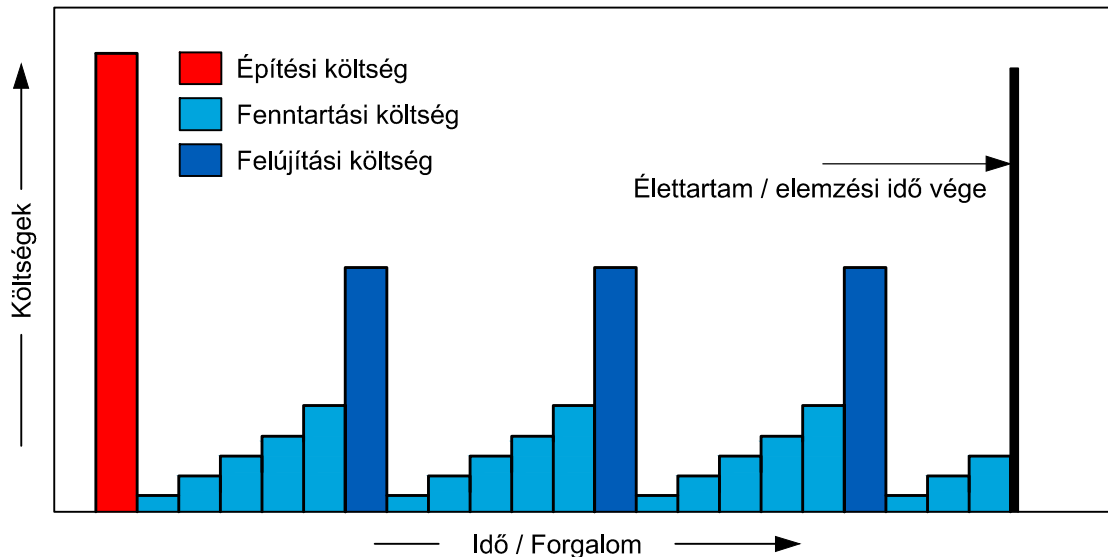


5.2. ábra. Az élettartalmat és a teljesítményt előre becsülő modell felépítése.

ség), felületi hibák és biztonsági paraméterek (keréknyomvályú, súrlódási együttható, stb.). A használhatósági teljesítmény rendszerint a burkolat általános funkciójával hozható kapcsolatba (járófelület állapota) és ezért főleg az úthasználók számára érdekes. Ugyanakkor az útpályaszerkezetek mechanisztikus értékelése (teherbírás) az útgazdálkodással foglalkozó mérnökök számára nélkülözhetetlen. Fontos a két fajta jellemzéstípus közötti különbség megértése. A használhatóság a jelenlegi állapotot, a mechanisztikus vagy szerkezeti megfelelőség pedig a burkolatnak a terheléssel (forgalommal) szembeni jövőbeli reakcióját jellemzi. Az 5.2 ábra egy általános teljesítményt előre becsülő modell felépítését mutatja be.

5.2. A pályaszerkezet-gazdálkodás általános költségmodellje

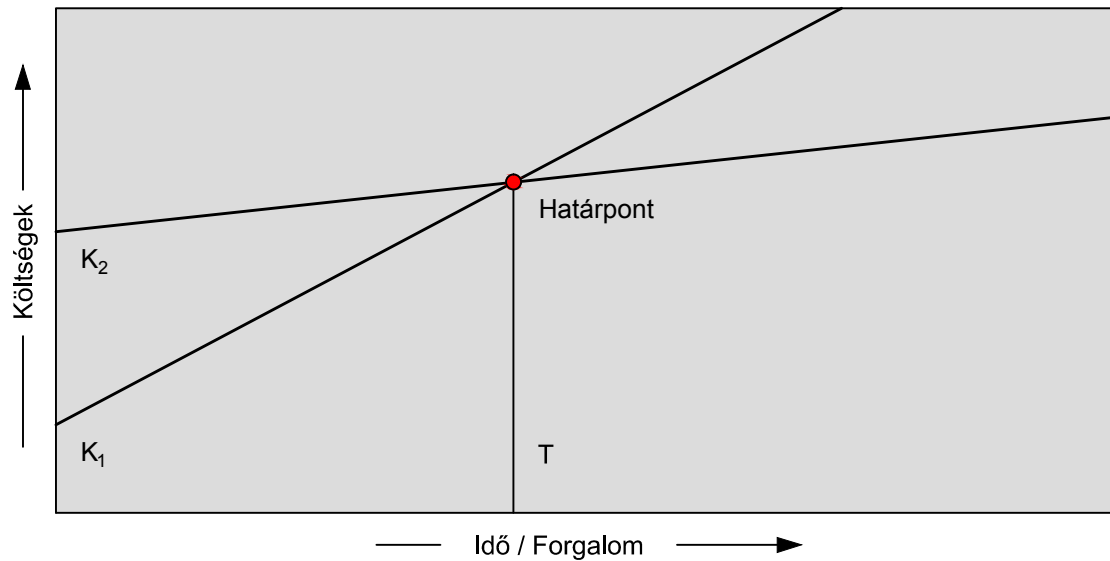
A burkolatleromlás folyamatának ismeretében lehetőségünk nyílik arra, hogy olyan hosszútávra is elfogadható alapelveket fogalmazzunk meg, melyek segítségével az útfenntartás a kitűzött célokat eléri. Mindehhez azonban feltétlenül szükséges, hogy megismerjük az egyes beavatkozások előnyeit és hátrányait a leromlási folyamatban. Ehhez nyújt megfelelő segítséget a pályaszerkezet-gazdálkodás költségmodellje. A modell általános működését az 5.3 ábra szemlélteti. Látható, hogy a pályaszerkezet építési évében jelentkezik a legnagyobb költség, mely magában foglalja az előkészítést, a tervezést és a kivitelezést (anyag, munka, energia) összes kiadá-



5.3. ábra. Pályaszerkezet-gazdálkodás költségmodellje.

sát. Ennek fejében viszont itt nyújtja a pályaszerkezet a maximális teherbírást és szolgáltatási színvonalát.

Ebből következik, hogy a kiindulási állapot fenntartásához szükséges költségek az első szakaszban a legalacsonyabbak, ezért igyekezni kell, hogy ott minden keletkező hibát kijavítsunk, mert így a hibák elfajulását megakadályozhatjuk, végeredményben a leromlás folyamata lelassítható. Az idő előrehaladtával azonban a létesítmény állapota folyamatosan romlik, veszít teherbírási és kapacitási képességéből. Így a második szakaszban már jelentősebb költségeket emészt fel a szükséges tevékenységek elvégzése. Az eredeti állapothoz közeli teljesítmény fenntartásához az évente szükséges költségek nagysága fokozatosan nagyobbá válik (5.3. ábra III. pont). Van egy határ, amely felett ez a költség már nem vállalható ezért lényegibb beavatkozást kell végrehajtani, következik a felújítás. A III. pontot ezért határértéknek tekinthetjük, amely azt az állapotot jelöli amikor a beavatkozást még gazdaságosan végre lehet hajtani, ez alatt nagy költségű beavatkozásra – új szerkezet létrehozására – van már szükség. A beavatkozás idejéről és mértékéről mind a mai napig tapasztalati alapon vagy közgazdasági nyomás hatására döntenek. Azonban az így meghatározott fenntartási és/vagy beavatkozási ciklusok általában élettartalom csökkenést okoznak a tudatosan megtervezett gazdálkodással szemben. Így már a pályaszerkezet tervezésének időszakában szükséges mérlegelni az építési költségek és az éves fenntartási költségek arányának időbeli alakulását. A nagyobb forgalomra vagy élettartalomra méretezett pályaszerkezet ugyan nagyobb építési költségeket von maga után, de egyúttal alacsonyabb fenntartási költséget is jelent. Az elmondottakat a gazdaságos túlméretezettség fogalma valósítja meg, mely tudatos tervezői lépés. Az összegzett költségek alakulását az 5.4 ábra mutatja be, az éves inflációt elhanyagoló esetre. A T időpont (határpont) elhagyása után a K_1 építési költségű pályaszerkezet folyamatosan egyre gazdaságatlanabbá válik, míg a magasabb színvonalon megépített (K_2) szerkezet már alacsonyabb összköltséget eredményez. Látható, hogy a modell ismerete már az egyes projektek előkészítése és tervezése közben is szükséges. Az elmondottak alapján a pályaszerkezet-gazdálkodás költségmodellje nyilvánvalóan szoros kapcsolatban áll a burkolatleromlás folyamatával. Célszerű ezért a jelentkező hasznokat és költségeket ennek megfelelően megfogalmazni. A következőkben erre teszünk kísérletet.



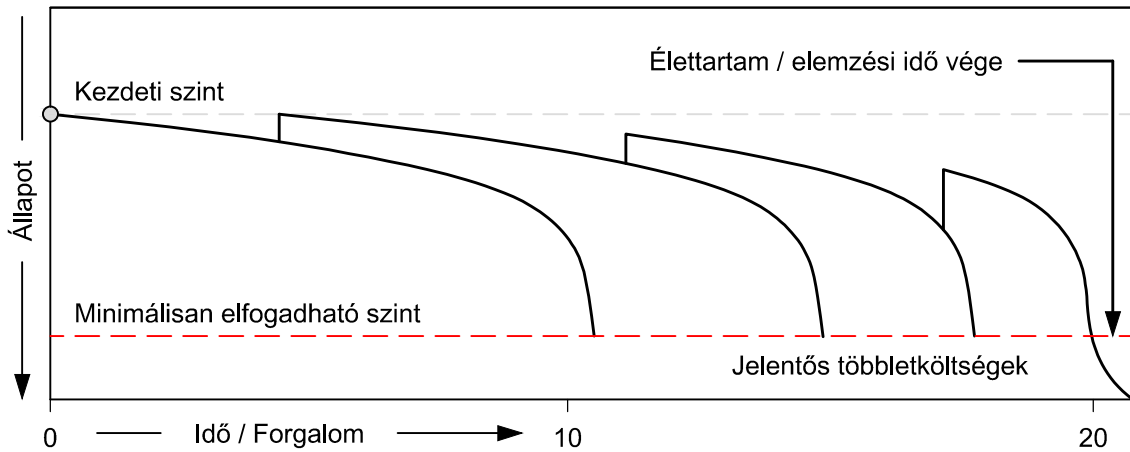
5.4. ábra. Az összegzett építési és fenntartási költségek alakulása, eltérően méretezett pályaszerkezetek esetében.

5.3. Pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiák

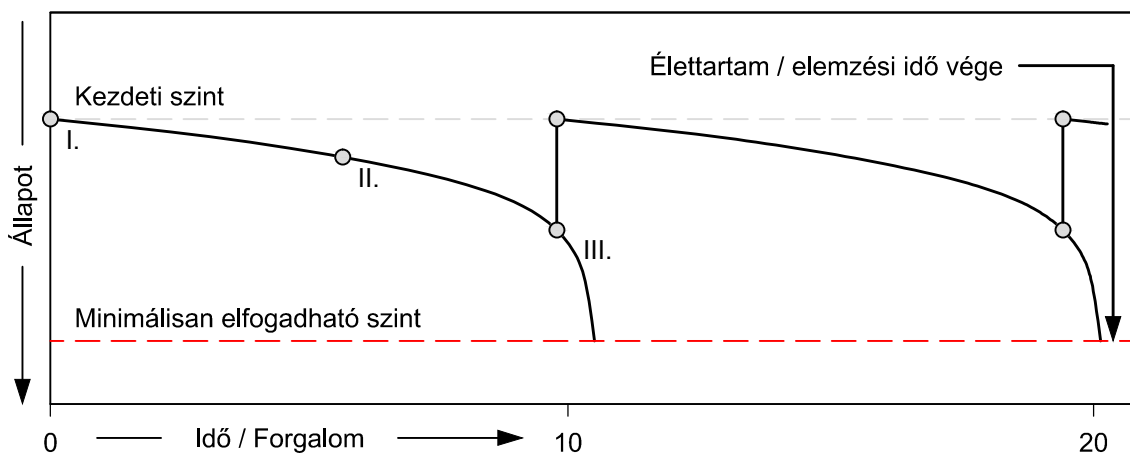
Általánosnak mondható, hogy a rendelkezésre álló források a reálisan igényelt szinttől jelentős mértékig elmaradnak. Ilyenkor a forgalombiztonsági szempontból sürgős beavatkozások előtérbe kerülése miatt a rutinfenntartás gyakran visszaszorul, esetenként teljes mértékben elmarad a hálózat jelentős hányadán. Ennek pedig a következő időszakban a vártnál gyorsabb leromlás lesz a következménye. Ha a rendelkezésre álló pénzmennyiség nem növekszik, akkor annak viszonylag még nagyobb hányadát kénytelenek nagyobb szabású fenntartásra, illetve felújításra fordítani, alig hagyva eszközöket a rutinfenntartásra. Így ez a leromlási ciklus egyre gyorsul (Gáspár, 2003). A fenntartás jövőbeni költségigényének megtervezése az útburkolat-gazdálkodás fontos eleme. Azt a koncepciót, amely meghatározza hosszú és rövidtávon egyaránt az útfenntartási tevékenységek szükségességét és módját, útfenntartási politikának nevezzük. Más módon megfogalmazva az útfenntartási politika az úthálózat egészét és a leromlás időbeni lefolyását figyelembe véve meghatározza hosszú távon az egyes utakon végzendő beavatkozások időpontját és módját (útfenntartási stratégia), illetve az utak pillanatnyi állapotát is figyelembe véve kijelöli a rövid távon szükséges konkrét beavatkozások helyét és módszerét (útfenntartási taktika) !!!!![Kosztka 83, 84, 90]. A beavatkozások sorozatát és az állapotváltozás összefüggéseit vizsgálva, alapvetően háromféle útfenntartási politika alakítható ki:

A szükséges beavatkozásokat általában spontán, nem tudatos tevékenység alapján végzik. Jellemző formája, hogy mindig ott avatkozik be ahol az a legégetőbb, de soha nem teremt olyan állapotot, amely hosszabb távon megnyugtató megoldást hozna. Mint az 5.5 ábrából is kitűnik, az ilyen jellegű útfenntartási politika eredményeként az út fokozatos leromlása csak állandóan végzett javítgatással akadályozható meg, vagy egyáltalán nem állítható meg. Az úthálózatot figyelembe véve ez a megoldás azt eredményezi, hogy a teljes hálózat leromlik, azon folyamatosan mindig javítgatni kell. Ez a politika az úthálózaton végzett rabló gazdálkodást jelenti (Kosztka, 2001).

Az útfenntartási politika második formájában már érvényesül a tudatosság (5.6 ábra). Eszerint mindig akkor kell beavatkozni, amikor az út állapota eléri a II.-III. pont közötti szakaszt. A beavatkozásnak olyan mélységűnek kell lenni, hogy az út állapota elérje az új út minőségével szemben támasztott igényeket. Ilyenkor az úton mindig csak építés jellegű beavatkozás folyik. Ez egy viszonylag kényelmes megoldásnak tekinthető akkor, ha rendkívül, erős pénzügyi háttérrel rendelkezünk, vagy olyan jelentőségű az út, hogy azon csak ritkán lehet munkát végezni (pl.



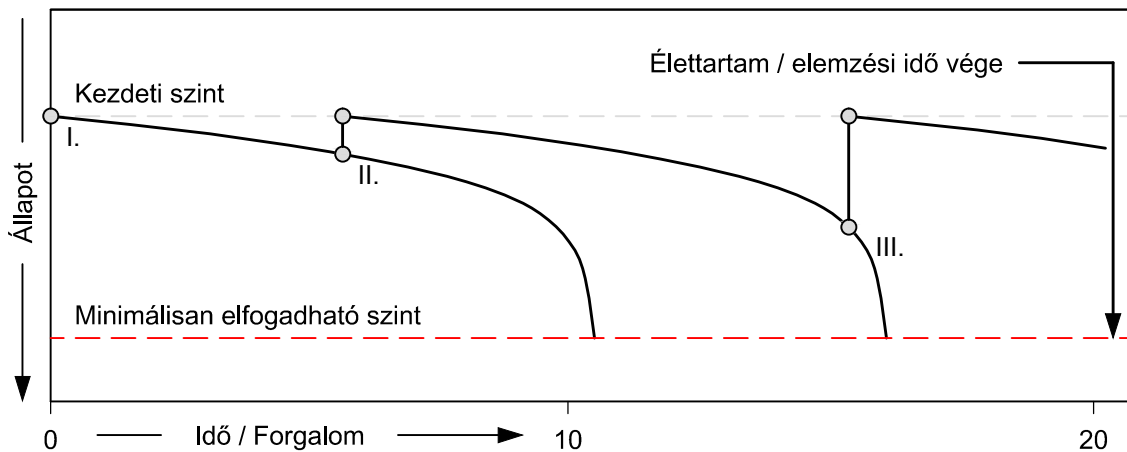
5.5. ábra. A spontán beavatkozásokon alapuló útfenntartási politika.



5.6. ábra. Nagyvonalú útfenntartási politika.

autópálya). Ezek közül a feltételek közül azonban egyik sem jellemző az erdészeti utakra, illetve azok tulajdonosainak pénzügyi helyzetére (Kosztka, 2001).

Az erdészeti utak fenntartási alapelveinek az útfenntartási politika harmadik formája (5.7 ábra) a megfelelő, amely egyértelműen a leggazdaságosabb megoldást is adja. Eszerint az I-II. szakaszban a keletkező hibákat folyamatosan javítva azok elfajulását megakadályozzuk. Ezzel a munkával biztosítjuk az utak egységes használati értékét, de a leromlás időbeni lefolyását alig befolyásoljuk. (Pontosabban ezeket a kisebb javítgatásokat a különböző inhomogenitásokból kialakuló lokálisan előforduló hibák miatt kell elvégezni. Ezeknek a munkáknak a mindenkori elvégzését feltételezzük a pályaszerkezet tervezésnél és ez biztosítja, hogy a leromlási folyamat a vázoltak szerint játszódjon le. Ennek a munkának az elhagyása a hibák elfajulásához vezet, ami egy rohamos tönkremenetelt eredményez, nem a vázolt függvény szerint.) A beavatkozásnak ezt a típusát fogjuk javításnak nevezni, amely olyan munkákat ölel fel, mint a kezdődő kátyúk helyreállítása, kisebb helyi repedezett felületek helyreállítása, egyes repedések kiöntése stb., mint ahogy azt már korábban leírtuk. Amikor az út a II. ponttal jelölt állapot környékére kerül, egy nagyobb mértékű beavatkozásra van szükség, amely az egész felületen a korábbinál (a beavatkozás előttinél) jobb, egységes állapotot hoz létre vékony, a teherbírását közvetlenül lényegesen nem befolyásoló rétegekkel (pl. felületi bevonás, vagy vékony aszfaltréteg). Ez a karbantartás fogalmkörébe eső tevékenység már lényegesen befolyásolja a leromlás időbeni menetét is. A megfelelően karbantartott út állapota javulni fog, egy magasabb szintről folytatódik a leromlás folyamata. Ez a szint nem éri el az új állapot szintjét, a leromlás folyamata az eredeti vonal



5.7. ábra. A javasolt erdészeti útfenntartási politika.

azonos pontja utáni görbe szakasz szerint fog futni. Ez azt jelenti, hogy az út állapota a karbantartás előtti állapotot lényegesen rövidebb idő alatt fogja elérni, mint amekkorára idő a forgalomba helyezés és az első karbantartás közben eltelt. Ezután két lehetőség között választhatunk. Az első lehetőség az, hogy egy tudatosan végzett tevékenységgel, a felújítással – aminek időpontja a II-III. szakaszra essen – az út állapotát az új útnak megfelelő állapotba hozzuk úgy, hogy új pályaszerkezetet vagy csak kopóréteget építünk aszerint, hogy a pályaszerkezet teherbírása egy hosszabb időszakot (15-20 év) figyelembe véve megfelelő-e. Ezzel a munkával elérjük, hogy a leromlás az I. pontnak megfelelő állapotból indul és évekig jelentősebb beavatkozást az úton nem kell végrehajtani. A másik lehetőség szerint egy újabb karbantartással a felújítás időpontját még eltoljuk. Figyelembe kell venni azonban azt, hogy a többszöri karbantartás költségei meghaladhatják a felújítás költségeit, amit végül egyszer feltétlenül el kell végezni. A második karbantartás után ezért célszerű a felújítást végrehajtani, aminek időpontja most is a II-III. szakaszba esik (Kosztka, 2001).

A helyesen kialakított és alkalmazott fenntartási politika hosszú távon létrehoz egy ciklust, amelyben a beavatkozásokat tudatosan az út leromlásának függvényében hajtjuk végre (stratégia). Mivel az útfenntartási politika a mindenkori útállapot szerint dönti el a beavatkozás szükségességét és módját, ezért a közvetlen beavatkozások eldöntésénél váratlanul bekövetkező helyzetekhez rugalmasan lehet alkalmazkodni (taktika).

A különböző részekből álló út minden elemére a vázolt útfenntartási politika nem alkalmazható, annak megállapításai a pályaszerkezet fenntartási munkáinak szervezésére vonatkoznak.

A pályaszerkezeten kívül végzett tevékenységre vonatkozó útfenntartási politikát a következőképpen határozhatjuk meg: a pályaszerkezeten kívül minden esetben el kell végezni a szükséges beavatkozásokat és az új állapotnak megfelelő színvonalat létre kell hozni akkor, amikor a pályaszerkezeten karbantartási vagy felújítási munkákat végzünk. A közbenső időszakban a beavatkozásokat egy - a szerkezeti részre (padka, árok stb.) jellemző és a helyi viszonyokhoz (talaj, növényzet stb.) alkalmazkodó ciklus szerint kell elvégezni, illetve be kell avatkozni akkor is, ha szakaszonként vagy teljes hosszban károsodások alakulnak ki.

5.4. A karbantartás kedvező időpontjának meghatározása

Mivel a rendelkezésre álló pénzeszközök sokszor a szükségesnél is kevesebbek az erdőgazdaságok többségénél, a felmerülő kielégítetlen igények tartománya az évek folyamán folyamatosan növekedni fog (olló jelenség). A mindenkori alkalmazott pályaszerkezet-gazdálkodási stratégia pedig különböző módon zárja vagy próbálja meg zárni az „ollót”. Tulajdonképpen ennek idejéről és módjáról döntünk akkor, amikor az *A*, *B* vagy *C* jelű stratégiát alkalmazzuk. Az előbb

ismertetett pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiák különbségét is az adja, hogy az alkalmazott állapotjellemző paraméter minimálisan elfogadható szintje változatonként máshol húzódik. Ennek segítségével lehet, ugyanis szabályozni, hogy mikor kerüljön sor a felújításra. A beavatkozási időpont mindkét irányú módosításának azonban gyakorlati és gazdasági korlátai vannak. Így amikor az „optimális” beavatkozási pont kérdésére kerül sor, ezen korlátok ésszerű meghatározásáról van szó.

Vegyük észre, hogy a leromlási görbe minden egyes pontja egy-egy beavatkozási változatot jelent és így a következő paraméterek egyértelműen jellemzik azokat: költség, megtakarítás, élettartalom, teherbírás, stb. Tehát, ha „optimális” beavatkozási pontot keresünk, akkor olyan változatról beszélünk, ahol az egyes jellemző paraméterek egyértelműen a legkedvezőbb értékeket veszik fel. Könnyen beláthatjuk, hogy ha minden szempontot figyelembe veszünk, egyik változat sem jobb a másiknál, azaz a leromlási görbe a nem dominált pontok halmaza és így végleges megoldást nem ad a kérdésre. A probléma megoldásához közelebb kerülhetünk, ha a figyelembe vett kritériumokból egyetlen jósági mértéket képezünk le. A legfontosabb paraméterek amikkel a pályaszerkezeteket jellemezhetjük az a megvalósult élettartalmuk és teherbírásuk. Célunk az, hogy megépült útjainkat ezen két paraméter függvényében maximálisan kihasználhassuk. Azaz, azt a pontot keressük, ahol már a fenntartási költségek tovább nem vállalhatóak. A pályaszerkezet mindenkori teherbírása és megvalósított élettartalma szoros összefüggésben áll egymással, ezért ezen két kritérium szorzatával már könnyedén jellemezhetjük útjaink fejlődését az idő függvényében:

$$t_i = e_i (s_h - s_i) \quad (5.1)$$

ahol:

t_i = a burkolat teljesítménye az i -edik évben.

e_i = az i -edik évben megvalósult élettartalom.

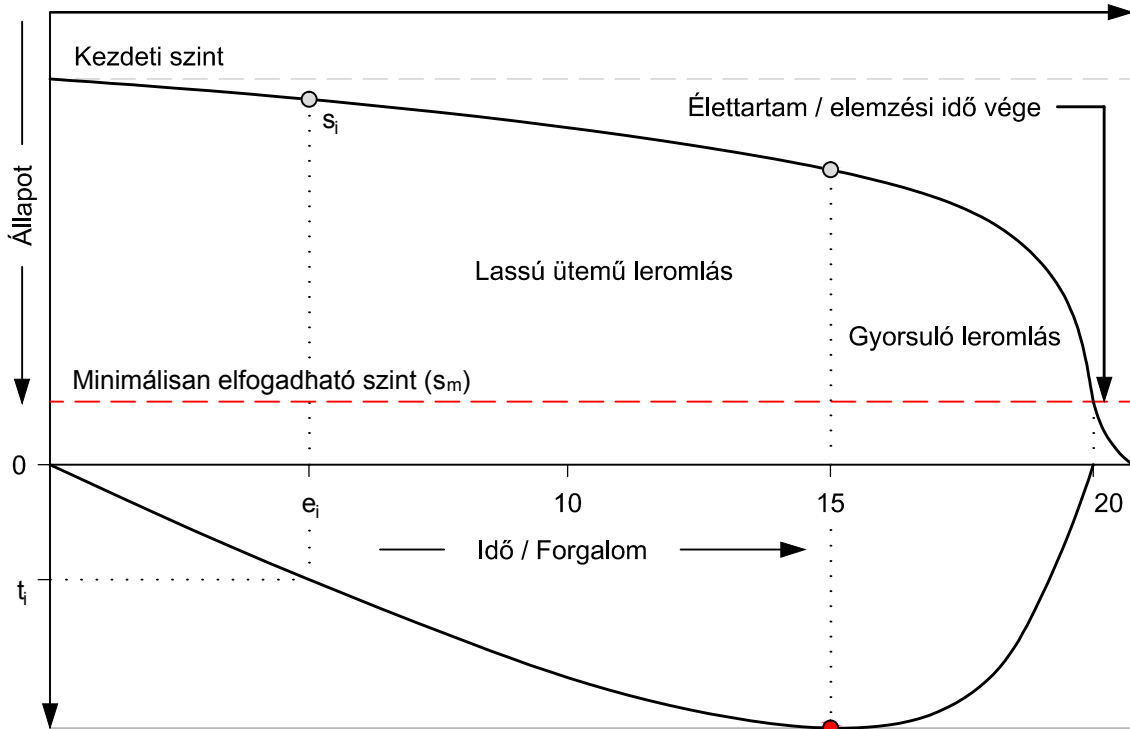
s_h = határteherbírás [mm]-ben kifejezve.

s_i = a burkolat teherbírása [mm]-ben az építés évében és minden további i -edik évben s_h eléréséig.

Grafikusan is ábrázolva számításainkat, egy jellemző, optimummal bíró görbe rajzolódik ki előttünk. Ez az „optimális” pont jelenti pályaszerkezeteink „fejlődésének” végét. Másképp fogalmazva, ettől a ponttól kezdve, a fenntartási költségek tovább már nem vállalhatóak fel, lényegibb beavatkozásra van szükség. Egy 20 évre méretezett pályaszerkezet esetében ez a 15. év környékére esik, utunk ekkor éri el fejlődésének maximumát. Minden további használat már nagymértékben csökkenti pályaszerkezetünk teherbírását miközben a felmerülő költségek folyamatosan emelkednek. Az eddigieket összefoglalva az 5.8 ábra szemlélteti. A karbantartás kedvező időpontjának ilyen módon való meghatározása azonban csak irányadó. Megmutatja, hogy mennyi idő áll rendelkezésünkre (a pályaszerkezet megépítése után), hogy pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiánkat meg tudjuk valósítani.

5.5. Az útpályaszerkezet leromlásának modellezése

Az útpályaszerkezetek szerkezeti megfelelőségét általában behajlásméréssel határozzák meg. Ennek oka, hogy az 1960-as években az AASHO-útkísérletek bebizonyították, hogy a burkolat behajlása illetve a pályaszerkezet szükséges egyenérték-vastagsága szoros kapcsolatban áll az úton lefutott forgalom nagyságával, ill. az altalaj teherbírásával (CBR%). A teherbírás behajlásméréssel történő vizsgálatára sajnos nincsen mindig mód, ezért indokolt a több rétegből felépülő útpályaszerkezetet egy egyen teherbírású réteggként felfogni. A továbbiakban ezért az eredeti útpályaszerkezetet egy olyan egyrétegű elméleti réteggként fogjuk fel, amelynek vastagsága eltér a geometria vastagságtól, de teherbírás szempontjából azzal mégis egyenértékű, anyaga pedig szabványos zúzottkőréteg (Herpay, 1967; Rumpf, 1971).



5.8. ábra. A beavatkozás határpontja.

Az AASHO-kísérletek eredményei alapján az *Asphalt Institute* 1963. évi egyenérték-vastagságképlete, amivel az erdészeti utak hajlékony pályaszerkezeteinek méretezése is történik:

$$H_{e_{sz}} = (-14,50 + 14 \log (F_{100})) \left[\frac{2,5}{CBR} \right]^{0,4} \quad (5.2)$$

ahol:

$H_{e_{sz}}$ = szükséges egyenérték-vastagság (ecm).

F_{100} = a tönkremenetelhez szükséges egységtengely áthaladás (db).

CBR = az altalaj teherbírása (%).

Az eredetileg beépített aszfalrétegek illetve az utántömörődésen már átesett burkolatok geometriai vastagsága lényegében a forgalom hatására már alig változik. A pályaszerkezet teljesítménycsökkenése később pedig maga a tönkremenetel nem a mérhető szerkezeti elvékonyodásból, hanem a burkolat belső szerkezetében végbemenő mechanikai változásokból fakad. A forgalom hatására az egyenérték-vastagság változását tehát nem abszolút értelemben a vastagsági méret csökkenésével, hanem az ún. hatékony egyenérték vastagság változásával állapíthatjuk meg (Tóth és Zsiga-Kiss, 1986). Ez alatt az egyes rétegek egyenérték-tényezőinek csökkenését kell érteni. Az ide vonatkozó külföldi kutatásokból ismeretes a holland Molenaar (1983) képlete:

$$H_{e_n} = \frac{H_{e_0}}{1 + e^{\beta \log(F_n/F_N)}} \quad (5.3)$$

ahol:

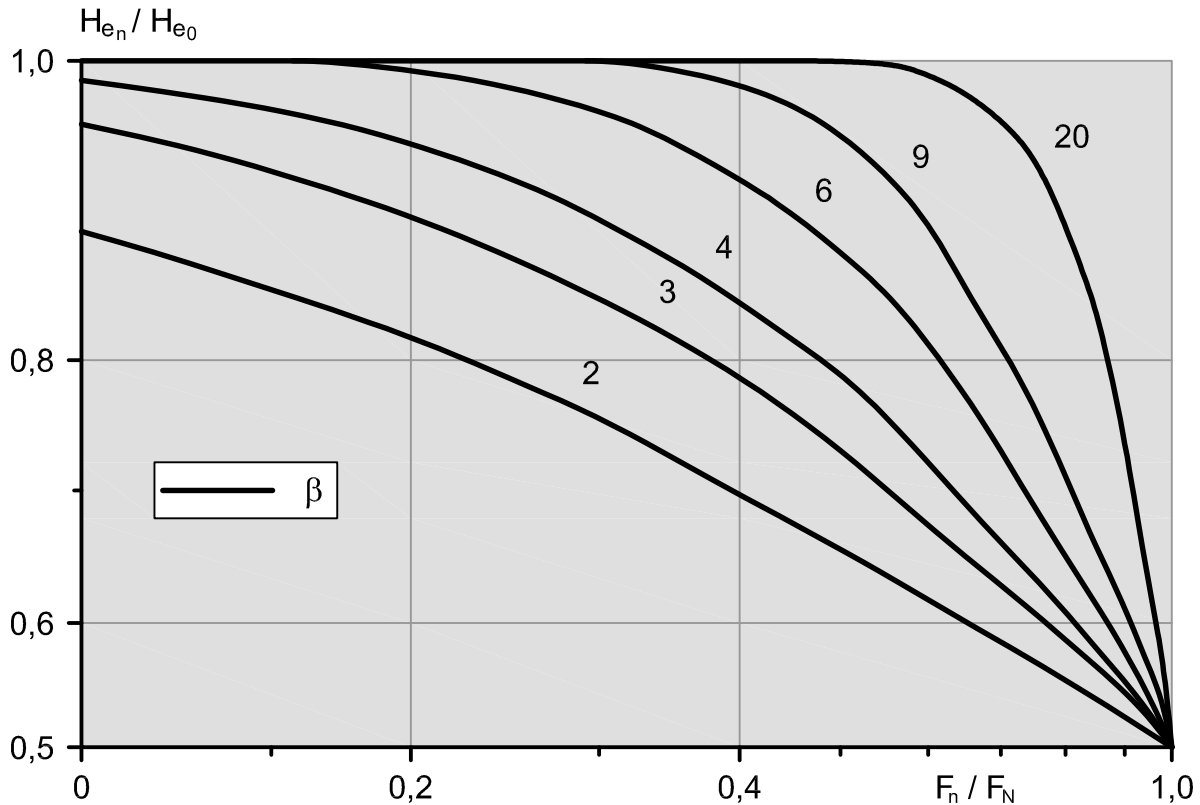
H_{e_n} = egyenérték vastagság n db egységtengely áthaladás után (ecm).

H_{e_0} = egyenérték vastagság 0 db egységtengely áthaladás után (ecm).

β = a pályaszerkezet merevségétől függő tényező (-).

F_n = a már lefutott forgalom egységtengely áthaladása (db).

F_N = a tönkremenetelhez szükséges egységtengely áthaladás (db).



5.9. ábra. Az útpályaszerkezetek merevségétől függő leromlási görbe alakja.

Új út esetén a H_{e_0} megegyezik az 5.2 képlettel számolt $H_{e_{sz}}$ értékkel. Az összefüggés szerint az egyenérték csökkenés mértéke a forgalmi hányados logaritmusától függ. A β tényező nagysága pedig a teljes útpályaszerkezet merevségének függvénye (5.9. ábra), jellemzően 3-9 között van. Megemlítendő még, hogy a képlet β értéktől függetlenül $H_{e_n} = 0,5 \cdot H_{e_0}$ eredményt ad, ha az $F_n = F_N$ azaz, ha a burkolat teljesen kimerül. Vagyis az útpályaszerkezet tönkrementnek tekinthető, ha az egyenérték vastagság virtuálisan a felére csökken. A fenti összefüggés igazolására kísérlet sorozatot indítottak Hollandiában. A vizsgálat eredménye kimutatta, hogy az előrebecslő modell jól képes visszaadni a mérési eredményeket hajlékony útpályaszerkezetek esetében (Molenaar, 1983).

5.5.1. Az erdészeti útpályaszerkezetek leromlásának modellezése az AASHO-útkísérletek eredményei alapján

A hatékony egyenérték-vastagság csökkenést megbecsülhetjük a behajlasmérés segítségével is, vagyis a hátralévő élettartalmat a pályaszerkezet fáradási egyenleteiből számíthatjuk ki, a mértékadó behajlás alapján. A mértékadó behajlás nagyságáról önmagában nem lehet eldönteni azt, hogy az számunkra megfelelő teherbírást jelöl-e. Ugyanaz a behajlás kisebb forgalomnál ugyanis megfelelő, nagyobb forgalomnál már lecsökkent teherbírást jelölhet. Az AASHO-útkísérletek alapján levezetett összefüggéssel megállapítható, hogy egy adott s_m mértékadó behajlásnál az úton csak egy meghatározott F_{100}^{eng} megengedett forgalom haladhat át, amelynek nagysága:

$$\log(F_{100}^{eng}) = a_1 - b_1 \cdot \log(s_m) \quad (5.4)$$

Az összefüggés a forgalom hatására fellépő teherbírás csökkenést írja le, azaz adott s_m behajlással jellemezett pályaszerkezet még hány db 100 kN e.t.á-t visel el a teljes tönkremenetelig. Az ábrából jól kitűnik, hogy a behajlások növekedésével rohamosan csökken annak a forgalomnak a nagysága, amely az élettartam végéig a pályaszerkezeten áthaladhat.

Az erősítőréteg szükséges egyenérték-vastagsága az AASHO-útkísérletek alapján a következő képlettel számítható (Boromisza, 1976):

$$\Delta H_e = B \cdot \log \left(\frac{s_m}{s_{eng}} \right) \text{ [ecm]} \quad (5.5)$$

Az összefüggés az új pályaszerkezeti réteg teherbírásra gyakorolt hatását fejezi ki $B = 70$ pályaállandó mellett. Az 5.5 képletben szereplő s_{eng} megengedett behajlás számításához meg kell határoznunk a megerősített pályaszerkezet élettartamát, majd az élettartam alatti forgalmat (F_{100}^m). ΔH_e a meghatározott élettartam alatti összes olyan évre számítható, ahol $s_m < s_{eng}$. Egy adott F_{100}^m mértékadó forgalmat a pályaszerkezet csak akkor visel el, ha a pályaszerkezet kezdeti behajlása nem lép túl egy s_{eng} megengedett behajlási értéket a következők szerint:

$$\log(s_{eng}) = a_2 - b_2 \log(F_{100}^m) \quad (5.6)$$

A megengedett és mértékadó értékek összehasonlításával a pályaszerkezet teherbírása minősíthető. A behajlás nagysága szerint megfelelő a pályaszerkezet teherbírása, ha az $s_m < s_{eng}$ ahol az s_{eng} megengedett behajlást egy vizsgált időszak mértékadó forgalma alapján számítjuk. A forgalom nagysága szerint megfelelő a pályaszerkezet teherbírása, ha az $F_{100}^m < F_{100}^{eng}$ ahol az F_{100}^{eng} engedélyezett forgalmat (db 100 kN e.t. áthaladásban) az s_m mértékadó behajlás alapján számíthatjuk. A következő kérdések merülnek fel?

- Mikor avatkozunk be a leromlási folyamatba az erősítőréteg beépítésével?
- Mekkora válasszuk az élettartamot?

A burkolat teherbírásának az idő függvényében történő alakulását, valamint a megerősítés hatásának előrebecslését az (5.4), (5.5) és (5.6) jelű regressziós modellek megfelelő összekapcsolásával írhatjuk le, ha a fenti három algebrai egyenlőséget egymással összeférhetőnek tudjuk tekinteni. A felállított modell segítségével pedig megválaszolhatjuk a feltett kérdéseket.

Fejezzük ki az (5.5) jelű összefüggésből az új pályaszerkezeti rétegnek a teherbírásra gyakorolt hatását:

$$\log(s_{eng}) = \log(s_m) - \frac{\Delta H_e}{B} \quad (5.7)$$

Ha formálisan fel lehet tételezni, hogy az (5.5) jelű összefüggésben gondolkozva a pályaszerkezet megerősítés előtti állapotát az (5.6)-es összefüggés jellemzi, azaz $s_m \approx s_{eng}$ (ez így nem teljesen igaz), és a megerősítés utáni állapotot pedig a $s_u = s_{eng}$ (ez igaz), akkor az 5.7 képletbe behelyettesítve kapnánk meg a következő elvi összefüggést:

$$\log(s_u) = a_2 - b_2 \log(F_{100}^m) - \frac{\Delta H_e}{B} \quad (5.8)$$

Az így megkapott modell „megbecsüli”, hogy adott F_{100}^m forgalom és ΔH_e megerősítés hatására mekkora lesz a burkolat beavatkozás utáni s_u mértékadó behajlása ($s_u = s_m$).

Vegyük észre, hogy az 5.6 képlet csak egy „megengedett” lehajlást ad meg, kellő óvatossággal; de nem egy mindenkorai kapcsolatot az s lehajlás és az F_{100} forgalom nagyság között, ezért elméletileg nem lehetne behelyettesíteni s_e helyére. Ugyanis a mértékadó behajlást csak az állapotfelmérés után lehet meghatározni. Ne felejtjük azonban azt sem el, hogy a célunk nem az, hogy mindenkor előre jelezzük a behajlások pontos értékét, hanem az, hogy hálózati szinten képet kapjunk a burkolat teljesítményének változásáról. Ennek pedig minden szinten eleget tesz az 5.6 összefüggés. Ezek után az 5.8 képletet helyettesítjük be 5.4 céljainknak megfelelően átalakított részébe:

$$e_u \cdot F_{100}^u = \frac{10^{a_1}}{10^{b_1 \log(a_2 - b_2 \log(\{e_e - e_b\} F_{100}^e) - \frac{\Delta H_e}{B})}} \quad (5.9)$$

Az egyszerűsítések és az összevonások után olyan kifejezést kapunk, amellyel ki lehet számolni a pályaszerkezet beavatkozás utáni élettartalmat:

$$e_u \approx \exp\left(\frac{\Delta H_e}{C}\right) \left(\frac{F_{100}^e}{F_{100}^u}\right) (e_e - e_b) \quad (5.10)$$

ahol:

e_u = a beavatkozás utáni élettartalom.

e_e = a pályaszerkezet várható élettartalma az utolsó beavatkozás után.

e_b = az utolsó és a vizsgált beavatkozás közötti idő ($e_e > e_b$).

F_{100}^u = az évenkénti forgalom nagyság a beavatkozás után.

F_{100}^e = az évenkénti forgalom nagyság a beavatkozás előtt.

ΔH_e = a beavatkozás idején belépett pályaszerkezeti réteg vastagsága.

A beavatkozás utáni élettartalom ismeretében már előre becsülhetjük a burkolat állapotának leromlását és így meghatározhatóak azok az időpontok, amikor feltétlenül szükségessé válik valamilyen új pályaszerkezeti réteg beépítése. A fenti összefüggés alkalmas a forgalom változásának figyelembevételére is, ilyenkor beavatkozásnak a forgalom változását tekintjük, megerősítésre pedig nem kerül sor ($\Delta H_e = 0$).

Modellünk azonban még nem teljesen tökéletes, hiszen ebben a formájában csak abban az esetben ad elfogadható eredményt, ha a burkolat állapotfelmérésekor meghatározott mértékadó behajlása megegyezik az 5.6 összefüggés által előre becsülttel. Egy útszakasz valódi mértékadó behajlásához a következő elvi gondolattal igazodhatunk. Helyettesítsük be a burkolat behajlását a 3.9-es képletbe, így megkapjuk a pályaszerkezet még hátralévő élettartamát:

$$e_e = \frac{10^{a_1}}{F_{100}^e (s_m^{mért})^{b_1}} \quad (5.11)$$

Ezek után, ha a modellbe az így meghatározott e_e -t írjuk be, az már a valódi pályaszerkezetet fogja jellemezni.

A teherbírás változása két beavatkozási időpont között azonban nem tekinthető lineárisnak. Hasonló elvi összefüggéseket alkalmazva eljuthatunk (a fentiek alapján) a teljesítményt előre becsülő modellhez, ami a pályaszerkezet behajlásának (teherbírásának) időbeni változását fejezi ki:

$$s = A \left[(e_e - e_b) \exp\left(\frac{\Delta H_e}{C}\right) F_{100}^e - e \cdot F_{100}^u \right]^{-b_2} \quad (5.12)$$

ahol:

F_{100}^e = az évenkénti forgalom nagyság a beavatkozás előtt.

F_{100}^u = az évenkénti forgalom nagyság a beavatkozás után.

e_e = a pályaszerkezet várható élettartalma az utolsó beavatkozás után.

e_b = az utolsó és a vizsgált beavatkozás közötti idő ($e_e > e_b$).

ΔH_e = a beavatkozás idején belépett pályaszerkezeti réteg vastagsága.

s = a pályaszerkezet teherbírása a beavatkozás utáni e évvel.

e = az utolsó beavatkozástól eltelt idő.

Mivel a modell csak „becsli” a burkolat élettartalmát és teherbírását, ezért célszerű megkötünk azt, hogy $e_e - e_b = \max 5$ év legyen. A fáradási egyenletekben szereplő állandókat pedig az adott pályaszerkezet típusának megfelelően válasszuk ki az 5.1 táblázat alapján.

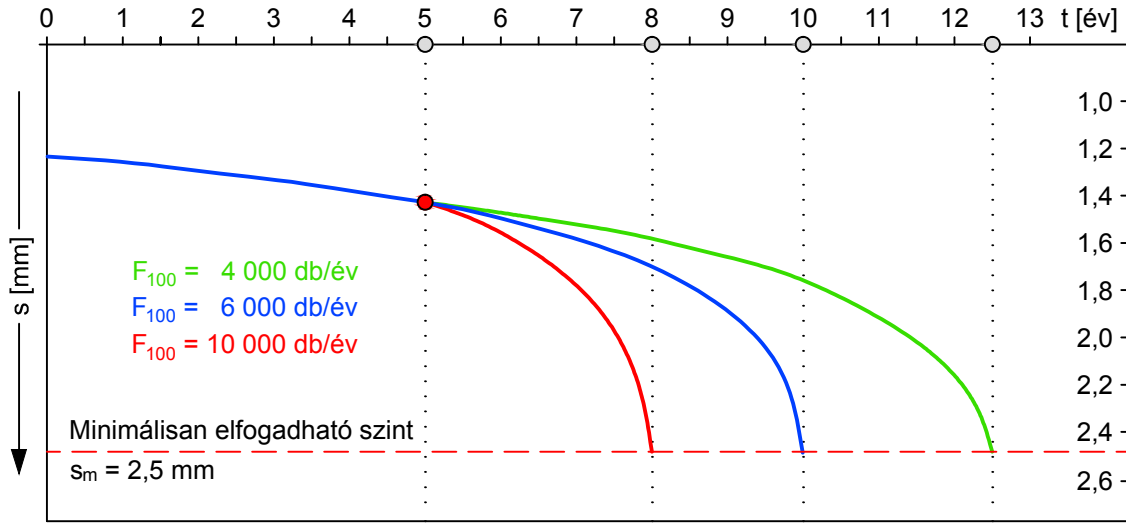
Egy egyszerű példán keresztül könnyen megérthetjük a modell működését és lehetőségeit. Legyen a vizsgálat kezdetén a pályaszerkezet mértékadó behajlása $s_m = 1,28$ mm, míg az évi átlagos szállítási kötelezettség $n = 5$ éven keresztül $F_{100}^0 = 6000$ db/év e.t.á. Az öt év eltelte után változzon meg a forgalom a következő képen:

1. esetben $F_{100}^1 = 10000$ db/év e.t.á.

Pályaszerkezet	a_1	b_1	a_2	b_2	A	C	Megjegyzés
Utántömörödő	5,592	4,00	1,398	0,25	25,00	7,60	Makadám rendszerű útpályaszerkezet.
Hajlékony	5,271	4,55	1,158	0,22	14,40	6,70	Makadám jellegű alapon, aszfaltburkolat.
Félmerev	4,771	5,00	0,954	0,20	8,99	6,10	Stabilizáción vagy betonalapon, aszfaltburkolat.

* a C együttható számításánál $B = 70$ pályaállandót feltételeztünk.

5.1. táblázat. A pályaszerkezet típusok együtthatói.



5.10. ábra. A teherbírás csökkenése (az egyes esetekben) az idő függvényében.

2. esetben $F_{100}^2 = 4000$ db/év e.t.á.

Az elemzés első lépéseként számítjuk ki az (5.11) összefüggés segítségével a pályaszerkezet várható élettartalmát:

$$e_0 = \frac{10^{5,271}}{6000 (1,28)^{4,55}} \approx 10 \text{ év} \tag{5.13}$$

Második lépésben növeljük meg a forgalmat az ötödik évben $F_{100}^1 = 10000$ db/év e.t.á. nagyságra. Várhatóan a megnövekedett forgalom miatt a pályaszerkezet élettartalma lecsökken, aminek mértékét meghatározhatjuk az (5.10) jelű képlettel:

$$e_1 \approx 5 + \left(\frac{6000}{10000} \right) (10 - 5) \approx 8 \text{ év} \tag{5.14}$$

Végül pedig $n = 5$ év eltelte után csökkenjen le a forgalom évi átlagos $F_{100}^2 = 4000$ db/év e.t.á. nagyságúra. Ennek hatását az előbbiekhöz hasonlóan vizsgálhatjuk:

$$e_2 \approx 5 + \left(\frac{6000}{4000} \right) (10 - 5) \approx 12,5 \text{ év} \tag{5.15}$$

Az elemzéseket hasonló módon egymást követő eltérő éves forgalmakra is el lehet végezni, valamint figyelembe lehet venni az erősítőrétegek beépítést is, amit itt nem tettünk meg. Az egyes forgalmi változásoknak a pályaszerkezet teherbírására gyakorolt hatását az 5.10 ábra mutatja be.

A modell megfelelő működését – adott körülmények között – a visszacsatolt információk segítségével mérhetjük fel. Így meggyőződhetünk arról, hogy az előrebecsült élettartalom és teherbírás a valóságoshoz képest mennyire volt helytálló. Amennyiben az út teljesítménye és élettartalma nem a várakozásnak megfelelően alakult, akkor a fenntartási és felújítási igényeket újra kell gondolni, mindezt azonban csak megfelelő adatbank birtokában tehetjük meg. Ennek hiányában kénytelenek vagyunk elfogadni egy általános modellt mely „átlagos” adatokkal dolgozik. A fentiek alapján megkonstruált teljesítmény előre becslő modell fontos elemét képezi az erdészeti pályaszerkezet-gazdálkodási rendszernek, hiszen segítségével az egyes beavatkozások hatásait jól lehet előre tervezni és így a tudatos gazdálkodás is könnyebben lesz kialakítható.

5.5.2. Az erdészeti útpályaszerkezetek megerősítésének javasolt időpontja

Új aszfaltréteg beépítését legkorábban arra az évre célszerű előirányozni, amikor a leromlási modell által javasolt ΔH_{e_i} egyenérték-vastagság eléri a technikailag megengedett minimális rétegvastagságot. Ez kopórétegbe építhető aszfaltok esetében jellemzően 3,0 cm geometriai rétegvastagságnak vehető, ami (2,0...2,2 egyenérték-tényező figyelembevételével) 6,0...6,6 ecm-nek felel meg.

A pályaszerkezetet legkésőbb a leromlási modellel prognosztizált tönkremenetel előtti évben meg kell erősíteni; erre az évre is kalkulálható a ΔH_{e_i} szükséges egyenérték-vastagság.

A megerősített pályaszerkezet tervezett élettartamának hatását XY ábrán bemutatott leromlási modellnek az 5.11. ($N = 10$ év) és 5.12. ($N = 20$ év) ábrákon történő kiegészítésével érzékeltetjük.

A megerősítés javasolt időintervalluma az állapotfelvételtől számított 8. és 12. év között van az 5.11 ábrán. A beépítendő aszfaltszőnyeg méretezését 5.5 összefüggés alapján végezzük el, ahol

- s_m [mm] a felújítás tervezett időpontjára előrevetített behajlás,
- s_{eng} [mm] a felújítást követő 10 év forgalmának megfelelő megengedett behajlás.

A 10 évre tervezett élettartam esetében a pályaszerkezet megerősítésére tett javaslat a következők szerint fogalmazható meg: a megerősítést az állapotfelvételt követő 8. és 12. év között kell elvégezni; a modell szerint a 8. évben $\Delta H_e = 5,96$ [ecm], a 12. évben $\Delta H_e = 30,02$ [ecm] vastagságú erősítőréteg beépítésével.

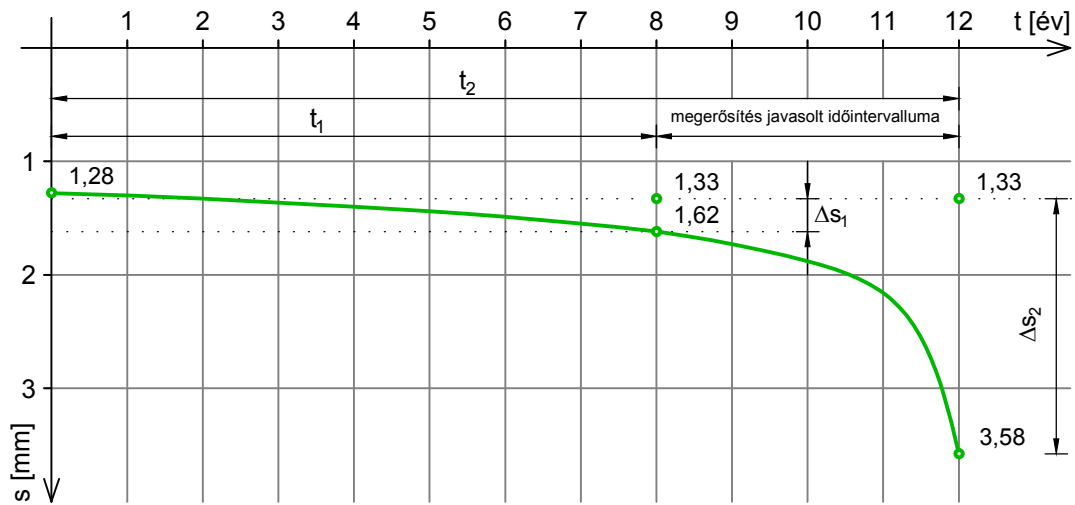
20 évre tervezett élettartam esetében a pályaszerkezet megerősítésére tett javaslat a következők szerint fogalmazható meg: a megerősítést az állapotfelvételt követő 4. és 12. év között kell elvégezni; a modell szerint a 4. évben $\Delta H_e = 6,05$ [ecm], a 12. évben $\Delta H_e = 34,65$ [ecm] vastagságú erősítőréteg beépítésével.

Természetesen a javasolt időintervallumon belül bármely évre megbecsülhető az adott évben beépítendő erősítőréteg szükséges egyenérték-vastagsága.

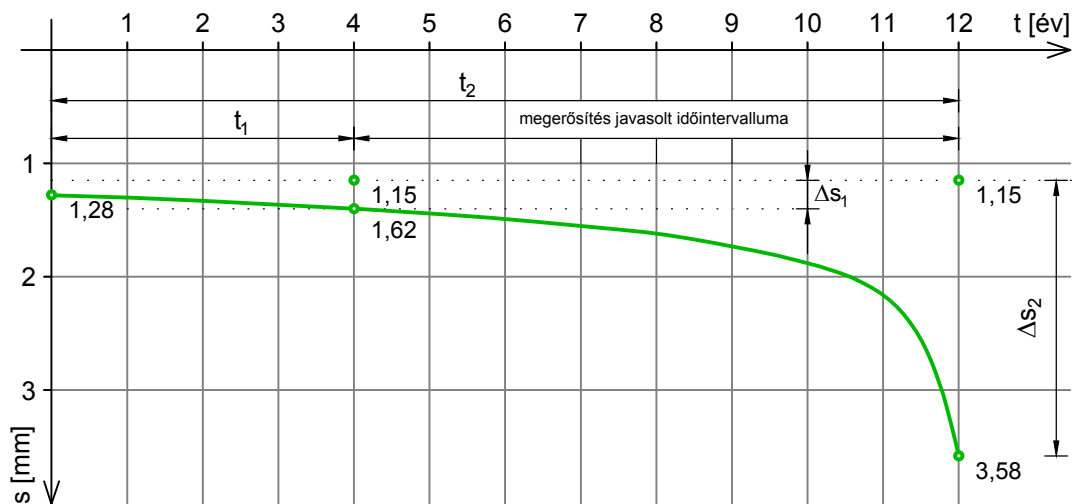
5.5.3. Az erdészeti útpályaszerkezetek megerősítésének javasolt élettartama

Az előző alfejezetben alkalmazott leromlási modellnél maradván vizsgáljuk meg, hogy különböző pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiák hosszú távon hogyan befolyásolják az út állapotát és mekkora anyagfelhasználással járnak. A következőkben 4 pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiát vizsgálunk meg. Ezen stratégiák mindegyikénél feltételezzük, hogy az út üzemeltetője a szükséges javításokat folyamatosan elvégzi, valamint hogy a megerősítéseket mindig a tervezett élettartamra méretezve végzi el. Az egyes stratégiák az anyagfelhasználás szempontjából akkor hasonlíthatók össze, ha kiszámítjuk az évi átlagban beépített pályaszerkezet egyenérték-vastagságát.

A különböző stratégiáknak megfelelő modellek az 5.13 és az 5.14 ábrákon szerepelnek; a stratégiákat az 5.2 táblázatban hasonlítjuk össze. A stratégiák elemzése után levonható következtetések:



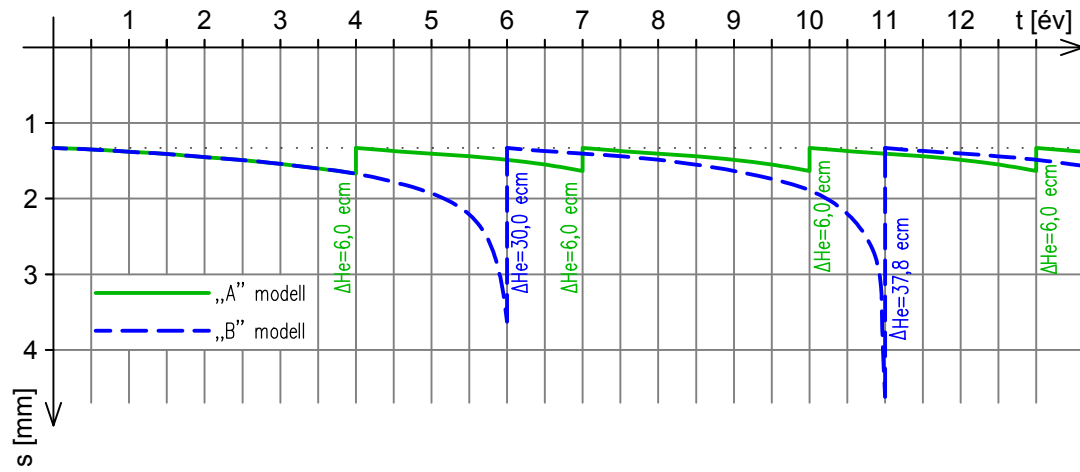
5.11. ábra. A felújítás javasolt intervalluma, $N = 10$ év ($F_{100_i} = 5000$ [100 kN e.t.á./év]).



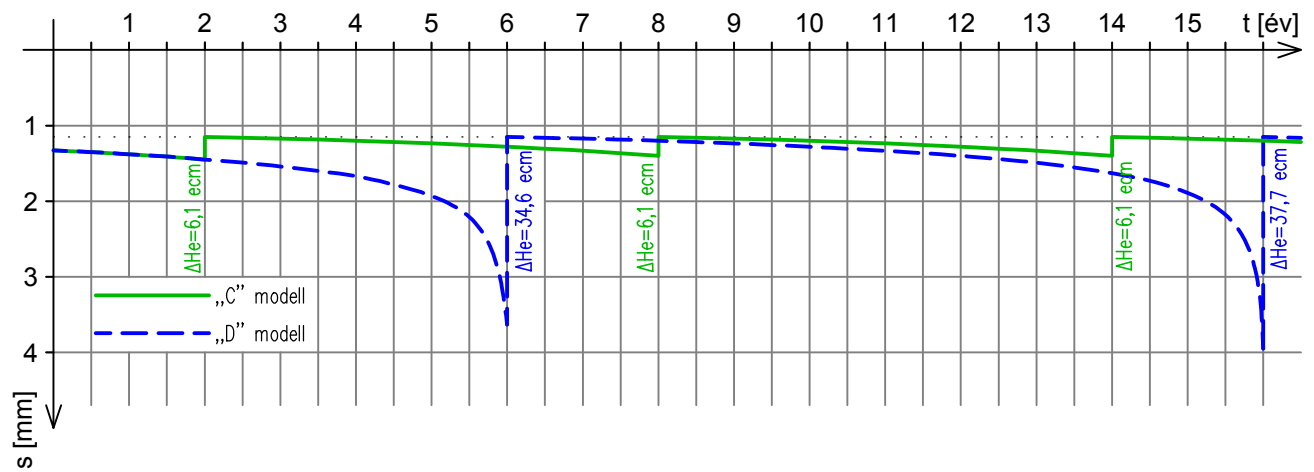
5.12. ábra. A felújítás javasolt intervalluma, $N = 20$ év ($F_{100_i} = 5000$ [100 kN e.t.á./év]).

Stratégia	Élettartam [év]	Megerősítések		Anyagfelhasználás [ecm/év]
		gyakorisága [év]	e. vastagsága [ecm]	
„A”	10	6	6,00	1,0
„B”	10	10	37,8	3,8
„C”	20	12	6,10	0,5
„D”	20	20	37,7	1,9

5.2. táblázat. A pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiák összehasonlítása.



5.13. ábra. Pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiák, $N = 10$ év.



5.14. ábra. Pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiák, $N = 20$ év.

1. A gyakori beavatkozásokkal vékony aszfaltréteget beépítő modellek anyagfelhasználása lényegesen kisebb, mint az élettartam végén szükséges vastagabb aszfaltréteget használó modelleké.
2. A hosszabb tervezési élettartam jelentősen lecsökkenti a megerősítések fajlagos anyagfelhasználását.
3. Figyelemre méltó „B” és „C” modell összehasonlításakor, hogy a közel azonos gyakoriságú beavatkozások ellenére „C” stratégia fajlagos anyagfelhasználása „B” anyagfelhasználásának csupán nyolcada! Ez az érdekes jelenség annak köszönhető, hogy „C” esetében az első beavatkozást korábban, a még nagyobb teherbírású pályaszerkezeten hajtottuk végre, és az erősítő réteg vastagságát gyakorlatilag tudatosan túlméreteztük (20 évre méretezzük de 12 évente megerősítjük).
4. A tudatos túlméretezés előnye mutatkozik meg az „A” és „C” stratégiák összehasonlításakor is. Ugyanazt a minimális egyenérték-vastagságú erősítőréteget „A” esetében átlagosan 6 évente, „C” esetében 12 évente használjuk fel! A meghökkentő különbség oka az, hogy az első beavatkozást „C” esetében 4 évvel hamarabb végeztük el.
5. A 20 éves gyakoriságú beavatkozást alkalmazó stratégia esetén a megerősítések között karbantartási feladatok – jellemzően felületi bevonás formájában – jelentkeznek, amelyek az útfenntartási költségeket tovább emelik, közvetlen teherbírásnövelő hatásuk azonban nincs.
6. Útfenntartási szempontból a gyakoribb beavatkozásnak megvan az az előnye, hogy rendszeresen egységes útállapotot hozunk létre.
7. Vékony aszfaltrétegek beépítésénél fokozottan fennáll annak a veszélye, hogy – az új és régi aszfaltréteg „együttlétezésének” esetleges hiányában – a felújításnak nem lesz teherbírást növelő (behajlást csökkentő) hatása. Ezt a veszélyt a technológiai előírások gondos betartásával csökkenthetjük.

5.5.4. Az erdészeti útpályaszerkezetek felújításának javasolt stratégiája

Az információs rendszer a megerősítés legkorábbi javasolt időpontját a felhasználó által megadott tervezési élettartam figyelembevételével számítja. A tervezett élettartamot célszerű minél nagyobbra – minimum 15, de inkább 20 évre – választani, így a beavatkozásra javasolt időintervallum tágabb lesz.

A fenntartásra fordítható költségek függvényében, a hosszú távon jelentkező költségek minimalizálása érdekében a javasolt stratégia az út aktuális állapotától függően a következő:

1. Az állapotértékeléskor $s_m < s_{eng}$: A pályaszerkezetet egy minimális (de nem alulméretezett!) vastagságú réteggel az információs rendszer által javasolt időintervallum elején meg kell erősíteni.
2. Az állapotértékeléskor $s_m > s_{eng}$: A megerősítést 20 (15) évre méretezett erősítőréteggel minél korábban el kell végezni.

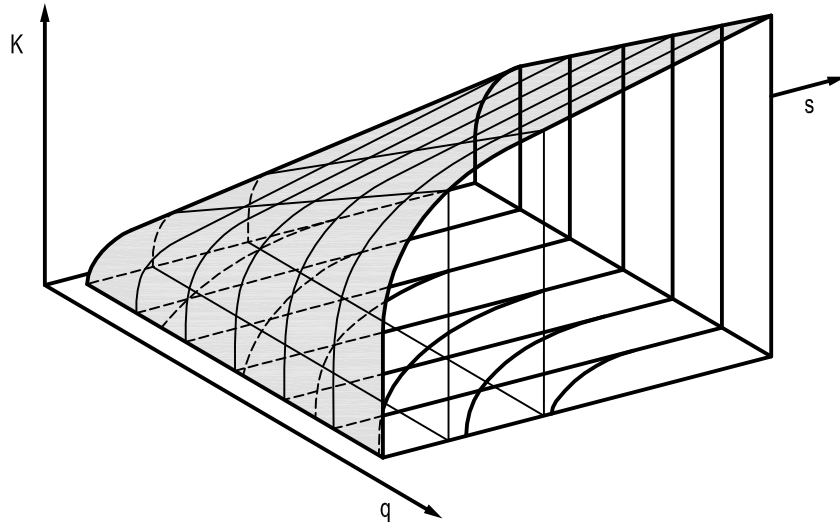
5.6. A faanyagmozgatás hatása az erdészeti úthálózatok szállítási és fenntartási költségeire

Az erdő egyes részeinek megközelíthetőségét biztosító erdészeti utak megépítésük után fenntartásra szorulnak. Az erdészeti úthálózatok legnagyobb forgalmat lebonyolító és a legnagyobb

költséggel létrehozott elemei az erdőterületet a közutakkal összekötő feltáró utak. Ezek kiépítési színvonalára igazodva a forgalom nagyságához és eloszlásához mind a burkolatszélesség mind a pályaszerkezet vastagsága és teherbírása vonatkozásában eltér a közutakétól. A jellemzően egy forgalmi sávossal, a hajlékony útpályaszerkezetek csoportjába sorolható, de a közutakénál vékonyabb pályaszerkezetű erdészeti utak állapotát a földmű sokszor lecsökkent teherbírása és a faanyagszállításból származó lökészerűen jelentkező nehéz forgalom jelentősen rontja. A folyamatosan jelentkező szállítási feladatok biztosítása megkívánja, hogy a fakitermelések várható nagysága és az utak állapota függvényében a szükséges útfenntartási beavatkozásokat végrehajtsuk. Ezek jobb megalapozását segítheti az alábbiakban ismertetésre kerülő elemzés, amely az eddig ismert kutatási eredmények felhasználásával megkísérli megbecsülni azt, hogy az egyre nagyobb hasznos terhet szállító járművek, illetve járműszerelvények kialakítása (főként tengelyelrendezése) milyen hatást gyakorol a faanyagszállítás és az útfenntartás együttes költségére. A költségek ismeretében pedig megadható az a szállítójármű, ami az adott szállítási feladatot minimális költséggel oldja meg a vizsgált útszakasz tönkremeneteli folyamatának bármely időpillanatában. A témában eddig született publikációkat áttekintve megállapítható, hogy azok az útpályaszerkezetek leromlásának folyamatával, az élettartam alatt szükséges útfenntartási beavatkozásokkal, valamint a szállítási, útépitési és útfenntartási költségek egymásra gyakorolt hatásával foglalkoznak. Közutakra az optimális tengelyterhelés számításával adható meg az ideálisnak tekinthető jármű, amely az útfenntartási stratégiának megfelelő leromlást okozza. Egyes számítások szerint a tengelyterhelés 10%-os változtatása a szállítással kapcsolatos összes költséget csupán 1%-kal változtatja meg (Rolt 1981). A várható költségek figyelembevétele mellett kalkulálja az optimális szállítási útvonalat egy brazil fejlesztésű döntéstámogató rendszer. A rendszer használhatóságát 2003-ban ellenőrizték (Lopes és mtsai 2003) és a fenntartási költségek mértékét a feltáróút kiépítési szintjével hozták kapcsolatba. Egy másik kutatás az adott szállítási feladatra leginkább megfelelő szállítójármű kiválasztásával foglalkozik (Aidin és Seyed 2009). A választás három szempont (választéknak megfelelő méret, a használt útnak megfelelő tulajdonságok és a szállítási költségek) alapján, AHP (Analytical Hierarchy Process) módszerrel történik, amely szakértői pontozás alapján határozza meg az egyes szempontok fontossági sorrendjét. A szállítás összes költsége (beleértve az útépités és útfenntartás költségét) és a szállítást végző járművek közötti összefüggéseket vizsgálva kimutatták, hogy van egy optimális teherbírásúnak tekinthető szállítóeszköz, amellyel a legkisebb költséggel lehet megoldani az adott szállítási feladatot (Herpay 1973, Rumpf 1974a, Kosztka 1985, Aidin és Seyed 2009). Az erdészeti utak költségeinek minimalizálására már a tervezéskor törekedni kell, ezért Akay (2006) már a tengelytervezéskor figyelembe veszi a várható fenntartási költségeket és a szállítási feladatot. Mind a közutak, mind az erdészeti utak pályaszerkezetének leromlásával és a szükséges útfenntartási beavatkozások tervezésével foglalkozó tanulmányok a hosszabb élettartamra történő méretezést hangsúlyozzák (Kosztka 1986, Gáspár 2004). Erdészeti utak esetében fontos, hogy rendelkezünk tudatos pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiával, mert csak így lehetséges, hogy egy adott úthálózat állapota és a várható szállítási feladat ismeretében optimálisan használjuk fel az útfenntartásra rendelkezésre álló pénzügyi keretet (Kosztka 1988, Kosztka és Péterfalvi 1993, Primusz 2006).

5.6.1. A szállítási költség alakulása

Az erdőgazdálkodók jövedelmét a megtermelt faanyaggal való megfontolt gazdálkodás alapozza meg. A faanyag értékesítésekor a szállítási költség alakulása nagymértékben befolyásolja a megtermelt faanyag értékének erdészetenél maradó hányadát. Éppen ezért fontos, hogy a szállítási költségek alakulásának megértéséhez néhány nélkülözhetetlen fogalmat megismerjünk. Ezeket Kádas (1972) Közlekedésgazdaságtan című könyve foglalja össze részletesen. A szállítás jellemzésére igen fontos fogalom a szállítási teljesítmény (T). Ez alatt az elszállított faanyagmennyiségnek (q) és a megtett útnak (s) a szorzatát értjük, mértékegysége [tkm]. A szállítási teljesítmény vagy volumen előállításához szükséges ráfordítások pénzértékben kifejezett nagysága a globális



5.15. ábra. Költségfelület, adott áru szállítási költsége a távolság (s) és az áru tömege (q) függvényében.

szállítási költség (K_{sz}). A szállítás költségeit költségnemek szerint alapvetően két nagy csoportra bonthatjuk. Az első csoportba a tevékenységgel arányos (proporcionális) változó költségeket, míg a másikba az úgynevezett fix költségeket soroljuk, melyek azonos nagyságrendben merülnek fel függetlenül a tevékenység terjedelmétől. Ennek megfelelően a teljes szállítási költség (K_{sz}) az állandó költségből (k_a) és a változó költségből (k_v) tevődik össze (Pankotai és Herpay 1965). A változó költségek közé tartoznak: az üzem- és kenőanyag-, a gumi-, a megtett kilométertől függő karbantartási és javítási munkák költségei valamint az úthasználati díjak is. Vagyis a változó költség főként a közvetlen anyag-, munka-, energiaráfordítások költségeiből tevődik össze. Az állandó költségek közé sorolhatjuk: a gépkocsi amortizációját, a biztosítási költségeket, a járművel kapcsolatos adókat, a hiteltörlesztést, a munkabért és közterheit, a távolléti (kiküldetési) díjakat, az étkezési hozzájárulást, a szállásköltséget, az általános költségeket stb. A k_a lényegében előkészítési költség, megfelelő kiegészítésekkel. Az állandó költség adott termelési kapacitás és adott üzemelési viszonyok között alig függ a szállítási volumentől. A változó költség viszont a szállítási volumennel arányosan változik.

Az átlagos szállítási költség adott szállítási távolságon (s) az elszállított faanyag mennyiségének (q) ismeretében a következő összefüggéssel becsülhető meg (Kádas 1972):

$$K_{sz} = c \cdot q^a \cdot s^b \quad (5.16)$$

ahol:

K_{sz} = a szállítás teljes költsége [Ft].

c = költségtényező [Ft/tkm].

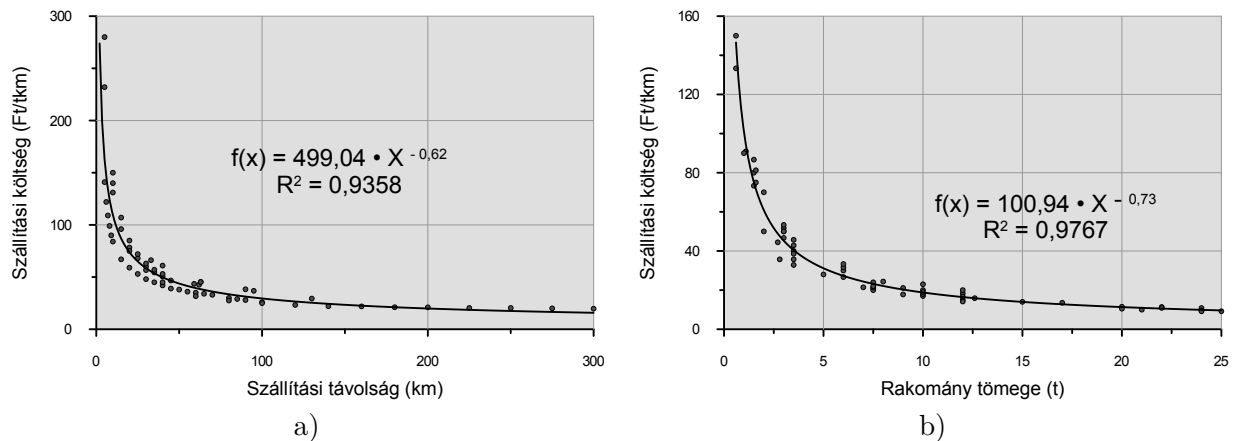
a, b = a szállítási költségnek a teherbírás, ill. a távolság szerinti elaszticitása.

q = a szállítójármű rakománya [t].

s = a szállítási távolság [km].

A K_{sz} globális költség alakulásának q -tól és s -től való egyidejű függését az 5.15 ábra mutatja be.

A továbbiakban fajlagos költség alatt az átlagos szállítási költség és a szállítási teljesítmény hányadosát értjük és K'_{sz} -val jelöljük (Rumpf 1973), mértékegysége a [Ft/tkm]. Tehát a fajlagos költség az egységnyi szállítási teljesítmény költsége. A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy ha a szállítási teljesítmény és a szállított faanyag tömege nem változik, akkor a szállítási távolság növekedésével a fajlagos költség általában csökken. A fajlagos szállítási költségek költségfüggvényét az erdőgazdaságok által szolgáltatott – a 2011-es évre vonatkozó – tarifátáblá-



5.16. ábra. A fajlagos költség változása a szállítási távolság (a) és a rakomány tömege (b) függvényében.

zatok segítségével paramétereztük fel (5.16. a. ábra). Jelenleg az erdőgazdaságok azonban csak a szállítási távolságot veszik figyelembe az árképzéskor. Ennek oka, hogy a faanyagszállításra gazdaságosan alkalmazható tehergépkocsi hasznos teherbírása közel azonos (kb. 12 tonna). Így a fajlagos költségeknek a rakomány méretétől függő változását a közúti szállításra jellemző fuvarozócégek – interneten elérhető – ártáblázatai alapján becsültük (5.16. b. ábra). Ezek felhasználásával az összevont költségfüggvény a következő alakú:

$$K'_{sz} = 3250 \cdot q^{-0,75} \cdot s^{-0,60} \quad (5.17)$$

ahol K'_{sz} a fajlagos szállítási költség [Ft/tkm].

Az összefüggésből látható, hogy adott szállítási távolság mellett a gépkocsi teherbírásának növelésével a fajlagos szállítási költség mindig csökken, így a tengelyterhelés növelése látszik gazdaságosnak. Ezt az eredményt csak azért kaphattuk, mert elhanyagoltuk a rakodási idő szerepét (Rumpf 1976) valamint a növekvő útfenntartási költségeket (Kosztka 1985), amelyek igen nagy hatással vannak a tehergépkocsi teherbírás optimális értékére. Jelenleg a faanyagszállításra alkalmas tehergépkocsi hasznos teherbírása közel azonos, így a szállítási távolság szerepe megnőtt, ezt a magas elaszticitási tényező is jelzi (-0,6).

5.6.2. Az útfenntartás költségeinek becslése

Az útgazdálkodás költségnemei között tartjuk nyilván az építés és a fenntartás költségeit. Az útépitési költségeket korábban megépült utak nyilvántartásaiból, becsléseiből és vizsgálataiból lehet származtatni. A fenntartási költségeket pedig abban az esetben, ha a gazdálkodást folytató szervezet rendelkezik útfenntartási rendszerrel (Maintenance Management System – MMS) akkor a nyilvántartott adatok elemzésével határozhatóak meg. Sajnos jelenleg az erdőgazdaságok ilyen egységes rendszerrel nem rendelkeznek, így a fenntartási költségeket a burkolatállapot és a fenntartási munkákat végző brigádok teljesítménye alapján lehet előre becsülni. Az útfenntartási költségek körébe sorolhatók a javítás, a karbantartás és a felújítás költségei. Ezek egyrészt az út forgalomba helyezése óta eltelt időtől (anyagöregeedés, kopás), másrészt az úton áthaladt nehézforgalom nagyságától függenek (Timár 2002). Egy adott pályaszerkezettel megépült út állapotának időbeni változását a már ismertetett leromlási görbe fejezi ki, amelynek segítségével meghatározhatóak a szükséges beavatkozások időpontjai. A 11. ábráról az is jól leolvasható, hogy a fajlagos fenntartási költségek jövőbeni alakulása nagymértékben függ az út forgalmi terhelésétől és annak állapotromlásától. A leromlási modellek így egyben költségfüggvényként is szolgálnak.

A fenti megállapítások tükrében az útfenntartás átlagos költségét a hasznos egyenérték csökkenés mértékével fejezzük ki. Ehhez a teherbírás-változás leromlási modelljét (5.3) használhatjuk fel:

$$\Delta H_e = H_{e_0} \left(1 - \frac{1}{1 + e^{\beta \log(F_n/F_N)}} \right) \quad (5.18)$$

ahol ΔH_e a hasznos egyenérték csökkenés a forgalom függvényében [ecm].

Az összefüggés szerint a szállítási feladat által okozott hasznos egyenérték csökkenést kell visszapótolni, hogy az út kezdeti szolgáltatási színvonalát (állapotát) helyreállítsuk. Ennek megfelelően az erdőgazdasági utak átlagos fenntartási költségeit az Erdőfeltárási Tanszéken készült felújítási tervek költségbecslései alapján a következő összefüggéssel írhatjuk le:

$$K_f = a \cdot \Delta H_e + b \quad (5.19)$$

ahol:

K_f = egy m^2 út átlagos útfenntartási költsége [Ft/ m^2].

a = egy ecm pályaszerkezeti réteg építési költsége egységnyi felületen [Ft/ecm $\cdot m^2$].

b = forgalomtól független állandó fenntartási költség [Ft/ m^2].

Az a tényező értéke a felújítási tervek alapján 250-350 Ft/ecm $\cdot m^2$ között van. A b tényező egy, a forgalomtól függetlenül megjelenő állandó fenntartási költséget feltételez (Ft/ m^2). Ez a költség az, amit a még kiváló állapotú utakon is megjelenő apróbb lokális hibák rendbetételére kell fordítani. Ezen hibák kijavítása azért fontos, mert az úthibák elfajulását akadályozzák meg, így az út leromlási folyamata lassítható és a szállítás által generált fenntartási költségek alacsonyan tarthatóak. Mivel ezek a munkák tapasztalataink szerint sajnos sok esetben elmaradnak, így a további számítások alatt $b = 0$ feltételezéssel élünk. Ahhoz, hogy a szállítási és az útfenntartási költségeket összegezni tudjunk, a faanyagszállításból származó fenntartási költségeket is Ft/tkm-ben kell kifejezni:

$$K'_f = 1000 \cdot \frac{B_{sz}}{Q} \cdot K_f \quad (5.20)$$

ahol:

K'_f = egy tonna rakományra jutó átlagos útfenntartási költség [Ft/tkm] egy km hosszon.

B_{sz} = a burkolatszélesség [m].

Q = a vizsgált időszakban leszállított fatérfogat tömege [t].

A szállítási (K'_{sz}) és a fenntartási költségek (K'_f) így már összegezhetőek. A végső költségek kialakításánál figyelembe kell még venni azt a tény is, hogy a szállítójárművek útjuk nagy részét közúton teszik meg, melynek fenntartási költségei nem terhelik az erdőgazdaságokat. Így a járművek növekvő teherbírásából eredő kiadások ezen a szakaszokon elmaradnak:

$$K' = K'_f \left(\frac{R_f}{R_f + R_p} \right) + K'_{sz} \quad (5.21)$$

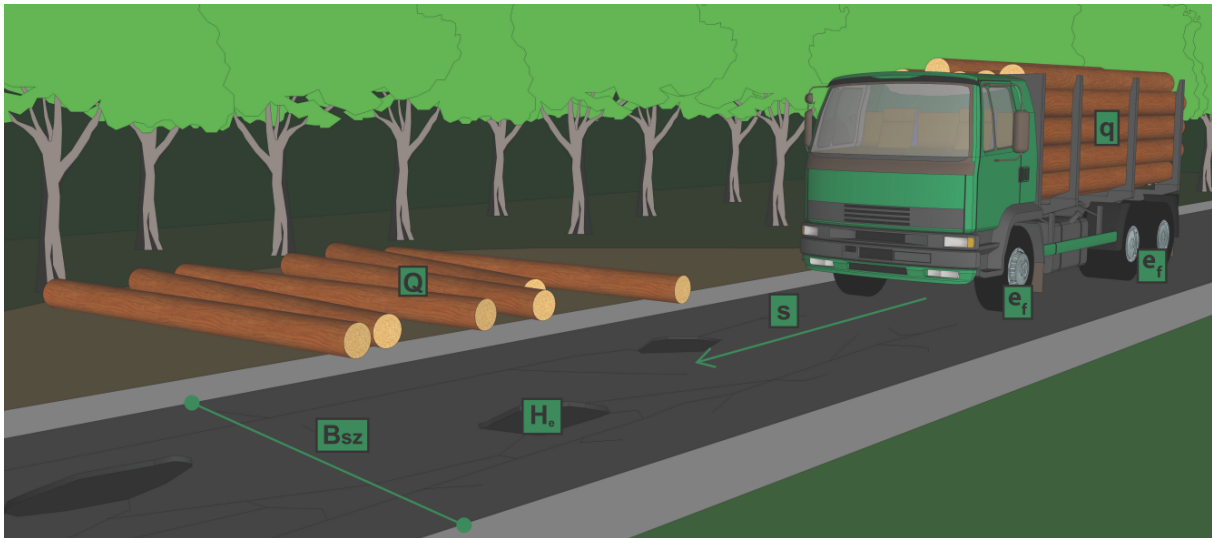
ahol:

K' = a faanyagszállítás és az útfenntartás együttes fajlagos költsége [Ft/tkm].

R_f = a szállítással érintett erdészeti út hossza [km].

R_p = a szállítással érintett közút hossza [km].

Az így felírt költségfüggvény már számíthatóvá teszi, hogy egy szállítási feladat milyen költségeket okoz adott útállapot mellett illetve azt, hogy adott teherbírású útszakaszokon milyen forgalmi terhelés bonyolítható le gazdaságosan. Fontos még megjegyeznünk, hogy a szállítási költségeket leíró (5.17) összefüggés csak jól vagy közepesen járható útfelület esetén érvényes. Azon túl a fajlagos szállítási költségek már nem csökkenek, hanem folyamatosan növekednek a megtett út függvényében. Ezért csak a minimálisan elfogadható szint eléréséig használható a (K'_{sz}) összefüggés.



5.17. ábra. A szállítási és fenntartási költségek együttes becslésére felírt modell paramétereinek grafikus ábrázolása.

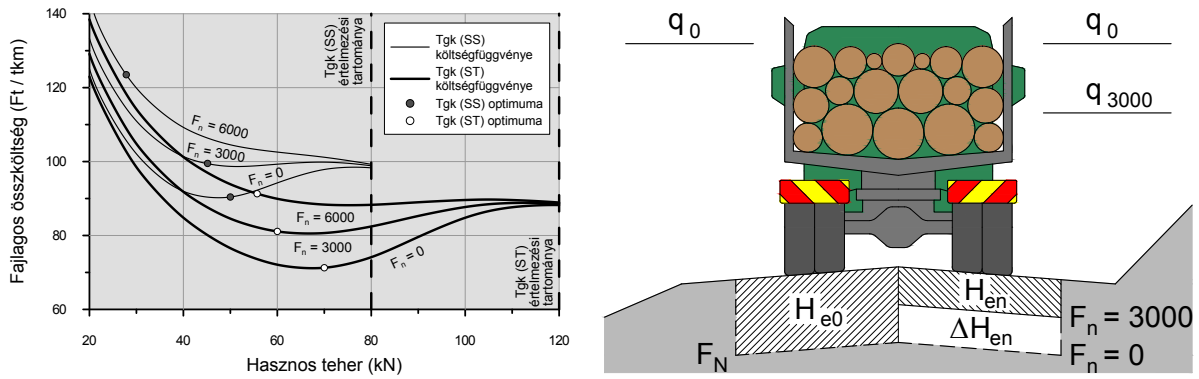
5.6.3. A modell bemutatása egy jellemző erdészeti út példáján

A felállított modell működését egy konkrét szállítási feladatra kidolgozott számpélda mutatja be. A számítás alatt egy adott teherbírással rendelkező meglévő erdészeti út esetén keressük azt a hasznos teherbírással rendelkező tehergépkocsit, amellyel a szállítás folyamata gazdaságosan elvégezhető. A levezetett összefüggéseket az egyenérték-vastagságnak megfelelő tartományon belül vizsgáljuk. Kiindulási adatok:

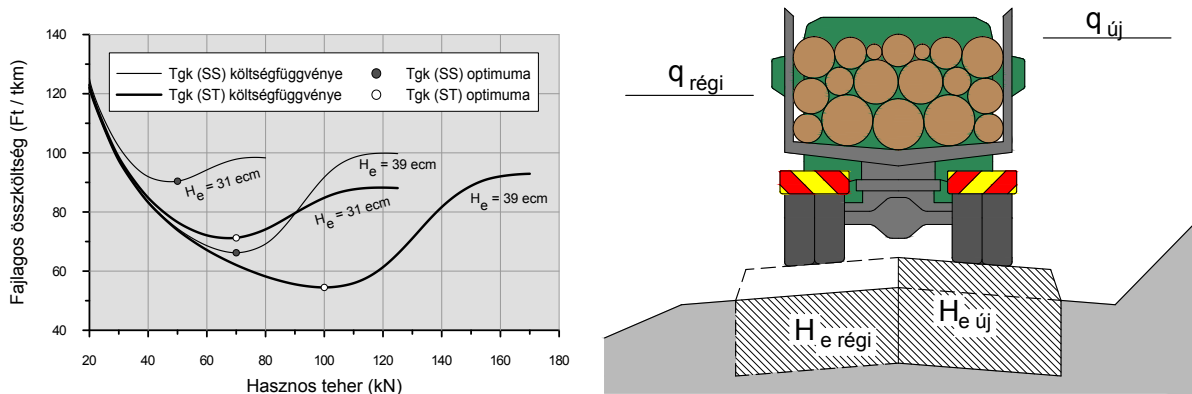
A szállítási feladat:	$Q = 300000 [m^3]$
A meglévő út egyenérték-vastagsága:	$H_e = 31,00 [ecm]$
A földmű teherbírása:	$CBR = 5 [\%]$
Az út terhelhetősége egységtengely-áthaladásban:	$F_N = 10000 [db]$
Az úton már lefutott forgalomterhelés:	$F_n = 0 [db]$
A hajlékony pályaszerkezet merevségi tényezője:	$\beta = 3$
Az útburkolat szélessége:	$B_{sz} = 3,5 [m]$
Szállítási távolság:	$s = 50 [km]$
A szállítási távolság erdészeti útra eső része:	$R_f = 20 [km]$
A szállítási távolság közútra eső része:	$R_p = 30 [km]$
Rakodás költsége:	$K_r = 400 [Ft/m^3]$

Az (5.17)képlettel kiszámítjuk a szállítási költségeket. Ezen értékek szóló és tandem tengely esetén megegyeznek. Az (5.18) képlettel számítjuk a hasznos egyenérték csökkenéseket. Egy tonna rakomány átlagos útfenntartási költségeit egy km hosszon az (5.20) képlettel becsültük meg. A faanyagszállítás és útfenntartás együttes költségét pedig az 5.21 összefüggéssel összegeztük. A számítások alapján kapott költségfüggvényeket ábrázolva az alábbi következtetéseket vonhatjuk le. A fenntartási költségek az állapot leromlásával arányosan növekednek. Az állapotleromlás vége az út tönkremenetele, mely alatt az egyenérték-vastagság a felére csökken, ezért a függvények eredményeit is csak eddig a tartományig értékeltük. Ebből következik, hogy a fenntartási költség függvénye felülről korlátos. A szállítási költség a hasznos terhek növelésével egyre csökkenő tendenciát mutat. A 12-es grafikonról leolvasható, hogy tandem tengely esetén a 70 kN-os hasznos terhelésnél van a költség függvény minimuma. Szóló tengely esetén pedig ez az érték 50 kN hasznos terhelésnél található.

Az egyesített költségek mellett még megemlítjük az építési költséget, mely az általunk alapul vett út esetében 205 Ft/tkm. Megnövelve az eddig áthaladt forgalomterhelést nulláról



5.18. ábra. Költségfüggvény eltérő útállapotoknál.



5.19. ábra. Költségfüggvény az erősítő réteg után.

$F_n = 3000$, majd $F_n = 6000$ -re azt tapasztaljuk, hogy a költséggörbék minimuma egyre feljebb tolódik, miközben a hasznos teherbírás lecsökken (5.18. ábra). Ezért fontos nagyon, hogy az út teherbírása a szállítási feladattal arányos legyen. Ellenkező esetben a nagyobb terhelésű tehergépkocsik drasztikusan megnövelik a fenntartási költségeket. Meg kell jegyezni, hogy az ábrán csak az $F_n = 0$ függvényhez tartozó értelmezési tartomány határa van feltüntetve. A többi esetben, ha az optimum nem a minimumnak látszó helyen van jelölve, akkor a függvény azon a ponton túl nem értelmezhető. A számítás második felében a kiindulási utunk pályaszerkezetét megerősítettük 4 cm aszfaltréteggel (8 cm). A beépített 4 cm aszfaltréteg fajlagos költsége körülbelül 23 Ft/tkm, 2011-es árszinten. A szállítás és fenntartás együttes költségének változását az 5.3. táblázat foglalja össze. Az 5.19. ábrán láthatjuk, hogy az egyesített költségértékek csökkentek, valamint a költségminimum eltolódott a magasabb hasznos terhelésű járművek irányába. Egyértelműen megállapítható, hogy a tandem tengellyel rendelkező tehergépjárművek összköltsége lényegesen alacsonyabb, mint a szóló tengelyű járművéké ezért ezek használata indokolt az erdészeti szállításban. A modell használatával lehetőség nyílik a szállítási és fenntartási költségek, az útállapot és a hasznos terhelésű gépjárművek egymásra hatásának együttes szemléltetésére. Ezzel segítve elő egy komplex szemlélet kialakítását, mely megalapozza a fenntartási stratégia szállítási stratégiába való integrálását.

5.7. Összefoglalás

A bemutatott modellben összefüggést kerestünk az erdészeti szállítójárművek hasznos terhelése és a szállítással kapcsolatos meghatározó költségek alakulása között. Az összefüggés meghatározására költség-előrejelző modellt állítottunk fel, amely a raksúly függvényében adja meg a költségeket. A raksúly alkalmazása azért célszerű, mivel a gyakorlatban ennek meghatározása

Szállító- jármű	q (kN)	B (-)	Forduló száma (db)	Tengely áthaladás (db)	K'_{sz} (Ft/tkm)	ΔH_e (ecm)	K'_f (Ft/tkm)	K' (Ft/tkm)
Tgk (ss)	50	0,13768	60000	8261	73,8	11,867	16,61	90,41
Tgk (st)	70	0,14002	42857	6001	61,8	6,762	9,47	71,27
4 cm aszfalterősítés után								
Tgk (ss)	70	0,44100	42857	18897	61,80	3,148	4,41	66,21
Tgk (st)	100	0,54000	30000	16203	51,40	2,200	3,08	54,48

5.3. táblázat. A szállítójárművek jellemzői a hasznos terhelés és a tengelyelrendezéstől függően.

és ellenőrzése a legegyszerűbb. Feltételeztük, hogy a szállítás összköltségét a tényleges szállítási költség és a fenntartás költsége együttesen határozza meg. A fajlagos szállítási árakat erdőgazdasági, valamint általános fuvarozói tarifatablázatok függvényesítése alapján állapítottuk meg. Az árképzésben nem játszott szerepet a szállítási feladat nagysága, viszont a költségekhez hozzászámoltuk a rakodás költségeit. A szállítás m^3 -re vetített fajlagos költsége a távolság, valamint a raksúly növelésével csökkent. A fenntartási költséget a hatékony egyenérték-vastagság pótlás költségeként határoztuk meg elkészült tervek alapján. Értéke 250-350 Ft/ecm $\cdot m^2$ -re adódott. A hatékony egyenérték-vastagság csökkenését a lefutott forgalom függvényében a (14) képlettel számítottuk. A forgalom meghatározásánál adott szállítási feladat elvégzéséből indultunk ki. A szállítási feladat által generált forgalmat különböző raksúlyú járművek esetében vizsgáltuk a felállított regressziós modellek segítségével. A forgalmat egységtengely-áthaladásban kellett kifejezni a raksúly függvényében. Egy jármű egy fordulójának forgalomterhelését tengelyei hatásának összegeként számítottuk. A (10) képlettel összefüggésbe hoztuk a raksúlyt és a forgalomterhelést. A tengelyek egységtengelyre történő átszámítását az (1) AASHO formulával végeztük. A modellünk értékelésével kimutattuk, hogy adott útállapot és szállítási feladat esetén az alkalmazott feltételek mellett a költségfüggvénynek létezik optimuma. Ezzel kiválaszthatóvá vált a körülményeknek leginkább megfelelő – hasznos teherbírással rendelkező – tehergépkocsi. Így a modell az útfenntartási rendszerek értékes eleme lehet a későbbiekben. A számpélda alapján elmondható, hogy a jelenleg meglévő átlagos aszfalt burkolatú erdészeti utak esetén optimálisnak tekinthető az 50 kN hasznos terhelésű szóló, ill. a 70 kN hasznos terhelésű tandem hátsó tengelyelrendezésű tehergépkocsi. A modell felépítése alatt kétféle módon is igazoltuk, hogy robosztus becslések esetén a tengelyek rongáló hatásának meghatározására az AASHO formula alkalmazható. Emellett igazoltuk azt a korábbi megállapítást is, hogy a hátsó tengely terhelése és a raksúly között lineáris kapcsolat áll fenn. A későbbiekben figyelembe kívánjuk venni a szállítási árak útállapottól – és így raksúlytól – való függését, valamint az állandó, útállapottól független fenntartási költségek alakulását is. Végezetül fontos megjegyezni, hogy a fuvarozócégek mindig abban lesznek érdekelték, hogy egy forduló alatt a lehető legtöbb faanyagot szállítsák le, mert így tudják alacsonyan tartani fajlagos költségeiket. Ennek pedig az a hatása, hogy megnövekedett terhelés éri az útpályát, ami a feltáróutak rohamos tönkremeneteléhez vezet. Jelenleg az erdőgazdaságok a szállítási és a látenszen felhalmozódó fenntartási költségek együttes terhét kénytelenek elviselni, amiből csak tudatos útfenntartás esetén sikerülhet kitörni.

Felhasznált irodalom

- 2509/3 MSZ (1989). *Útpályaszerkezetek Teherbíró Képességének Vizsgálata: a tárcsás vizsgálat*. Hungary. Magyar Szabványügyi Hivatal.
- 2509/4 MSZ (1989). *Útpályaszerkezetek Teherbíró Képességének Vizsgálata: a behajlás mérése*. Hungary. Magyar Szabványügyi Hivatal.
- ÁESZ (1999). *Digitális Erdészeti Térképek (DET) formátum specifikációja*. Végrehajtási Utasítás. Állami Erdészeti Szolgálat.
- Ambrus Kálmán, Pallós Imre (2004). *Közlekedési létesítmények pályaszerkezetei*. BME Építőmérnöki Kar.
- Anderson Steven (2008). “Pavement Deflection Measurements Using the Geobeam”. In: *Mechanistic Design and Evaluation of Pavements*. Workshop. URL: <http://www.pavementanalysis.com>.
- Bácsatyai László et al., (2007). *GPS-mérések a lombok alatt*. OTKA Magazin. URL: http://www.otka.hu/index.php?akt_menu=3678.
- Bakó András, Gáspár László (2000). “PMS Models in Hungary”. In: *Proceedings from the 1st European Pavement Management Systems Conference*. Budapest, Hungary, pp. 1–8.
- Baksay János (1976). “Útpályaszerkezetek behajlásmérése automatikus mérőkocsival”. In: *Mélyépítéstudományi Szemle XXVI.12*, pp. 529–536.
- Bay James A. Stokoe Kenneth H. (1998). *Development of a Rolling Dynamic Deflectometer for Continuous Deflection Testing of Pavements*. English. Project Summary Report 1422-3f. The University of Texas at Austin.
- Beck M. (1981). “Die Erhaltung unserer Strassennetze”. In: *Strasse und Verkehr* 452, pp. 85–87.
- Boromisza Tibor (1958). “Hajlékony útburkolatok romlásának okai”. In: *Mélyépítéstudományi szemle* 8.4–5. ISSN 0025-9039, pp. 220–224.
- (1959). “Útburkolatok behajlása”. In: *Mélyépítéstudományi Szemle IX.12*, pp. 564–571.
- (1976). “Aszfaltburkolatú utak teherbírásának vizsgálata behajlásméréssel”. In: *Mélyépítéstudományi Szemle XXVI.12*, pp. 521–528.
- (1993). “Útpályaszerkezetek dinamikus teherbírásmérésének bevezetése”. In: *Közlekedésépítési és Mélyépítéstudományi Szemle XLIII.9*, pp. 327–337.
- (1997a). *Aszfaltburkolatú útpályaszerkezetek méretezésének gyakorlata, Méretezési Praktikum*. 16. Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium, Közlekedési Főosztály, Közúti Közlekedési Füzetek, Budapest.
- (1997b). “Útpályaszerkezetek teherbírásmérése és az értékelés jelenlegi hazai gyakorlata”. In: *Közúti Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Szemle XLVII.3*, pp. 142–144.
- Boromisza Tibor, Abdelaziz Dahbi (1980). “Ejtősúlyos berendezés az aszfaltanyagok dinamikus rugalmassági modulusainak laboratóriumi vizsgálatára”. In: *Mélyépítéstudományi Szemle XXX.12*, pp. 547–555.
- Carey W. N. Irick P. E. (1960). *The Pavement Serviceability Performance Concept*. English. Tech. rep. 250. Highway Research Board.
- Cser István (1961). “Az útpálya behajlásmérésének elméleti alapja”. In: *Mélyépítéstudományi Szemle XI.11*, pp. 500–503.
- Csorba Árpád (1999). *Burkolatfelület állapotának minősítése Roadmaster rendszerrel*. Útügyi Műszaki Előírás ÚT 2-2.118:1999. Magyar Útügyi Társaság.

- Czímber Kornél (1997). *Geoinformatika*. Egyetemi jegyzet. Soproni Egyetem.
- Dähnert Matthias (2005). “Messwertgestützte Ermittlung der Tragfähigkeit von bestehenden Strassen”. German. Diplomarbeit. Bauhaus-Universität Weimar, Fakultät Bauingenieurwesen.
- Detrekői Ákos, Szabó György (1997). *Bevezetés a térinformatikába*. Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó.
- Fazekas György (1978). “A felszíni süllyedések számításának új módszerei metróalagutaknál, különös tekintettel az időbeli alakulásra”. In: *Mélyépítéstudományi Szemle* XXVIII.1, pp. 13–20.
- Forrainé Veronika Hernádi (2004). “Az Országos Közúti Adatbank (OKA2000) bemutatása”. In: *Közúti és mélyépítési szemle* 54.7, pp. 6–10.
- Gáspár László (1968). *Mérnöki szerkezetek vizsgálata*. Kézirat. Tankönyvkiadó, Budapest.
- (2003). *Útgazdálkodás*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Grätz Bernd (1999). “Az ejtősúlyos deflektométerek lehetőségei és határai az útpályaszerkezetek értékelésénél”. In: *Közúti és Mélyépítési Szemle* XLIX.6, pp. 236–239.
- (2001). “Möglichkeiten und Grenzen des Falling-Weight-Deflectometers”. German. In: *Straße und Autobahn* 52.1. ISSN: 0039-2162, pp. 18–32.
- Haas R. C. G. Hudson W. R. (1971). “The Importance of Rational and Compatible Pavement Performance Evaluation”. English. In: *Improving Pavement and Bridge Deck Performance*. 116. Highway Research Board; California Division of Highways. Highway Research Board, pp. 92–111.
- Hafner Franz (1971). *Forstlicher Straßen- und Wegebau*. Hardcover. ISBN 3-7040-0382-4. Wien: Österreichischer Agrarverlag.
- HD29/94 (2008). *Design Manual For Roads and Bridges, Structural Assessment Methods*.
- Herpay Imre (1967). “Erdei utak pályaszerkezetének méretezése az új hazai utasítás szerint”. In: *Az Erdő* XVI.8, pp. 337–345.
- Herpay Imre et al., (1975). *Jelentés az NDK-MNK együttműködés keretében épült Makk-pusztai kísérleti úton 1975. évben végzett munkákról*. Ed. by Imre Herpay. Kutatási Jelentés. EFE Erdészeti Szállítástani Tanszék, Sopron, p. 10.
- Hoffmann Zsolt (1985). “Útpályaszerkezetek teherbírásmérése a zürichi próbapályán”. In: *Mélyépítéstudományi Szemle* XXXVI.5, pp. 206–210.
- Horak Emile (1987). “The Use of Surface Deflection Basin Measurements in the Mechanistic Analysis of Flexible Pavements”. In: *Sixth International Conference Structural Design of Asphalt Pavements*. Vol. 1. University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA.
- Horn Burkhard (1995). “International Co-Operation on Infrastructure and Heavy Freight Vehicles Within OECD”. In: *4th International Symposium on Heavy Vehicle Weights and Dimensions*. USA.
- Hossain Mustaque, Zaniewski John P. (1991). “Characterization of Falling Weight Deflectometer Deflection Basin”. English. In: *Backcalculation of Pavement Moduli*. Transportation Research Record 1293. ISBN 0-309-05101-0. Washington, D.C: Transportation Research Board, National Research Council, pp. 1–11.
- Hothan Jürgen, Schäfer Florian (2004). “Analyse und Weiterentwicklung der Bewertung von Tragfähigkeitsmessungen”. German. In: *Straße und Autobahn* 55.7. ISSN: 0039-2162, pp. 376–382.
- Huang Yang H. (2004). *Pavement Analysis and Design*. English. Second. Pearson Education, Inc., p. 775.
- Jendia Shafik (1995). *Bewertung der Tragfähigkeit von bituminösen Straßenbefestigungen*. German. Veröffentlichungen des Institutes für Straßen- und Eisenbahnwesen der Universität Karlsruhe, Heft 45, Karlsruhe.
- Kézdi Árpád (1979). *Talajmechanika II*. Negyedik. Tankönyvkiadó, Budapest.

- Kim Y. Richard et al., (2000). *Assessing Pavement Layer Condition Using Deflection Data*. English. Final report submitted to National Cooperative Highway Research Program NCHRP 10-48. North Carolina State University, Department of Civil, Construction & Environmental Engineering.
- Kisfaludi Balázs et al., (2012). “Erdészeti utak szubjektív állapotfelvétele és értékelése”. In: *Erdészettudományi Közlemények* 2.1, pp. 89–106.
- Koren Csaba (1986). “A nehéz gépjárművek tengelysúly-összetétele és egységtengelyre való átszámítása hazánkban”. In: *Mélyépítéstudományi Szemle* XXXVI. évf.10, pp. 421–426.
- Koren Csaba, Tánzos Lászlóné, Timár András (2011). “A közúthálózat a nemzeti vagyon eleme, vagyongazdálkodás”. In: *Közlekedéscsökkentési szemle* 61.1, pp. 4–1.
- Kosztka Miklós (1978). *Erdei utak pályaszerkezetének teherbírása*. Erdészeti és Faipari Tudományos ülés, Budapest. Kézirat.
- (1986). “Erdészeti utak fenntartási rendszere”. Kandidátusi értekezés. Sopron: Erdészeti és Faipari Egyetem.
- (1988). *A mátrai EFAG útfenntartási rendszere*. Tech. rep. Sopron: Erdészeti és Faipari Egyetem, Erdőhasználati és Feltárási Tanszék.
- (1990). *Erdei feltáráshálózat építése és fenntartása*. Kézirat. EFE Jegyzetsokszorosító. Sopron.
- (2000). *Erdőfeltárási a természetközeli, többcélú, többtulajdonosú erdőgazdálkodás feltételei között*. Kézirat. Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Tanszék, Sopron.
- (2001). *Erdészeti utak fenntartási rendszere*. NYME Erdőmérnöki Kar, Sopron.
- (2009). *Erdészeti Útépités, Erdészeti Utak Építése*. Egyetemi tankönyv. Országos Erdészeti Egyesület (OEE), Budapest.
- Kosztka Miklós et al., (2008). “Erdészeti utak teherbírásának mérése”. In: *A Magyar Tudományos Akadémia, Agrártudományok Osztálya, Agrárműszaki Bizottság, XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás előadásainak és konzultációs témáinak összefoglalói*. Ed. by László Tóth és László Magó. Vol. 3. 32. A Magyar Tudományos Akadémia, Agrártudományok Osztálya, Agrárműszaki Bizottság. SZIE, Gödöllő, pp. 75–79.
- Kottek Péter (2008). *Magyarország erdőállományai - 2006*. Budapest: Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal Központ Erdészeti Igazgatósága. URL: http://www.mgszh.gov.hu/erdeszeti_cd/index.htm.
- Kovács Gyula (2003). “Erdészeti utak felmérése korszerű eszközökkel”. In: *Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozása*. MTA Agrártudományok Osztálya. Gödöllő.
- Kovács Illés (1979). *Faanyagismeret*. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó, p. 382.
- Kraus Karl (1994). *Fotogrammetria*. Magyar kiadás, 1998. Bécsi Műszaki Egyetem Fotogrammetriai Tanszék: TERTIA Kiadó, Budapest.
- LeClerc Roger V. Marshall T. R. (1970). *Washington's pavement rating system: procedures and applications*. Washington Dept. of Transportation, p. 48. URL: <http://books.google.hu/books?id=JLVkGwAACAAJ>.
- Lee Jeffrey L. Stokoe Kenneth H. (2005). *Improved Testing Speed of the Rolling Dynamic Deflectometer: A Summary*. English. Project Summary Report 0-4357-S. The University of Texas at Austin.
- Loizos Andreas (2006). “RIMS - Közúti Infrastruktúra-gazdálkodási Rendszer: kísérlet a globális PMS megteremtésére”. In: *Közúti és mélyépítési szemle* 56.5, pp. 24–33.
- Luhmann Niklas (1971). *Politische Planung, Aufsätze zur Soziologie von Politik und Verwaltung*. Opladen. Westdeutscher Verlag. ISBN: 9783531110738. URL: <http://books.google.hu/books?id=-CytctogtHsC>.
- Markó Gergely (2006). “Informatika az erdészeti feltáráshálózatok tervezésében és nyilvántartásában”. PhD thesis. Sopron: Nyugat-Magyarországi Egyetem, Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási tudományok Doktori Iskola, Erdészeti Tudomány Program.
- (2011). “ABBA - Advanced Benkelman Beam Apparatus”. Blogpost. URL: <http://markogergely.hu/kutatas/abba/>.

- Markó Gergely, Péterfalvi József (2005). “Erdészeti utak tengelyének mérése GPS technológiával”. In: *Agrár-Műszaki Bizottság Kutatási és Fejlesztési Tanácskozása*. MTA Agrártudományok Osztálya. Gödöllő.
- Markó Gergely, Primusz Péter, Péterfalvi József (2011). “Hajlékony útburkolatok élettartamának meghatározása a továbbfejlesztett kézi behajlásmérés alkalmazásával”. In: *Kari Tudományos Konferencia*. Ed. by Lakatos Ferenc és Szabó Zília. Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar. NymE Kiadó, p. 315.
- Markó Gergely et al., (2010). *Az erdészeti utak teherbírásmérési módszerének továbbfejlesztése a KAEG Zrt. Hármastarjáni erdészeti útjának példáján*. Kutatási Jelentés. NyME-ERFARET. Sopron: Geomatikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet.
- Márkus Béla, Végső Ferenc (1995). *Térinformatika*. Egyetemi jegyzet. Erdészeti és Faipari Egyetem Földmérési és Földrendezési Főiskolai Karának Térinformatikai Tanszéke, Székesfehérvár.
- Molenaar A.A.A. (1983). “Structural performance and design of flexible road constructions and asphalt concrete overlays”. PhD thesis. Delft (Netherlands): Technische Hogeschool.
- Nemesdy Ervin (1971). *Utak és autópályák pályaszerkezete*. Technológia-teherbírás. Budapest: Műszaki Könyvkiadó, p. 589.
- (1985). *Útpályaszerkezetek méretezésének és anyagállandó-vizsgálatainak mechanikai alapjai*. Kutatási részjelentés 2. Budapest: BME Útépítési Tanszék.
- Orbay László (1990). *A többváltozós regressziószámítások alapjai és fagazdasági alkalmazása*. Kézirat. Erdészeti és Faipari Egyetem, Faipari Mérnöki Kar. Sopron.
- Palmgren A. G. (1924). “Die Lebensdauer von Kugellagern (Life Length of Roller Bearings. In German)”. In: *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure (VDI Zeitschrift)* 68.14. ISSN 0341-7258, pp. 339–341.
- Primusz Péter, Tóth Csaba (2009). “A behajlási teknő geometriája”. In: *Közlekedésepítési Szemle* 59.12, pp. 18–24, 28. URL: http://efelt.emk.nyme.hu/primuszp/publications/articles/a_behajlasi_tekno_geometriaja.pdf.
- Primusz Péter et al., (2011). “A faanyagmozgatás hatása az erdészeti úthálózatok szállítási és fenntartási költségeire”. In: *Erdészettudományi Közlemények* 1.1, pp. 135–151.
- Rabaiotti Carlo (2008). “Inverse Analysis in Road Geotechnics”. Nr. 18135. PhD thesis. Zürich: Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich. DOI: [10.3929/ethz-a-005774018](https://doi.org/10.3929/ethz-a-005774018).
- Rumpf János (1971). “Erdőgazdasági útpályaszerkezetek méretezése, a szállítási feladat és a szállítást lebonyolító járművek alapján”. In: *Az Erdő* XX.6, pp. 249–259.
- (1974a). “A szállítójárművek tengelyrendezésének hatása a szállítás összes költségére”. In: *Az Erdő* XXIII.2, pp. 54–59.
- (1974b). “Az erdészeti szállítás összes költségének csökkentése optimális teherbírású és tengelyrendezésű gépkocsik alkalmazásával”. PhD thesis. Sopron: Erdészeti- és Faipari Egyetem.
- Schönberger Gerhard (1983). “Erfassen und Bewerten des Strassenzustandes”. In: *Strasse und Tiefbau* 2, pp. 22–26.
- Scharnitzky Viktor (1989). *Matematikai képletgyűjtemény főiskolásoknak*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.
- Shahin M. Y. (2005). *Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*. English. Second. Springer Science+Business Media, New York, p. 572.
- Shahin M. Y. Darter M. I. Kohn S. D. (1976). *Development of a Pavement Maintenance Management System*. Airfield Pavement Distress Identification Manual AFCEC-TR-27.
- Shahin M. Y. Walther J. A. (1999). *Pavement Maintenance Management for Roads and Streets Using the PAVER System*. Tech. rep. M-90/05. USACERL.
- Smith R. E. Rodenborn S. Wiggins J. (1986). *Bay Area PMS User Guide*. Tech. rep. Oakland, CA: The Metropolitan Transport Commission.

- Strunck Karl (1968). "Rugalmas pályaszerkezetek méretezési kritériumai". In: *Mélyépítéstudományi Szemle* XVIII.10, pp. 458–467.
- Széchy Károly (1957). *Alapozás*. 2nd ed. I. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, p. 432.
- Szalai József (1994). *A faanyag és faalapú anyagok anizotróp rugalmasság- és szilárdságtana. A mechanikai tulajdonságok anizotrópiája*. 1. Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron, p. 398.
- Török Kálmán (2000). *Az aszfaltkeverékek mechanikai, és fizikai tulajdonságainak laboratóriumi vizsgálatai*. BME Út és Vasútépítési Tanszék. Budapest. URL: <http://www.muszeroldal.hu/measurenotes/aszfaltvizsgalat.pdf>.
- Tóth Csaba (2007). "A teherbíróképesség meghatározásának ellentmondásai és lehetőségei". In: *Közúti és Mélyépítési Szemle* 57.8, pp. 13–20.
- Tóth Ernő (1988). "Szemelvények a holland útfenntartási kutatási és fejlesztési munkából". In: *Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Szemle* XXXVIII. évf.9, pp. 395–399.
- Tóth Ernő, Zsiga-Kiss Endre (1986). "Az útpályaszerkezetek teherbírásszámításának néhány kérdése". In: *Mélyépítéstudományi Szemle* XXVI.10, pp. 392–403.
- Tombor Sándor, Boromisza Tibor, Hoffmann Zsolt (1985). *Teherbírási rendszerek továbbfejlesztése és a tényleges talajteherbírási*. KTI Pályaszerkezeti Osztály, Kutatási jelentés.
- Van Gurp CAPM (1995). "Characterization of seasonal influences on asphalt pavements with the use of falling weight deflectometers". English. ISBN 90-9008036-8. PhD thesis. Delft University of Technology.
- World Bank (1996). *Sustainable Transport: Priorities for Policy Reform*. Washington, DC.

Ábrák jegyzéke

1.1.	A strukturált és a félig strukturált problémák kapcsolata DSS-en belül.	6
1.2.	Az információs rendszerek alapelemei.	7
1.3.	Az adatok megjelenítés az OKA 2000 rendszerben.	10
1.4.	Az erdészeti útügyi információs rendszer és kapcsolatai (Markó, 2006).	14
1.5.	A domborzatmodell horizontális felbontásának finomítása.	16
1.6.	Domborító lineáris filter és a vektoros felületből levezetett szintvonalak.	16
1.7.	A GPS-méréssorozat eredménye.	19
1.8.	Google Maps (bal) és Bing Maps (jobb) a FÖMI vektoros réteg alatt.	20
1.9.	Rekonstruált úttengely (piros vonal), Bing Maps vektor réteg (fehér vonal).	20
1.10.	Egy általános pályaszerkezet teljesítmény előre becsülő modell (Gáspár, 2003).	23
2.1.	A számításban szereplő tehergépkocsik és pótkocsik tengelyelrendezései.	33
2.2.	A raksúly és a hátsó tengelyterhelés kapcsolata (a), a hátsó tengelyterhelés és a rongáló hatás kapcsolata (b).	33
3.1.	Kérdőlap az útburkolat PSI becsléséhez (a), a becsült és a méréssel-képlettel megállapított PSI igen szoros korrelációban jól megfelelnek egymásnak (b).	37
3.2.	A PCI meghatározás lépései (Shahin és Walther, 1999).	39
3.3.	Roadmaster mérőberendezés tasztatúra (Ambrus és Pallós, 2004).	41
3.4.	A <i>járhatóság</i> meghatározásához kidolgozott állapotfelvételi lap.	43
3.5.	Mérőkocsi (a) és a jellemző pontok (b) állandósítására alkalmazott burkolatjel.	44
3.6.	A továbbfejlesztett mérőkocsi (a) és az adatgyűjtő szoftver (b).	45
3.7.	A szubjektív állapotfelmérés és értékelés.	48
3.8.	A hajlékony útburkolatok jellemző hibatípusai (Boromisza, 1958).	49
3.9.	A PaveRater szubjektív szakértői vélemények gyűjtését támogató program.	52
4.1.	Mozgó kerékterhelés hatására kialakuló elmozdulások.	57
4.2.	A pályaszerkezet igénybevételei és feszültségeloszlása.	58
4.3.	A központi behajlás és a görbületi sugár viszonya (Boromisza nyomán, 1976).	59
4.4.	Tárcsás teherbírásmérés és az E_2 teherbírási modulus meghatározása a második süllyedési görbe alapján	62
4.5.	A billenőkaros behajlásmérő (Benkelman-tartó) vázlatos rajza.	64
4.6.	A billenőkaros behajlás mérése.	64
4.7.	A Müller-féle görbületmérő eszköz	65
4.8.	A statikus és a szinuszhullámszerű dinamikus terhelés kapcsolata	67
4.9.	A Vibraflect készülék és periodikus terhelése	67
4.10.	Dynalect készülék terhelő kerekeinek és geofonjainak elrendezése	68
4.11.	Az FWD készülékek működési elve.	70
4.12.	KUAB (a) és Dynatest típusú (b) FWD készülékek.	70
4.13.	A könnyű ejtősúlyos teherbírásvizsgáló berendezés és fizikai modellje	71
4.14.	A rögzített behajlási teknő különböző paramétereit alapján a felszín alatti rétegek állapotára becsléseket tehetünk.	74

4.15. A Dynatest cég FWD berendezései	76
4.16. Behajlás box-plot (a) és összefüggés az FWD–BB behajlásértékek között (b). . .	79
4.17. Homogén útszakaszok.	80
4.18. A Geobeam (Anderson, 2008) és az EHT Delta eszköz (Rabaiotti, 2008).	81
4.19. Automatizált Benkelman-tartó, Németország (Dähnert, 2005).	82
4.20. A továbbfejlesztett kézi behajlásmérés elve (Markó, 2011).	83
4.21. Digitális elmozdulásmérő óra és központi adatgyűjtő-vezérlő egység távmérővel. .	85
4.22. Az ABBA mérőeszközzel rögzített deformációs vonal és annak javítása.	86
4.23. A mérőkar alátámasztásából származó talphiba (e).	87
4.24. A deformációs vonal geometriája.	88
4.25. Eltérő függvényillesztések összehasonlítása (Hothan és Schäfer, 2004).	90
5.1. A pályaszerkezet leromlási folyamata.	93
5.2. Az élettartalmat és a teljesítmény előre becsülő modell felépítése.	93
5.3. Pályaszerkezet-gazdálkodás költségmodellje.	94
5.4. Az összegzett építési és fenntartási költségek alakulása, eltérően méretezett pályaszerkezetek esetében.	95
5.5. A spontán beavatkozásokon alapuló útfenntartási politika.	96
5.6. Nagyvonalú útfenntartási politika.	96
5.7. A javasolt erdészeti útfenntartási politika.	97
5.8. A beavatkozás határpontja.	99
5.9. Az útpályaszerkezetek merevségétől függő leromlási görbe alakja.	100
5.10. A teherbírás csökkenése (az egyes esetekben) az idő függvényében.	103
5.11. A felújítás javasolt intervalluma, $N = 10$ év ($F_{100_i} = 5000$ [100 kN e.t.á./év]).	105
5.12. A felújítás javasolt intervalluma, $N = 20$ év ($F_{100_i} = 5000$ [100 kN e.t.á./év]).	105
5.13. Pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiák, $N = 10$ év.	106
5.14. Pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiák, $N = 20$ év.	106
5.15. Költségfelület, adott áru szállítási költsége a távolság (s) és az áru tömege (q) függvényében.	109
5.16. A fajlagos költség változása a szállítási távolság (a) és a rakomány tömege (b) függvényében.	110
5.17. A szállítási és fenntartási költségek együttes becslésére felírt modell paramétereinek grafikus ábrázolása.	112
5.18. Költségfüggvény eltérő útállapotoknál.	113
5.19. Költségfüggvény az erősítő réteg után.	113

Táblázatok jegyzéke

1.1. Magyarországon beszerezhető domborzatmodellek.	10
2.1. A faanyag sűrűsége (to./m ³) fafajtól és nedvességtartalomtól függően.	31
2.2. Modellparaméterek szállítójármű és tengelyelrendezés szerint.	34
3.1. A Roadmaster burkolathiba típusok neve, kódja és a rögzítő nyomógombok. . .	41
3.2. A kátyúk kijavításának fajlagos költsége burkolattípus és súlyosság szerint. . . .	54
3.3. A felmért utak megoszlása hibatípusok, és azok mértéke szerint.	54
3.4. A kátyúk kijavításának költsége burkolattípus és súlyosság szerint.	54
4.1. A mért behajlások értékelése	65
4.2. A leggyakoribb teknőparaméterek (Kim et al. 2000 alapján).	75
4.3. Teherbírásmérő eszközök összehasonlítása.	78
5.1. A pályaszerkezet típusok együtthatói.	103
5.2. A pályaszerkezet-gazdálkodási stratégiák összehasonlítása.	105
5.3. A szállítójárművek jellemzői a hasznos terhelés és a tengelyelrendezéstől függően. .	114