



Nyugat-magyarországi Egyetem



Markó Gergely, Péterfalvi József

Mélyépítés

ISBN 978-963-334-168-1

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

ELŐSZÓ A TALAJMECHANIKA FEJEZETHEZ	2
TALAJOK FIZIKAI TULAJDONSÁGAI	2
VÍZMOZGÁS A TALAJBAN	20
TALAJOK ALAKVÁLTOZÁSA ÉS SZILÁRDSÁGA	32
FÖLDTÖMEGEK EGYENSÚLYA.....	47
TALAJOK TEHERBÍRÁSA, ALAPOZÁSOK TERVEZÉSE	82
ÚTÉPÍTÉSEK TALAJMECHANIKÁJA	90
FÖLDMŰVEK TERVEZÉSE	107
FÖLDMŰVEK ÉPÍTÉSE	127
UTAK MŰTÁRGYAI.....	140
TÁMASZTÓFALAK	140
HIDAK	151
CSŐÁTERESZTŐK ÉS EGYÉB VÍZÁTVEZETŐ LÉTESÍTMÉNYEK	178

ELŐSZÓ A TALAJMECHANIKA FEJEZETHEZ

A Talajmechanika fejezet a Környezetmérnöki BSc szakon a Mélyépítés tárgy, az Erdőmérnöki szakon az Erdészeti utak építése tárgy anyagához tartozik. Mint oktatási segédlet inkább a fontosabb alapfogalmak és összefüggések ismertetésére helyezi a hangsúlyt és nem célja az aktuális előírások ismertetése.

TALAJOK FIZIKAI TULAJDONSÁGAI

A talajmechanika fogalma és tárgya

A magas- és mélyépítési létesítmények, - épületek, közlekedési pályák stb. - önsúlyukat és rájuk jutó terheiket az altalajnak adják át. Ezek állékonysága főként attól függ, hogy sikerül-e az építmény és az altalaj közötti kapcsolatot helyesen létrehozni, vagyis sikerül-e a szerkezeteket helyesen alapozni.

A talajmechanika sajátos szemi empirikus tudomány. A valós helyzet leegyszerűsítésével, laboratóriumi kísérletekkel, helyszíni megfigyelésekkel azt tudja megmagyarázni, hogy az épület mitől dőlt össze, de azt nem tudja megmondani, hogy mitől áll.

A talajmechanika foglalkozik a talajjal mint

- építőanyag: földgát, utak alépítménye (földmű);
- teherviselő szerkezet: építményeknél.

A mérnöki gyakorlatban felmerülő kérdéseket az alábbiak szerint csoportosíthatjuk:

- Útépítések talajmechanikája: tömörítés, teherbírás;
- Földmű építés és tömörítés: rézsúállékonyság;
- Földnyomások meghatározása: műtárgyaknál;
- Gátakkal kapcsolatos állékonysági és szivárgási kérdések;
- Alapozások: a talaj megengedett feszültségének és a várható süllyedés meghatározása.

Talajmechanikai kutatások történeti áttekintése:

- A talajmechanikai kutatások megindulását 1776-tól a Charles Augustin Coulomb (1736–1806) által publikált földnyomás-elmélet megfogalmazásától lehet számítani;
- Christian Otto Mohr (1835-1918) az anyagok szilárdságával foglalkozott. A síkbeli feszültségi állapot szemléltetésére grafikus módszert javasolt (Mohr kör);
- A modern talajmechanika megindulásában nagy szerepet játszott a Svéd Államvasutak Geo-technikai Bizottsága (elnöke: Wolmar Fellenius (1876-1957));
- A talaj tényleges tulajdonságait figyelembe vevő kutatásokat Karl Terzaghi professzor (1883-1963) alapozta meg;
- A hazai talajmechanikai kutatásokat Jáky József (1893-1950), majd Kézdi Árpád (1919-1983) professzorok tették világhírűvé.

Talajfizikai jellemzők és csoportosításuk

A talaj a földkéreg felső, mállás útján létrejött viszonylag vékony rétege. A *talaj* keletkezése során nem jön létre a szilárd alkotók homogén rendszere, hanem *háromfázisú diszperz rendszer* keletkezik, amelyben a *szilárd* rész mellett megjelenik az ezeket körülvevő és a hézagokat kitöltő *víz* és a *levegő* is. A háromfázisú rendszerben fellépő fizikai- kémiai erők, vízben keletkező feszültségek kombinációinak nagy száma miatt a talaj nem jellemezhető egyetlen fizikai jellemzővel. Ahhoz, hogy a talaj különböző hatásokkal szemben tanúsított viselkedését meghatározhassuk, a talajfizikai paraméterek sorozatát kell figyelembe venni. Ezek alapján következtethetünk a talajok tulajdonságaira, határozhatunk meg alapelveket a tervezésekhez és a méretezésekhez.

A talajfizikai jellemzők:

- a talaj összetételét;
- állapotát: kemény, puha, laza, tömör;
- nyírószilárdságát, alakváltozási tulajdonságait;
- külső hatásokkal szemben mutatott tulajdonságát

fejzik ki számszerűen.

A talajfizikai jellemzők csoportosítása

- Állandó jellemzők: szemcse nagyság, szemcsealak, testsűrűség, ásványi összetétel, szerves anyag tartalom, konzisztencia határok, plasztikus index;
- Állapotról vonatkozó jellemzők: konzisztencia index, tömörség, víztartalom, hézagterefogat, telítettség;
- Hidraulikai jellemzők: áteresztőképesség, kapilláris vízemelés;
- Alakváltozási jellemzők: összenyomódási modulus, duzzadás, zsugorodás, konszolidáció, roskadás;
- Nyírószilárdság: belső súrlódási szög és kohézió.

A talaj alkotórészeinek értelmezése és jellemzésük

A talaj mint három fázisú diszperz rendszer szilárd, folyékony és légnemű anyagok különböző arányú keveréke:

- szilárd fázis: 105°C-on súlyállandóságig kiszáritott talajrész,
- folyékony fázis: 105°C-os szárítás közben a talajból eltávozó rész,
- légnemű fázis: a teljes térfogatra kiegészítő rész.

A szilárd rész jellemzése

A testsűrűség a szilárd rész egyik talajfizikai jellemzője. Testsűrűség alatt a hézagmentes tömeg térfogategységnyi mennyiségét értjük:

$$\rho_s = \frac{m_d}{V_s}$$

ahol:

- ρ_s : testsűrűség (kg/m^3),
- m_d : súlyállandóságig szárított talaj tömege (kg),
- V_s : a súlyállandóságig szárított talaj hézagmentes térfogata (m^3).

A hézagmentes térfogatot piknométerrel lehet meghatározni. A talajok testsűrűségét az ásványi összetétel határozza meg. A talajok átlagos testsűrűsége $2,65\text{-}2,80 \text{ t}/\text{m}^3$ között van.

A folyékony rész jellemzése

A talaj víztartalma a talajban lévő víz mennyiségére jellemző viszonyszám, amely kifejezi, hogy a 105°C -on történő szárítással eltávolítható vízmennyiség a kiszárított talajtömeg hány százaléka.

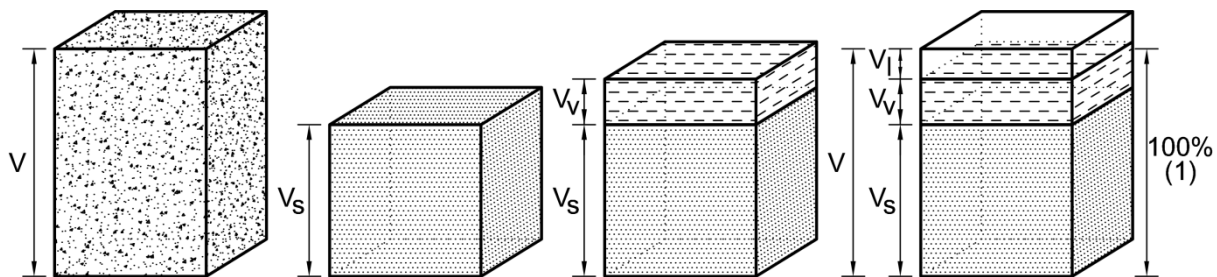
$$w\% = 100 \cdot \frac{m_n - m_d}{m_d}$$

ahol:

- w : talaj víztartalma (%),
- m_n : talaj nedves tömege (kg),
- m_d : 105°C -on kiszárított talaj tömege (kg).

Talajalkotók aránya

A szilárd, folyékony és légnemű részek arányainak változása a talaj állapotának változását vonja maga után, amely kihat a talaj építési sajátosságaira. A fázisok jellemzése az egységnyi térfogatú talajrészben jelenlévő szilárd (s), folyékony (v) és légnemű (l) anyag térfogatarányával történhet.



A talaj fázisos összetétele

Fázisos összetétel

$$V = V_s + V_v + V_l \quad /:V$$

$$1 = \frac{V_s}{V} + \frac{V_v}{V} + \frac{V_l}{V}$$

$$1 = s + v + l \quad (100\% = s\% + v\% + l\%)$$

A szilárd rész mennyisége:

$$s = \frac{V_s}{V}; \quad \text{de mivel: } V_s = \frac{m_d}{\rho_s}$$

$$s = \frac{m_d}{V \cdot \rho_s}$$

A folyékony rész mennyisége:

$$v = \frac{V_v}{V}, \text{ de mivel: } V_v = \frac{m_v}{\rho_v} = \frac{m_n - m_d}{\rho_v}$$

$$v = \frac{m_n - m_d}{V \cdot \rho_v}$$

A levegő mennyisége:

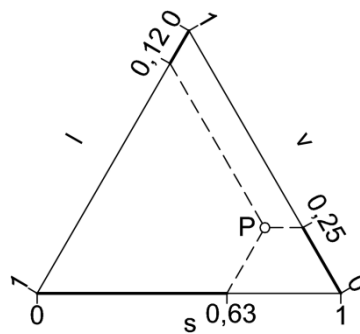
$$l = 1 - (s + v)$$

ahol:

- m_d : száraz talajminta tömege (kg),
- m_n : természetes állapotú nedves talajminta tömege (kg),
- ρ_s : szilárd rész testsűrűsége (kg/m³),
- ρ_v : folyékony rész (víz) testsűrűsége (kg/m³),
- V : talajminta térfogata (m³),
- $V_s; V_v; V_l$: egyes fázisok térfogata (m³),

Háromszögdiagram

A fázisarányok ábrázolására a háromszög-diagram a legalkalmasabb. Ha az egyenlő oldalú háromszögben az oldalakat 0-100% beosztással, az egyes oldalakat pedig s, v, l jelöléssel látjuk el, a rendszerben a három kapcsolatban lévő mennyiséget egy pont határoz meg, amely az egyes alkotórészek arányának változásakor pontsört fog alkotni. A "P" pont tehát a talaj állapotát tükrözi.



Háromszögdiagram

Halomsűrűség

A háromfázisú rendszert képző talajra jellemző mennyiség a halomsűrűség, amely a teljes tömeg és a teljes térfogat aránya ρ (t/m³), amelynek értéke általános esetben:

$$\rho = \frac{V_s \cdot \rho_s + V_v \cdot \rho_v + 0}{V} = s \cdot \rho_s + v \cdot \rho_v$$

Teljesen száraz talaj esetén, mivel $V_v=0$ illetve $w\%=0\%$ a talaj száraz halomsűrűsége:

$$\rho_d = s \cdot \rho_s$$

Telített talaj esetén, vagyis amikor a hézagokban levegő nincs ($l=0$):

$$v = 1 - s \quad \rho_t = s \cdot \rho_s + v \cdot \rho_v = s \cdot \rho_s + (1 - s) \rho_v$$

$$\rho_t = s(\rho_s - \rho_v) + \rho_v$$

Kísérleti meghatározása úgy történik, hogy a talajminta nedves vagy száraz tömegét viszonyítjuk a talajminta térfogatához.

Nedves halomsűrűség:

$$\rho_n = \frac{m_n}{V}$$

Száraz halomsűrűség:

$$\rho_d = \frac{m_d}{V}$$

Bizonyos esetekben egyszerűbb számítást tesz lehetővé, ha a halomsűrűség helyett az egységnyi térfogatban helyet foglaló talajtömegre ható erővel - a súlyerővel - számolunk, amelyet térfogatsúlynak nevezünk.

$$\gamma_n = g \cdot \rho_n$$

$$\gamma_d = g \cdot \rho_d$$

ahol:

- $\gamma_n; \gamma_d$: nedves, illetve száraz térfogatsúly (kN/m^3),
- g : nehézségi gyorsulás ($9,81 \text{ m/s}^2$),
- $\rho_n; \rho_d$: nedves, illetve száraz halomsűrűség (t/m^3).

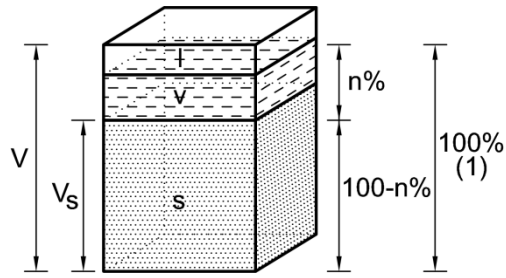
Hézagtérfogat

A hézagtérfogat a talajban lévő hézagok térfogatának a teljes talajtérfogathoz való viszonya, százalékban kifejezve:

$$n\% = 100 \cdot \frac{V - V_s}{V}$$

Térfogatszázalékkal kifejezve:

$$n\% = 100 - s\%$$



Héztérfogat értelmezése

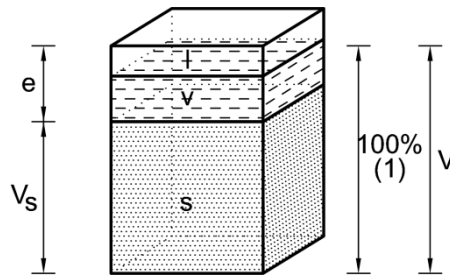
Héztényező

A héztényező a talajban lévő hézagok térfogatának viszonya a szilárd szemcsék térfogatához, viszonzszám formájában kifejezve:

$$e = \frac{V - V_s}{V_s}$$

Térfogataránnyal kifejezve:

$$e = \frac{1 - s}{s}$$

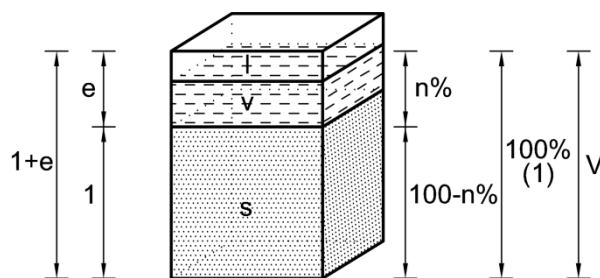


Héztényező értelmezése

A héztérfogat és héztényező viszonya

A héztérfogat és a héztényező egymásból átszámítható:

$$n\% = 100 \cdot \frac{e}{1 + e} \quad \text{illetve} \quad e = \frac{n\%}{100 - n\%}$$



A héztérfogat és héztényező viszonya

Hézagterfogat és hézagtenyező számítása

A hézagterfogat számításához a talajból V térfogatú mintát veszünk, kiszárítjuk és lemérjük a száraz tömegét (m_d). A testsűrűség alapján a szilárd rész térfogata:

$$V_s = \frac{m_d}{\rho_s}$$

amellyel kifejezhető a hézagterfogat:

$$n\% = 100 \cdot \frac{V - \frac{m_d}{\rho_s}}{V} = 100 \cdot \left(1 - \frac{m_d}{V \cdot \rho_s} \right)$$

és a hézagtenyező:

$$e = \frac{V - \frac{m_d}{\rho_s}}{\frac{m_d}{\rho_s}} = \frac{V \cdot \rho_s}{m_d} - 1$$

Talajok hézagterfogata

A talajok hézagterfogata tág határok között változhat. Egyenlő átmérőjű gömböket feltételező halmaz leglazább állapotban (mikor egy gömb másik 6 gömbbel érintkezik) a hézagterfogat 47,6% míg a hasonló halmaz legtömörebb állapota (egy gömb 12 másikkal érintkezik) 25,9%-os hézagterfogatot jelent. A természetben előforduló talajokra ez csak durva közelítésként fogadható el, de a közel egyenlő átmérőjű szemcsékből álló futóhomok-jellegű talajok esetében jó egyezés tapasztalunk ($n \approx 30$ -50%). Vegyes nagyságú szemcsék esetén $n \approx 30$ -40%. A kötött talajok leülepedésük során koagulálnak és nagy pelyheket alkotva rakódhatnak egymásra, ezért hézagterfogatuk 35-50%-os. A szerves anyagot tartalmazó talajok (pl.: tőzeg) hézagterfogata 80-90%-os is lehet.

Telítettség

A vízzel kitöltött hézagok térfogatának a talajban lévő összes hézag térfogatához való viszonyát telítettségnek nevezzük.

$$S = \frac{e'}{e}$$

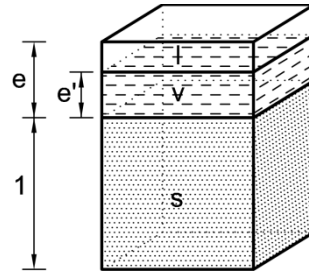
ahol:

- e' : vízzel kitöltött hézagok részaránya.

Térfogatarányokkal kifejezve:

ha $1 = s + v + l$, akkor

$$S = \frac{v}{1-s} = \frac{\rho_n - \rho_d}{\rho_s - \rho_d} \cdot \frac{\rho_s}{\rho_v}$$



Telítettség értelmezése

Relatív tömörség

A relatív tömörség az adott talaj hézagtényezőjének és az adott talaj leglazább és legtömörebb állapotához tartozó hézagtényezőinek viszonyát fejezi ki.

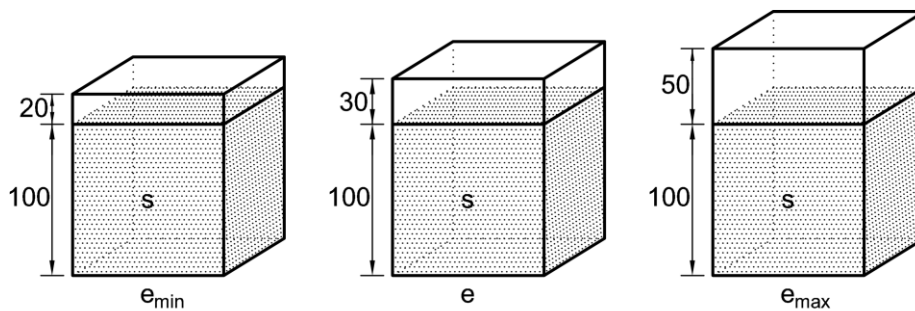
$$T_{re} = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

ahol:

- e_{max} : hézagtényező a talaj leglazább állapotában,
- e_{min} : hézagtényező a talaj legtömörebb állapotában,
- e : a talaj hézagtényezője a vizsgált állapotban.

A relatív tömörség ismeretében a talaj:

- laza, ha: $T_{re} < 1/3$
- közepesen tömör, ha: $1/3 < T_{re} < 2/3$
- tömör, ha: $T_{re} > 2/3$



$$T_{re} = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} = \frac{0,5 - 0,3}{0,5 - 0,2} = \frac{2}{3}$$

A relatív tömörség fogalma

Tömörégi fok

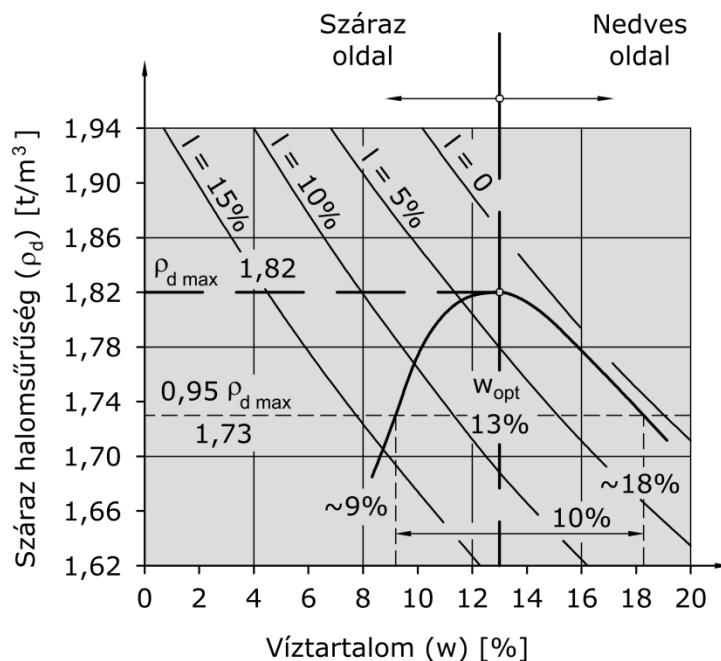
A tömörségi fok a vizsgált talaj száraz halomsűrűsége és a maximális száraz halomsűrűsége viszonyát fejezi ki.

$$T_{r\rho} = 100 \cdot \frac{\rho_d}{\rho_{d\max}}$$

ahol:

- $T_{r\rho}$: tömörségi fok (%),
- ρ_d : vizsgált állapotú talaj száraz halomsűrűsége (t/m^3),
- $\rho_{d\max}$: vizsgált talaj maximális száraz halomsűrűsége (t/m^3).

A maximális száraz halomsűrűséget egy előírt módon végrehajtott tömörítési kísérlettel (*Proctor*-féle tömörítési kísérlet) lehet meghatározni. A kísérlet lényege, hogy szabványos méretű edénybe, előírt fajlagos tömörítő munkával, meghatározott számú rétegben a talajt adott víztartalomnál betömörítjük, majd meghatározzuk a pontos víztartalmát és a száraz halomsűrűségét. A kísérletet különböző víztartalmaknál elvégezve összetartozó víztartalom, száraz halomsűrűség pontokat kapunk. Az így nyert pontokat koordináta-rendszerben ábrázolva, majd a pontokat összekötve egy jellegzetes csúcsértékkel bíró görbét kapunk. A görbe legmagasabb pontját jellemző koordináták a maximális halomsűrűség ($\rho_{d\max}$) és az optimális tömörítési víztartalom (w_{opt}).



Proctor-görbe

Tömörségi előírások

A tömörség ismerete főként a földművek építésénél fontos. A kis tömörségű töltések önsúlyuk hatására tömörödnek, amelyet a forgalom által keltett rázás tovább fokoz. Ennek hatására a földmű alakváltozást szenved, a rajta elhelyezett pályaszerkezet deformálódik. Ezért a hajlékony útpályaszerkezetek alatti 0-50cm-es vastagságban az előírt tömörség $T_{r\rho} \geq 90\%$ (Út 2.1-222 szerint már 96%), az 50cm-nél mélyebb rétegekben $T_{r\rho} \geq 85\%$. Merev pályaszerkezetek alatt $T_{r\rho} \geq 95\%$.

Talajt alkotó szilárd szemcsék nagysága

A talaj szilárd alkotórészét különböző nagyságú szemcsék képezik, amelyek aránya meghatározza a talajok alapvető tulajdonságait. A tág határok között mozgó szemcsék halmazából az átmérők alapján közel azonos tulajdonságú csoportokat lehet létrehozni, amelyek elnevezése a következő:

kavics (K)	d	>	2,0	mm
homok (H)	2,0	-	0,1	mm
homokliszt (HL)	0,1	-	0,02	mm
iszap (I)	0,02	-	0,002	mm
agyag (A)	d	<	0,002	mm

A valóságban az ásványi szemcsék szabálytalan alakúak, nagyságuk tehát nem jellemezhető egyetlen átmérővel. A gyakorlatban használt szemcseátmérő tehát névleges átmérőt jelent, amely függ a meghatározás módjától.

A 0,1 mm-nél nagyobb átmérőjű szemcséket szitálással választjuk szét. Ebben az esetben az átmérő annak a legkisebb kör, vagy négyzet alakú nyílásnak az átmérője, ill. oldalhossza, amelyen a szemcse még éppen átesik.

A $d < 0,1$ mm szemcsék esetében a szemcse átmérőjét egy olyan azonos anyagú gömb átmérőjével helyettesítjük, amely valamely folyadékban azonos sebességgel ülepedik le. *Meghatározása a Stokes-törvényen alapuló hidrométeres eljárással történik.* (Talajtanban hasonló eljárás a dekantálás.)

Szemeloszlás

A talajt alkotó szemcsék nagyságát, ezek eloszlását és a kiválasztott átmérők közé eső tömegszázalékát szemeloszlási vizsgálattal állapítjuk meg. A kapott adatokat szemeloszlási görbéken ábrázoljuk. A szemeloszlási görbe egy összegező (integráló) görbe, amelynek egy pontja megmutatja, hogy egy bizonyos átmérőjű szemcsénél kisebb szemcsék összesen hány százalékban vannak jelen a szemcsehalmazban.

A 0,1 mm-nél nagyobb szemcséket tartalmazó talajrész szétválasztását különböző lyukbőségű szitákból álló szitasorozattal végezzük. Legalulra helyezük a legfinomabb (0,1 mm) lyukbőségű szitát, erre kerülnek a sorozat további tagjai úgy, hogy minden következő szita lyukbősége az előzőnek mintegy kétszerese.

A súlyállandóságig kiszárított ismert tömegű talajt a szitasorozat legfelső szitájára tesszük, majd addig rázzuk, amíg a szitákon áthullás tapasztalható. Ezután megmérve a szitákon fennmaradt anyag súlyát, kiszámítható a szitán átesett talaj tömege. Az átesett tömeget a bemért talaj tömegének százalékában kifejezve és a szitára jellemző átmérő függvényében ábrázolva megszerkeszthető a szemeloszlási görbe.

$$S_i = \frac{m_d - \sum_{i=1}^n m_i}{m_d} \cdot 100$$

ahol:

- S_i : i -edik szitán áthullott talaj tömegaránya (%),
- m_i : i -edik szitán fennmaradt talaj tömege (kg),
- m_d : összes bemért talaj tömege (kg).

Hidrometrálás

A hidrometrálás a folyadékban lévő szemcsék ülepedési sebességét kifejező Stokes-törvényen alapul. Eszköze a megfelelően kalibrált úszó folyadéksűrűség-mérő, amellyel egy 1000 cm³-es mérőhengerben ülepített talajszuszpenzió a sűrűsége mérhető az úszó súlypontjában. Az időben változó zagysűrűségből a Stokes-törvényt kifejező nomogramokkal vagy táblázatokkal a szemcseátmérő és az egyes átmérőkhöz tartozó súlyszázalék számítható. A számításhoz mérni kell a felkeveréstől eltelt időt, az ehhez az időponthoz tartozó hidrométer leolvasást, valamint a szuszpenzió pillanatnyi hőmérsékletét, és ismerni kell a vizsgált talajminta súlyát és sűrűségét valamint egyéb, a műszerre jellemző korrekciós tényezőt.

A szemeloszlási görbe ismeretében értékes következtetéseket vonhatunk le a talaj műszaki tulajdonságaival kapcsolatban. A meredek lefutású szemeloszlási görbe közel azonos átmérőjű szemcsékből álló talajra jellemző, amelynek stabilitása vízzel és erőhatásokkal szemben kicsi. Jóval kedvezőbb tulajdonságú a lapos, több frakciót átmetsző szemeloszlás, mert a jobb térkitöltés miatt ezek mindig stabilabbak, vízállóságuk pedig növekszik. Fagyveszélyesség szempontjából azonban az egyenletes szemeloszlás a kedvezőbb.

Egyenlőtlenségi mutató

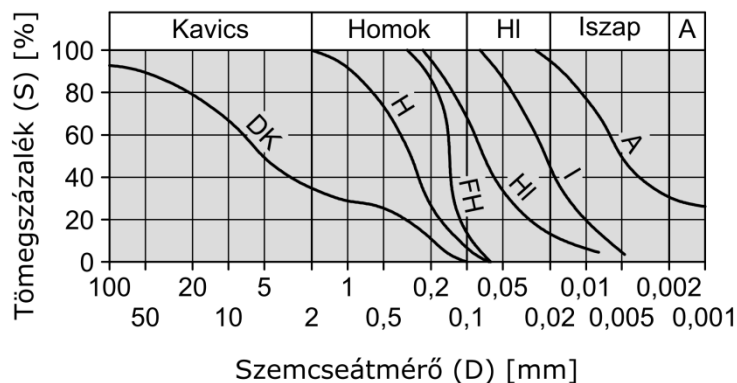
A szemeloszlási görbe lefutása a talajok fontos tulajdonsága, amelyet az egyenlőtlenségi mutató jellemez:

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

ahol:

- U : egyenlőtlenségi mutató,
- d_{60} : 60 tömegszázalékhoz tartozó átmérő (mm),
- d_{10} : 10 tömegszázalékhoz tartozó átmérő (mm).

A kis egyenlőtlenségi mutató meredek lefutású görbét jelöl ($U=1$, azonos átmérőjű gömbökből álló halmaz). Lapos görbék esetén értéke több száz is lehet. Az $U=2-5$ egyenlőtlenségi mutatóval jellemezhető homoktalajok megjelenése földmunkánál nehézséget jelent, mert nehezen tömöríthetők. Az ilyen talajok vízzel telítve vízáramlás hatására sűrű folyadékként viselkednek, ezért ezeket "folyós homoknak" is nevezzük.



Jellemző szemeloszlási görbék

Szemeloszlási görbe felhasználása

A szemeloszlási görbe segítségével lehet a hatékony szemmagyságot meghatározni. A hatékony (vagy effektív) szemmagyság (d_e) közelítőleg megegyezik a d_{10} átmérővel. Ezt szokás még mértékadó szemmagyságnak (d_m) is nevezni. Ennek segítségével a talaj vízáteresztő-képességére következtethetünk.

A szemeloszlási görbe ismeretében kiszámítható valamely frakcióhoz tartozó talajrész tömegszázaléka a teljes talajban, ha a frakcióhatárokat jelentő átmérőkhöz tartozó tömegszázalékot egymásból kivonjuk.

A szemeloszlási görbe felhasználása:

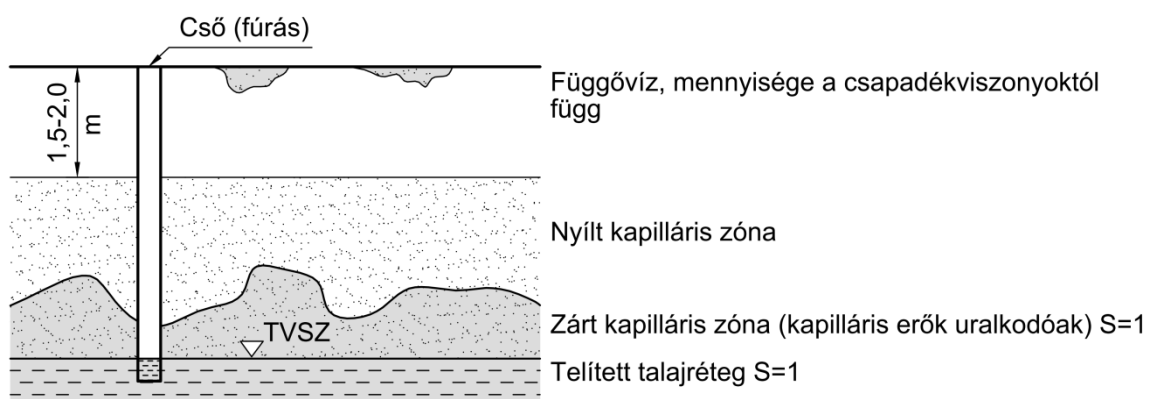
- szemcsés talajok osztályozása,
- előírt határgörbék közé eső szemeloszlási görbe előállítás két vagy több talaj keverékéből,
- szivárgók anyagának kiválasztása,
- fagyveszélyesség elbírálása,
- víztelenítési lehetőségek mérlegelése,
- talaj stabilizálhatóságának vizsgálata és az alkalmazott kötőanyag kiválasztása.

A talaj folyékony és légnemű alkotórészei

A természetben előforduló talaj hézagainak egy részét víz, másik részét levegő tölti ki, amelynek mennyiségét külső és belső körülmények határozzák meg. A talajban előforduló víz részben a hézagokban szabadon áramolhat, másik része a szemcse felületéhez közel helyezkedik el, ahhoz a kialakuló felületi erők miatt erősebben vagy gyengébben kapcsolódik.

A talajba leütött megfigyelőcsőbe valamilyen mélység elérése után víz áramlik be a szemcsék közül, amely áramlás bizonyos idő múlva megszűnik és a vízállás állandósul. Ezt a vizet nevezzük a vizsgált időponthoz tartozó *nyugalmi talajvízszintnek*. A változó keresztmetszetű hézagokban a víz nem egyformán emelkedik, ezért egyre több légzárvány kerül bele. A talajvíz fölött így először *zárt*, majd e fölött *nyílt kapilláris zóna* alakul ki.

A hézagokba benyomuló víz gömbalakot igyekszik felvenni, amely gömböket vízpárával telített levegő tölt ki. A talaj és a levegő érintkezési felületén meniszkuszok alakulnak ki, amelyekben a kialakuló feszültségek a csapadékból a talajba szivárgó vizet a hézagokban függve tartják. Az így kialakuló vízréteg neve a *függővíz*.

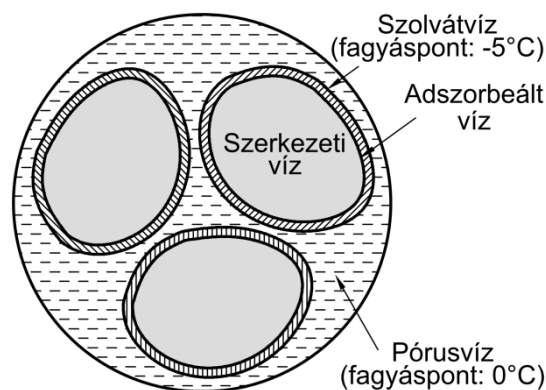


Talajban lévő víz megjelenési formái

A talajban lévő víz osztályozása

- **Pórusvíz:** a hézagokban szabadon áramló víz. Ez képezi a szabad talajvizet, a zárt és nyílt kapilláris vizet, a függővizet, valamint a szögletekben meghúzódó filmvizet;
- **Szolvátvíz:** fogja körül vékony rétegben elektrosztatikus és ionos kötőerők hatására a talajszemcséket. Ez a víz még szilárdan nem kötődik, de sűrűsége és viszkozitása a pórusvíznél nagyobb;
- **Adszorbeált víz** fogja körül a szemcsét 1-10 molekulányi rétegvastagságban főként az agyagásványok felületén. A kötőerők nagyok, hidrodinamikus módszerekkel a felületről nem távolítható el. Tulajdonságai lényegesen eltérnek a szabad víztől;
- **Szerkezeti víz** a kristályrács része egy hidroxil csoport, amely így már nem is víz. Eltávolítása magas hőmérsékleten lehetséges, de ekkor a kristályszerkezet is tönkremegy.

A víztartalom változásával összefüggő fizikai változások a pórusvíz és szolvátvíz mennyiségében bekövetkező változásokkal függ össze. Az adszorbeált víz és szerkezeti víz mennyiségében normális nyomáson és hőmérsékleten változás nem következik be, ezért ezek az építési gyakorlat szempontjából jelentéktelenek.



Talajban lévő víz osztályozása

Konzisztencia-határok

Valamely talaj konzisztenciáján az anyagi összefüggés állapotát értjük, amelyet puha, gyúrható, kemény stb. szavakkal jellemezhetünk.

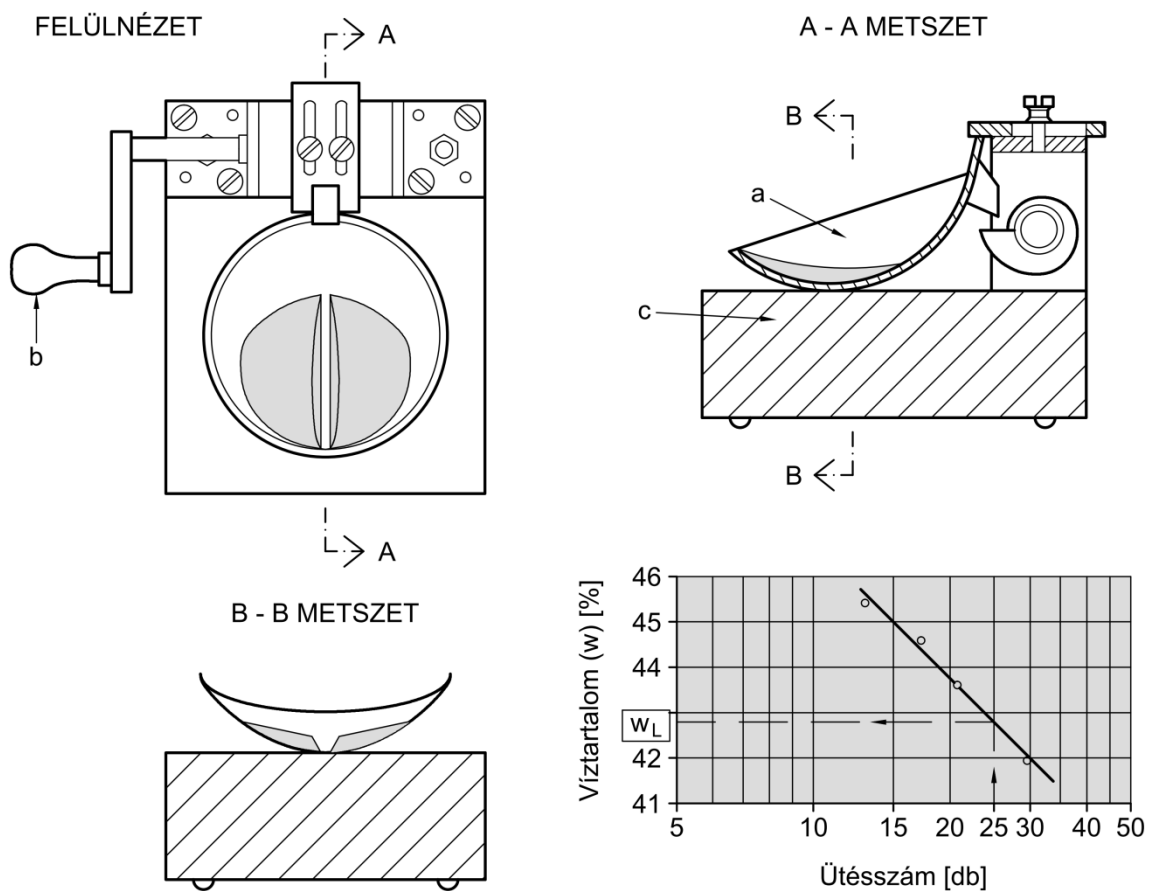
Kötött talajok konzisztenciáját a víztartalmuk határozza meg. A vízzel fokozatosan telített talajpép bizonyos víztartalom elérése után saját súlya alatt lefolyik a lejtőn. Lassan szárítva az anyagot a folyós állapotból képlékeny, majd kemény állapotba kerül. Az a víztartalom, amelynél a különböző talajok egyik konzisztenciából a másikba mennek át sajátosan jellemzőek az egyes talajokra, ezért ezeken a határállapotokon mérhető vízmennyiség a talajok azonosítására és összehasonlítására alkalmas, konzisztenciahatárnak nevezve őket.

A konzisztencia-határokat úgy állapítjuk meg, hogy szabványos eljárással a talaj víztartalmát beállítjuk, majd ehhez az állapothoz meghatározzuk a víztartalmat.

Folyási határ

A *Casagrande-készülék* gömbszelet alakú csészéjébe egyenletes péppé kevert talajt helyezünk el simítókéssel úgy, hogy az anyag légbuborékokat ne tartalmazzon. Szabványos kialakítású árkolókéssel trapéz alakú árkot húzunk az anyagba, majd a csészét forgatókar segítségével 1cm magasságból mindaddig ejtegetjük az alaphoz, amíg az árok 1cm hosszan össze nem folyik. A talaj víztartalma akkor van a folyási határon, ha az árok a 25-dik ütésre folyik össze.

A folyási határ víztartalmát (w_L) nehéz pontosan beállítani, ezért különböző víztartalmak mellett meghatározzuk az összefolyáshoz szükséges ütésszám (n) és víztartalom ($w\%$) értékeket. A kapott adatokat egy szemilogaritmus rendszerben ábrázoljuk, ahol a vízszintes tengelyen az ütésszám logaritmus, a függőleges tengelyen aritmetikusan a víztartalom szerepel. A kapott pontok egy egyenes mentén helyezkednek el, amelyen az $n=25$ ütéshez tartozó víztartalom a folyási határ.



Folyási határ meghatározása

Különböző talajok folyási határai:

- Homok 15-20%,
- Homokliszt 20-30%,
- Iszap 30-40%,
- Agyag 40-150%.

A nagy folyási határral rendelkező talajok építési szempontból kedvezőtlenek, mert erősen összenyomódók. A természetes talaj víztartalma csak átgyúrás hatására juthat a folyási határ közelébe.

Sodrás határ

Sodrás határnak (w_p) nevezzük a talajnak azt a víztartalmát, amelynél a talajból kisodort 3-4 mm vastagságú szálak töredezni kezdenek.

A talaj megmunkálhatósága, fejthetősége a sodrás határ állapotában a leggazdaságosabb, mert ekkor igényli a legkisebb erőt és nem ragad a szerszámhoz sem. Földutak ilyen állapotban jól járhatók, töltések tömörítése a sodrás határ víztartalma környékén a legkönnyebb.

Különböző talajok sodrás határai:

- Homok nincs,
- Homokliszt 10-20% (nem határozható meg mindig),
- Iszap 20-25%,
- Agyag 25-50%.

Plasztikus index

A folyási és sodrás határ különbsége a plasztikus index:

$$I_p = w_L - w_p$$

Ez az érték jellemző a kötöttségre, ezért a kötött talajok osztályozásának alapja. Azoknak a talajoknak, amelyeknek nincs plasztikus határuk, a plasztikus indexük sincs értelmezve. Ezek a szemcsés talajok, mint a kavics és homok.

Különböző talajok plasztikus indexei:

- homok nincs,
- homokliszt 0- 5%,
- iszapos homokliszt 5-10%,
- iszap 10-15%,
- sovány agyag 15-20%,
- közepes agyag 20-30%,
- kövér agyag 30%-

Konzisztencia index

Azonos talajok tulajdonságai különböző víztartalmak mellett nagyon eltérők lehetnek. Mivel a természetes talaj víztartalma változó ezért fontos ismernünk, hogy az adott természetes víztartalom mellett milyen a talaj tulajdonsága. Ennek számszerű jellemzésére vezették be a konzisztencia indexet, amely megmutatja, hogy a talaj természetes víztartalma hogyan helyezkedik el a folyási és plasztikus határ között.

$$I_c = \frac{w_L - w}{w_L - w_p} = \frac{w_L - w}{I_p}$$

Eszerint a folyási határon lévő talaj konzisztencia indexe $I_c = 0$, míg a sodrási határon lévő talajoké $I_c = 1$. Teherbírás szempontjából alapozásra alkalmas talajok a még sodorható (I_c : 0,75 - 1,00) és kemény (I_c : 1,00 - 1,50) talajok.

Talajállapot megnevezése a konzisztencia index (I_c) alapján:

• Talajállapot	I_c
• Nagyon puha	$< 0,25$
• Puha	$0,25 - 0,50$
• Gyúrható	$0,50 - 0,75$
• Merev	$0,75 - 1,00$
• Kemény	$> 1,00$

Folyási index

A talajok víztartalom változására történő folyósódására ad felvilágosítást a folyási index, amelyet úgy számítunk ki, hogy a folyási határ megállapítására készített folyási egyenes segítségével meghatározzuk a 10 és 100 ütésszámhoz tartozó víztartalmak különbségét:

$$I_L = w_{10} - w_{100}$$

Az alacsony folyási indexű talajok könnyen folyósodnak, víz érzékenyek, ezért az olvadási és fagykára hajlamosak.

Zsugorodási határ, telítési határ és lineáris zsugorodás

A zsugorodási határ az a víztartalom, amelynél tovább szárítva a talajt, térfogatát már nem csökkenti.

A telítési határ meghatározásához a talajminta felületére addig csepegtetünk vizet, amíg azt magába tudja venni. Ezt a vízmennyiséget a száraz talaj tömegszázalékában kifejezve adja a telítési határ víztartalmát.

A telített talajkocka maximális százalékos élrövidülése a lineáris zsugorodás.

Veszélyesek azok a talajok, amelyek lineáris zsugorodása $Z_s > 5\%$. A lineáris zsugorodás értéke az iszapos homokliszttól az agyagok felé haladva 5-25% is lehet. A zsugorodást a duzzadó agyagásványok okozzák.

Izzítási veszteség és szerves anyag tartalom

Az izzítási veszteséget (i) az alábbi képlettel határozzuk meg:

$$i = \frac{m_{60} - m_{600}}{m_{60}} \cdot 100$$

ahol:

- m_{60} : a 60°C-on kiszáritott talaj tömege (kg),
- m_{600} : a 600°C-ra hevített talaj tömege (kg).

Korábban a magyar talajosztályozás *szervesnek* minősítette

- a szemcsés talajokat, ha $i > 3\%$,
- a kötött talajokat, ha $i > 5\%$.

Az izzítási veszteség szerves iszapoknál elérheti a 30%-ot, míg tőzegeknél a 60-80%-ot is.

Az új előírás szerint (Út 2.1-222):

<i>Jellemzés</i>	<i>Szerves anyag tartalom (tömeg %)</i>
• Kissé szerves	2-6
• Közepesen szerves	6-20
• Nagyon szerves	>20

A talaj káros vegyületei

A talajban előfordulnak olyan anyagok, amelyek az építőanyagok korrózióját idézik elő. Káros hatásukat vízben oldva, az építőanyaggal érintkezve fejtik ki.

Mélyépítési szempontból elsősorban a betont támadják meg:

- kénsav és kénsavas sók (szulfát, szulfid ionok),
- magnézium sói,
- ammónium és sói,
- szénsav és sói.

Ahhoz, hogy hatásukat kifejtsék áramló talajvízre van szükség. A kénsav és kénsavas sók káros hatása ellen szulfátálló cementtel védekezhetünk.

Talajok szerkezete

A talaj keletkezésekor leülepedő szemcsék kapcsolódása különféle erők hatására számtalan kombinációban fordulhat elő. A talaj szerkezetén az egyes szemcsék kölcsönös elrendezését és egymással történő összekötődését értjük.

A durva szemcséjű talajok létrejöttében a gravitációs erő játszik szerepet, amelynek hatására egyszemcsés szerkezet jön létre. A szemcsék egyensúlyának fenntartását a felületi súrlódás biztosítja. Ebben a szerkezetben a szemcsék egymást kitámasztják, teherbírása tehát jó. Stabilitásukat a kiékelődés, vagy a folyamatos szemeloszlás (térkitöltés) adja. Tömörítésük vibrációval a leggazdaságosabb.

A finom szemcsék esetében a szerkezet kialakulásában a gravitáció mellett a szemcsék felületén működő vonzó- és taszítóerők is érvényre jutnak. A vonzóerő hatására a szemcsék sejtszerű üregeket alkotnak. A szerkezetben a súrlódás már másodrendű szerepet játszik, döntő a kohézió (tapadás) és az ezt létrehozó fizikai és kémiai erők. Ilyen szerkezete van az iszapnak és a sovány agyagnak.

A sejtek láncolata pehelyszerkezetet alkot, amely az előbbinél lényegesen lazább szerkezetet jelent. A talajok kialakulásakor létrejövő elsődleges - egyszemcsés, sejt vagy pehely - szerkezet külső hatásokra másodlagos szerkezetekké alakulhatnak.

Agyagokban a kiszáradás és elnedvesedés váltakozó folyamata miatt fellépő térfogatváltozás finom hajszálrepedéseket hoz létre, amelyek az idők során mindjobban tágulnak, és a cm-es nagyságrendet is elérhetik. Az ilyen repedésekbe hatoló víz a talajt átáztatja, ezáltal annak nyírószilárdsága lecsökken.

Kötött talajokra jellemző a *mozaikos szerkezet* is, amely szorosan illeszkedő, kissé nedves felülettel lehatárolt sokszögletű részecskékből áll. Az ilyen talajban nyitott bevágás hatására a levegővel érintkező felületek kiszáradnak és szétnyílnak, amely a rézsú rohamos tönkremenetelét okozza.

Jellegzetes másodlagos szerkezete van a lösznek, amelynek viselkedését elsősorban keletkezési viszonyai határozzák meg. A kőzettanilag és szemeloszlási tulajdonságaiban nagyon egyenletes, levegőből lerakódó talajban a növények szára, gyökere, helyén függőleges járatok alakulnak ki, amelyek elmeszesednek. Ennek következtében a hézagtérfogat nagy lesz ($e > 0,8$). Az ilyen talaj szilárdsága és vízáteresztő-képessége függőleges irányba más (általában nagyobb) mint vízszintes irányba, tehát *a lösz erősen anizotróp*. A meg nem bontott talaj legtöbbször szabad szemmel jól kivehető járatokat tartalmaz, amelyek a szemcseméretnél lényegesen nagyobbak. Az ilyen talajokat *makroporozus talajoknak* hívjuk. A lösz világos okkersárga színéről, makroporozus szerkezetéről, magas mésztartalmáról, a benne található csigamaradványokról és löszbabákról ismerhető fel. Jellegzetessége, hogy *szárazon és nyirkos állapotban függőleges falban nagy magasságig megáll*, sőt alagútszerű járatok is kialakíthatók benne megtámasztás nélkül. *Vízzel elárasztva szilárdsága rohamosan csökken, makroporozus szerkezete összeroskad*, főként akkor, ha a vízelárasztás mellett a felszín építmények terhelik.

Talajok osztályozása

A talajok osztályozásának célja a műszaki felhasználás szempontjából azonos tulajdonságú csoportok kialakítása néhány talajfizikai jellemző alapján. A talaj rendszerben elfoglalt helyéből további tulajdonságokra következtethetünk. A talajosztályozási rendszerek mindegyike önkényesen választja meg az osztályozás alapját, ezért csak néhány szempontot tudnak kielégíteni. A sokféle rendszer közül, amely országonként és felhasználási területenként változik, mindig a célunknak legmegfelelőbbet lehet kiválasztani.

A szervesetlen talajok lehetnek szemcsés talajok és kötött talajok.

A szemcsés talajok osztályozása a szemeloszlási görbékük alapján történik. A talaj elnevezése vagy a halmazban legnagyobb arányban előforduló vagy a mértékadó szemnagyságú frakció neve.

- $d > 2\text{mm}$: kavics: durva, közepes, finom kavics,
- $0,1\text{mm} < d < 2\text{mm}$: homok: durva, közepes, finom homok.

A kötött talajok osztályozását a plasztikus indexük alapján végezhetjük el.

Átmeneti talajoknak nevezzük a

- homokliszt: $d = 0,02-0,10, I_p = 0-5\%$,
- iszapos homokliszt: $I_p = 5-10\%$,

talajokat.

Kötött talajok osztályozása

Plasztikus index (I_p %)	Csoportnév	Megnevezés
10 alatt	Nem plasztikus	Szemeloszlás alapján
10 – 15	Kis plaszticitású	Iszap
15 - 20		Sovány agyag
20 - 30	Közepes plaszticitású	Közepes agyag
30 felett	Nagy plaszticitású	Kövér agyag

VÍZMOZGÁS A TALAJBAN

Vízmozgást előidéző okok, áramlási módok

Vízmozgást előidéző okok:

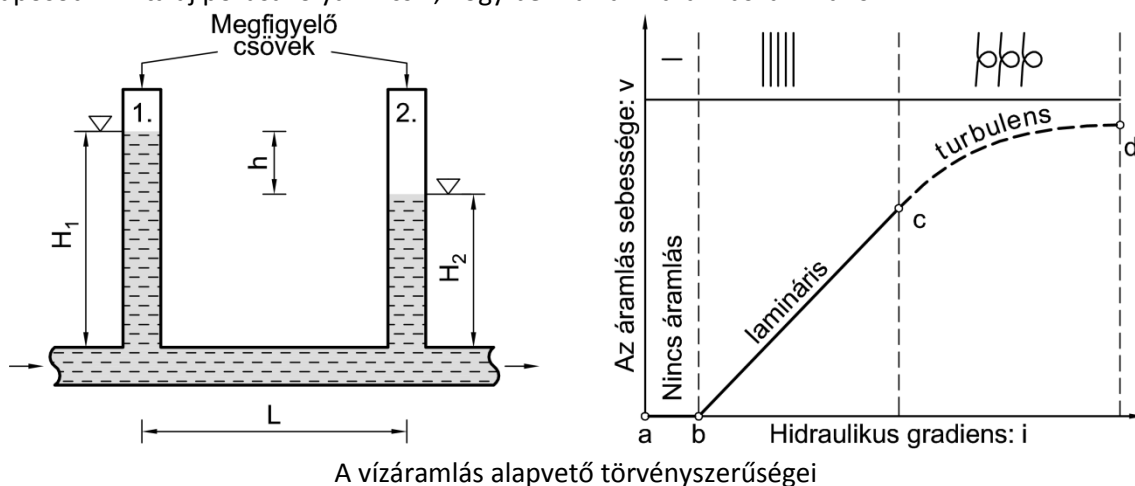
- gravitáció,
- kapillaritás,
- hő,
- elektromos áram,
- kémiai hatások.

Ezek közül a gravitáció, kapillaritás és hő által létrejövő vízmozgással foglalkozunk. Vizsgáljuk meg a víz áramlásának törvényszerűségeit. Egy csőben balról jobbra víz áramlik. Az egymástól L távolságra lévő 1. és 2. megfigyelőcsőben H_1 és H_2 magasságban van a víz szintje. Ez nyomáskülönbséget jelez, amelynek nagysága arányos a $h = H_1 - H_2$ magasságkülönbséggel. A víz áramlását fenntartó nyomáskülönbség $h \cdot \gamma_v$ nagyságú, amely fel is emésződik a súrlódási ellenállás miatt. Ennek a nyomásmagasság-különbségnek az egységnyi hosszra eső részét hidraulikus esésnek, vagy hidraulikus gradiensnek nevezik:

$$i = \frac{h}{L}$$

Áramlási módok

Ábrázoljuk a folyadék sebességét a hidraulikus gradiens függvényében. Azt tapasztaljuk, hogy a sebesség és a hidraulikus gradiens közötti összefüggés nem lesz lineáris, hanem három jól elkülöníthető szakaszra bontható. Az $a-b$ szakaszon az egészen kis hidraulikus esések tartománya helyezkedik el, amely olyan csekély, hogy hatására vízáramlás nem indul meg. A következő $b-c$ szakaszon a hidraulikus gradiens és az áramlás sebessége között egyenes arányosság áll fenn. Ilyenkor a vírzecskék határozott, simavonalú pályán mozognak, amely áramlást *laminárisnak* nevezük. A nyomást fokozva a megnövekedett sebesség miatt a vírzecskék megpördülnek, és örvénylő, kavargó mozgású áramlás kezdődik, amelyet *turbulens áramlásnak* nevezünk. Ez a turbulencia felemészti a mozgást fenntartó energia egy részét, ezért a $c-d$ szakaszon a görbe ellaposodik. A talaj pórusai olyan kicsik, hogy bennük a vízáramlás lamináris.



Gravitációs vízmozgás

A Darcy-törvény értelmében a laminárisan áramló víz sebessége egyenesen arányos a hidraulikus eséssel:

$$v = k \cdot i = k \cdot \frac{h}{L}$$

ahol a k arányossági tényező, a talaj átteresztőképességi együtthatója. Az így értelmezett átteresztőképességi együttható sebesség dimenziójú, amely a gyakorlatban m/s nagyságban fordul elő.

Áteresztőképességet befolyásoló tényezők

Az átteresztőképességi együttható függ:

- a szemeloszlástól (a hatékony vagy mértékadó szemcseátmérő négyzetével arányos),
- a pórusokban mozgó folyadék viszkozitásától és sűrűségétől,
- a hézagtényezőtől,
- a szemcsék alakjától és elrendeződésétől,
- a pórusokban lévő oldatlan gázok mennyiségétől,
- a talaj kémiai szerkezetétől (a szemcsék adszorpciós komplexumától).

A sok és nagy változékonyságot mutató hatótényező miatt az átteresztőképességi együttható meghatározását helyszíni próbaszivattyúzással lehet legpontosabban elvégezni.

Az átteresztőképességi együttható laboratóriumi meghatározását kétféle módszerrel végezhetjük el, lehetőség szerint természetes állapotú zavartalan talajminta felhasználásával:

- állandó víznyomással,
- változó víznyomással

működő készülékkel.

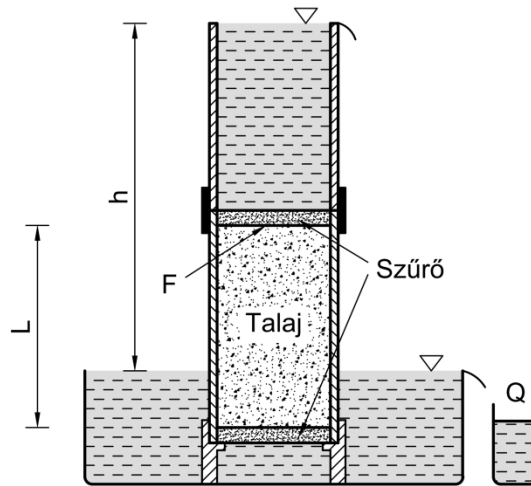
Áteresztőképesség mérése állandó víznyomással dolgozó készülékkel

Az állandó víznyomással dolgozó készülékkel kizárólag jó vízáteresztő-képességű talajokat vizsgálhatunk. A szűrőszövettel, vagy szitaszövettel két végén lezárt hengerbe helyezett talajmintát egy olyan vízzel telt edénybe tesszük, amelyben a víz szintjét túlfolyóval lehet állandósítani. A minta felső végére helyezett másik hengerbe lévő víz által biztosított túlnyomás nagyságát szintén túlfolyóval biztosítjuk. Megmérve az F keresztmetszetű mintán t idő alatt átfolyt Q vízmennyiséget, amely egyenlő lesz az alsó edény túlfolyóján elfolyó víz mennyiségével, az átteresztőképességi együttható számítható:

$$Q = v \cdot t \cdot F = k \cdot i \cdot t \cdot F = k \cdot \frac{h}{L} \cdot t \cdot F$$

amelyből

$$k = \frac{Q \cdot L}{F \cdot t \cdot h}$$



Állandó víznyomással működő permeabiméter

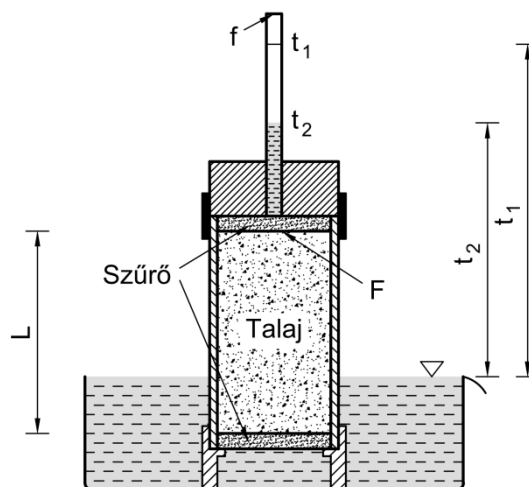
Áteresztőképesség mérése változó víznyomással dolgozó készülékkel

A kis áteresztőképességű talajokat ($k < 10^{-5}$ cm/sec) változó víznyomással működő készülékkel vizsgáljuk. Az előbbiekhöz hasonlóan előkészített talajmintát ugyanúgy helyezük el az alsó edényben, mint eddig. A talajhenger szűrővel ellátott felső foglatára beosztott üvegcsövet teszünk, amelyet kísérlet kezdetén vízzel töltünk fel. Ekkor az áramlás megindul, a csőben a vízszint csökken. A kezdeti t_1 időpontban leolvasott nyomásmagasság (a csőben lévő víz magassága az állandó szint felett) h_1 értéke t_2 időpontban h_2 értékre csökken. Az így nyert adatokból az áteresztőképességi együttható számítható:

$$k = \frac{f \cdot L}{F} \cdot \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \ln \frac{h_1}{h_2}$$

ahol:

- f : üvegcső keresztmetszetének területe (cm²),
- L : talajminta hossza (cm),
- F : talajminta keresztmetszetének területe (cm²).



Változó víznyomással működő permeabiméter

A kövér, gyakorlatilag vízzáró agyagtalajok átteresztőképességi együtthatójára a telített talaj összenyomódásának időbeli lefolyása alapján következtethetünk. Pontosabb meghatározása laboratóriumi körülmények között a később ismertetendő triaxiális nyomóberendezéssel történik.

Áteresztőképesség meghatározása talajfizikai jellemzők alapján

A vízáteresztő-képességi együttható közelítő nagyságát talajfizikai jellemzők alapján is megpróbálták meghatározni, amelyek bizonytalan eredményeket adnak.

Jáky által ajánlott egyszerű összefüggés:

$$k = 100 \cdot d_m^2$$

ahol:

- d_m : mértékadó szemnagyság (cm).

A befolyásoló tényezők közel teljes körét figyelembe veszi az alábbi képlet:

$$k = c \cdot d_e^2 \cdot \frac{\rho}{\eta} \cdot \frac{e^3}{1+e}$$

ahol:

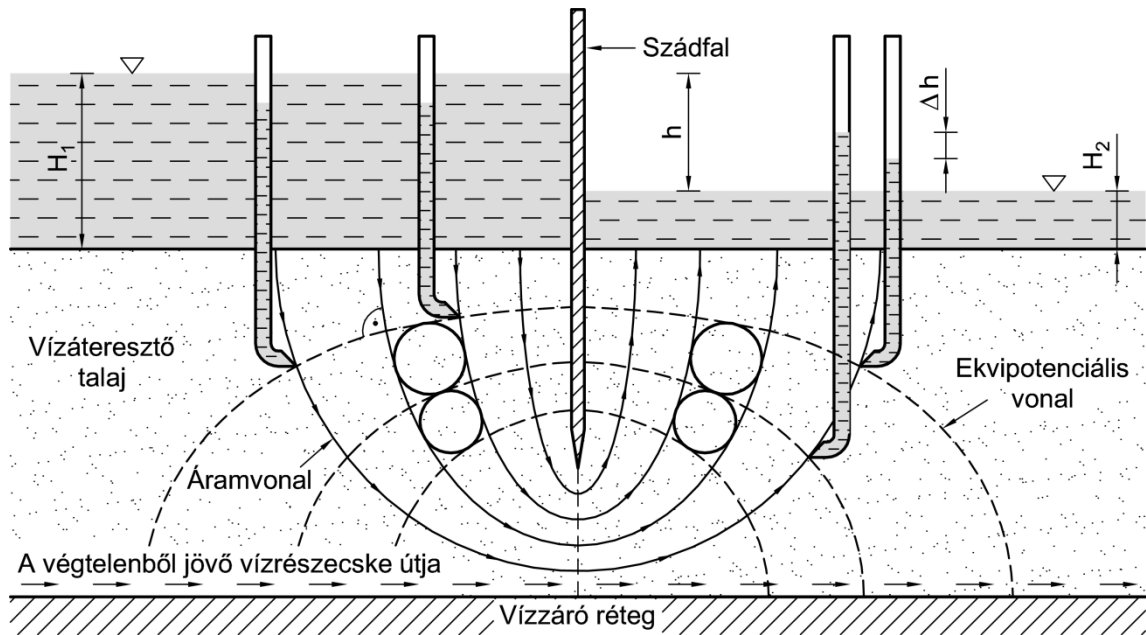
- c : szemcse alakjától függő tényező,
- d_e : effektív átmérő ($\approx d_{10}$) vagy hatékony szemnagyság,
- ρ : folyadék testsűrűsége,
- η : folyadék viszkozitása,
- e : hézag tényező.

Vízáramlás talajtömegekben

A talajban áramló víz különböző magas- és mélyépítési szerkezetekre gyakorolt hatását a méretezésnél figyelembe kell venni. Az áramló víz jellemzésére és a felmerülő problémák megoldására az áramképet lehet felhasználni.

Áramkép szerkesztése

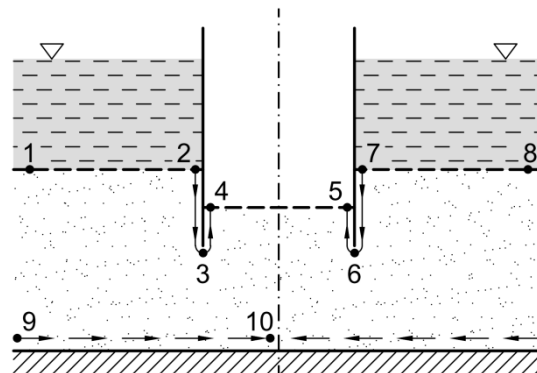
Legyen egy vízszintes felszínnel határolt homokrégteg, amely alatt szintén vízszintes felülettel határolt vízzáró réteg helyezkedik el. A homokrégtegbe t mélységig vízzáró szádfal nyúlik be, amelynek két oldalán H_1 , illetve H_2 magasságig víz áll. A $h = H_1 - H_2$ magasságkülönbség miatt a talajban vízáramlás áll fenn úgy, hogy az egyik oldalon a talajba beszivárgó víz megkerüli a szádfalat, majd a másik kisebb nyomású felszínre eljutva ott kilép a talajból. Egy elemi részecske által befutott pálya az *áramlási vonal*, amely homogén talajban törésmentes. A vízrészecskéket mozgató nyomás az áramvonal kezdeténél $H_1 \cdot \gamma_v$ értékű, amelynek egy része a szivárgás során felemészthető, és az áramvonalak végénél $H_2 \cdot \gamma_v$ értékű lesz. Mivel a nyomáscsökkenés az áramvonalak mentén fokozatos, ezért a nagyszámban megrajzolható áramvonalak mindegyikén kikereshető egy pont, ahol a nyomás a teljes nyomásvesztés $(H_1 - H_2) \cdot \gamma_v = h \cdot \gamma_v$ érték bizonyos hányadát teszi ki. Ezeket a pontokat összekötve az *ekvipotenciális vonalakat* kapjuk. Az ekvipotenciális vonalakkal illesztett piezométercsőben a vízszint azonos szintig emelkedik.



Szivárgás homokrétegbe vert szádfal körül

Az áramlási és ekvipotenciális vonalak együttesen alkotják a szivárgási hálózatot, vagy áramképet, amelynek lényeges tulajdonsága, hogy a két görbesereg minden pontban merőleges egymásra. A homogén és izotróp talajban a hálózat "szeme"-it célszerű úgy megrajzolni, hogy négyzethez hasonló idomokat alkossanak, amelynek feltétele az, hogy a hálózat szemeibe olyan köröket lehessen rajzolni, amelyek mind a négy oldalt érintik.

Az áramképet legegyszerűbben grafikus szerkesztéssel kaphatjuk meg, amely a további felhasználás céljaira elegendő pontosságot ad. Az áramkép szerkesztését a peremfeltételek rögzítésével kell kezdeni. Ekkor kijelöljük a szivárgási mező határvonalait, és meghatározzuk róluk, hogy melyik áramvonal, melyik ekvipotenciális vonal.



Peremfeltételek áramképek szerkesztéséhez

A peremfeltételek a következők:

- 1, 2 vonal ekvipotenciális vonal ($h \cdot \gamma_s$),
- 2, 3, 4 vonal áramvonal (a szádfal oldalfelülete a talajban)
- 4, 5 vonal ekvipotenciális vonal,
- 5, 6, 7 vonal áramvonal,
- 7, 8 vonal ekvipotenciális vonal,

- 9, 10 vonal áramvonal (a nagy távolságról érkező vírzészecske útja).

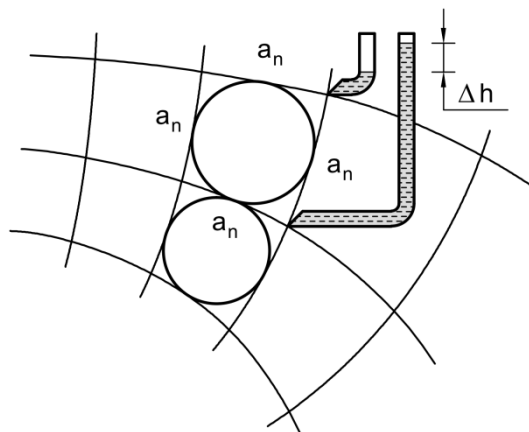
A peremfeltételek rögzítése után ehhez igazodva próbálgatással kell a megfelelő áramképet megrajzolni úgy, hogy a nagy potenciálesésű, rövidebb áramvonalak mentén - ahol a szűkebb "csatornák" miatt nagyobb a vízsebesség - kisebb, míg a kis potenciálesésű szakaszokon nagyobb hálószemeket kell rajzolni. A legnagyobb potenciálesésű pont a szádfal alsó csúcsa, amelynek hatására a szádfal kiüregelődése is ezen a ponton fog elkezdődni.

Az így megrajzolt első áramképet leellenőrizzük úgy, hogy a görbe vonalú "négyzetekbe" berajzolhatók-e a körök. Az áramvonalakat azután addig finomítjuk, amíg a feltételeket a szinguláris pontok kivételével (pl.: szádfal csúcsa) ki nem elégítettük.

Az áramkép ismertett szerkesztésénél feltételezzük, hogy bármely - a megrajzolt síkkal párhuzamos - síkban ugyanaz a kép adódna. Az így megrajzolt áramkép segítségével az átszivárgó vízmennyiség, támfalakra ható többletterhelés stb. megvizsgálható.

Az áramló vízmennyiség meghatározása

Az áramkép és az átteresztőképességi együttható ismeretében az átszivárgó vízmennyiség egyszerűen meghatározható, ha feltételezzük, hogy a teljes h nyomásveszteség egy csatornában n_1 négyzeten keresztülhaladva emésztődik fel.



Áramló víz mennyiségének meghatározása

Az n -dik a_n oldalhosszúságú négyzetnél a hidraulikus gradiens:

$$i = \frac{\Delta h}{a_n} = \frac{h}{n_1 \cdot a_n}.$$

Az a_n oldalú négyzeten t idő alatt átáramló vízmennyiség tehát:

$$Q_i = v \cdot F \cdot t = k \cdot i \cdot F \cdot t$$

A képletbe az i helyébe az:

$$i = \frac{h}{n_1 \cdot a_n} \text{ értéket,}$$

F helyébe az áramlásra merőlegesen elhelyezkedő felületet:

$$F = a_n \cdot 1 \text{ (ahol „1” a papír síkjára merőleges kiterjedés)}$$

helyettesítve a:

$$Q_i = k \cdot \frac{h}{n_1 \cdot a_n} \cdot a_n \cdot t$$

összefüggéshez jutunk. Végrehajtva az egyszerűsítést:

$$Q_i = k \cdot \frac{h}{n_1} \cdot t$$

eredményt kapjuk.

Mivel ez az összefüggés egy csatornában - az i -edik csatornában - áramló víz mennyiségét adja meg és az összefüggés bármely csatornára érvényes, ezért az egyszerre átáramló víz mennyisége:

$$Q = n_2 \cdot Q_i = k \cdot h \cdot t \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

ahol n_2 a csatornák száma.

Áramlási nyomás

A G súlyerő és az f felhajtóerő a talajminta súlypontjában támad, hatásvonaluk függőleges, irányuk ellentétes. A minta két véglapját statikus nyomóerők támadják:

$$P_1 = H_1 \cdot \gamma_v \cdot F$$

$$P_2 = H_2 \cdot \gamma_v \cdot F$$

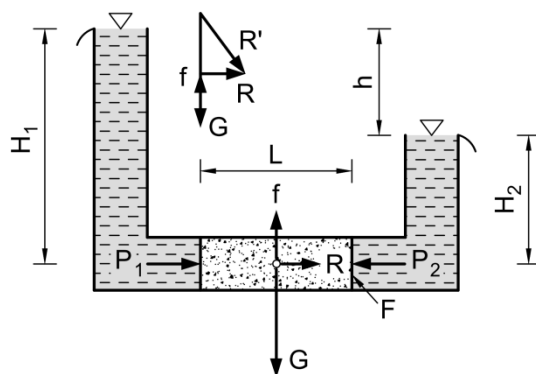
Ezek eredője:

$$R = P_1 - P_2 = (H_1 - H_2) \cdot \gamma_v \cdot F = h \cdot \gamma_v \cdot F$$

Ez az erő az áramlásnak kitett anyag elemi pontjaiban működik, ezért nem jelölhető meg támadáspontjával, vagy egy kiemelt felülettel, amelyet ez az erő nyom. Ezért térfogategységre vonatkoztatják és áramlási nyomásnak nevezik.

$$á = \frac{R}{V} = \frac{h \cdot \gamma_v \cdot F}{L \cdot F} = \frac{h}{L} \cdot \gamma_v$$

$$á = i \cdot \gamma_v$$



Erők egyensúlya áramló vízben

Elferdült tömegerő

Ez az egységnyi térfogatra ható tömegerő a test minden elemi részecskéjére a gravitációhoz hasonlóan ható vektormennyiség. Iránya megegyezik az áramlás irányával, vagyis hatásvonalja az áramvonal mindenkor érintője. A három erő: a súlyerő, a felhajtóerő és az áramlási nyomásból számított nyomóerő vektoriálisan összegezhető, amelynek eredménye az R' eredő, az úgynevezett *elferdült tömegerő*. A vízáramlás hatását is figyelembevevő elferdült tömegerőt a támfalakra ható erők és a rézsúállékonyság vizsgálatánál kell számításba venni, mert ennek hatására a biztonság jelentősen lecsökkenhet.

Hidraulikus talajtörés

A mérnöki gyakorlatban sokszor jelentkező probléma a földtömegben függőlegesen felfelé áramló víz hatására kialakuló egyensúlyi viszony vizsgálata.

A földtömegben lefelé ható erő az önsúly, amelynek nagysága:

$$G = F \cdot L \cdot \gamma_{tel}$$

míg a vele ellentétben, felfelé ható erők a felhajtóerő:

$$f = F \cdot L \cdot \gamma_v$$

és az áramlási nyomás:

$$R = F \cdot L \cdot a = F \cdot L \cdot i \cdot \gamma_v$$

ezek eredője:

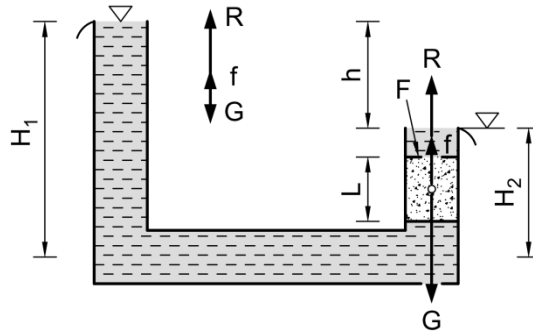
$$G - f - R = F \cdot L (\gamma_{tel} - \gamma_v - i \cdot \gamma_v) > 0$$

H_1 értékének növelésével h illetve i értéke is megnő és egyensúlyi határhelyzet áll elő:

$$F \cdot L (\gamma_{tel} - \gamma_v - i \cdot \gamma_v) = 0$$

Az egyensúlyhoz tartozó kritikus hidraulikus gradiens:

$$i_{krit} = \frac{\gamma_{tel} - \gamma_v}{\gamma_v}$$

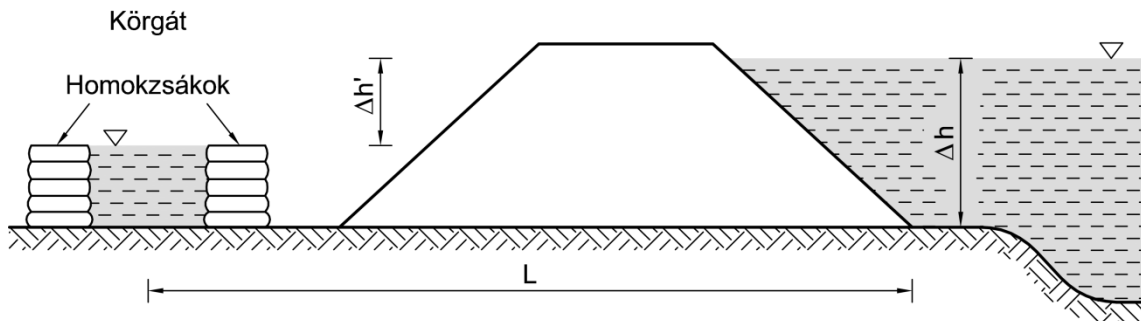


Függőleges vízáramlás hatására kialakuló egyensúlyi viszonyok

Hidraulikus talajtörés gyakorlati jelentősége

Amennyiben $i > i_{krit}$, akkor felfelé áramlás esetén a terheletlen talajtömeg egyensúlya felborul, a felhajtóerő és az áramlási nyomás együttesen a talajt kiemeli. Ez a jelenség a hidraulikus talajtörés, amely könnyen bekövetkezhet akkor, ha a szádfalat nem hajtják le az adott vízmélységhez viszonyítva elég mélyen, és ezért az áramlási hossz lerövidül. A jelenség végzetes balesetek okozója lehet.

Fel kell hívni a figyelmet arra, hogy a jelenség minden talajban felléphet, ha az összes feltétel biztosított, mert a képlet érvényessége a talajnemtől független. A nyílt víztartásos alapozásoknál, munkagödrök víztelenítésénél, árvízvédelmi töltések biztonságának vizsgálatakor a jelenséget mindig figyelembe kell venni.



Buzgárképződés és az ellene való védekezés

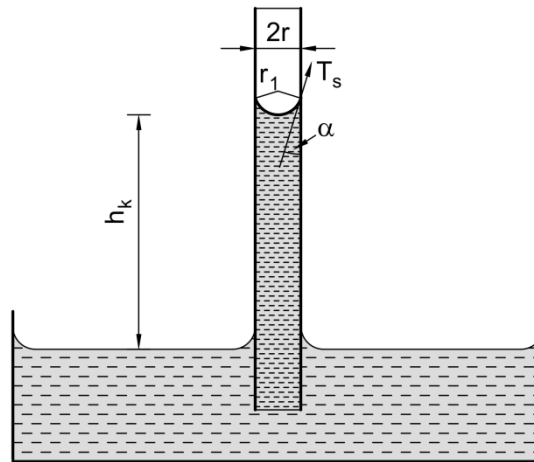
Kapilláris vízmozgás

A levegővel érintkező folyadék felszínén felületi feszültség uralkodik. A szilárd felületekhez tapadó "rugalmas hártya" homorú felületet meniszkusz alkot, amelyben a kapilláris feszültség hatására:

- a vékony csövekben a vízszint felemelkedik,
- a nedves szemcsék összetapadnak (látszólagos kohézió),
- a talajban lévő légbuborékok gömbalakot vesznek fel.

A felületi feszültséggel egyensúlyt tartó vízoszlop magasságát az egyensúlyi helyzet vizsgálatával határozhatjuk meg. Az r sugarú kapilláriscső kerületén fellépő erő függőleges komponensével a vízoszlop súlya tart egyensúlyt.

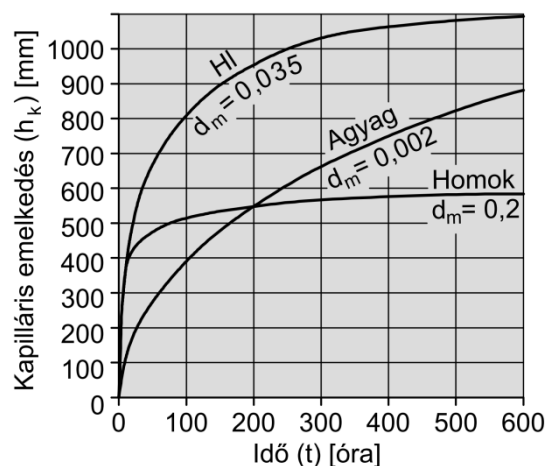
Érdekes következtetés levonására ad alkalmat, ha a h_k értéknél magasabb vízszlopot tartalmazó kapilláris csövet kiemeljük a vízből. Ilyenkor a víz kiszalad a csőből mindaddig, míg a vízszlop két végén kialakuló hártya a h_k vízszlopot egyensúlyba nem tartja. Ez a vízmennyiség lesz az, amelyet már gravitációs úton nem tudunk a talajból eltávolítani.



Kapilláris vízemelés

Különböző talajok kapilláris vízemelése

A talajra jellemző kapilláris vízemelés lefolyását a talajban megismert kapilláris vízemelési kísérlettel vizsgáljuk. A kísérlet alatt mért idő- és hosszadatokat összefüggő rendszerben ábrázolva a talajra jellemző vonalat kapunk. A kapilláris emelkedés mértéke és sebessége talajonként erős eltérést mutat. Homokok esetében a kezdeti gyors emelkedés hamar lecsökken és a vízszinteshez közelít. Homokliszt talajokban ugyancsak rövid idő alatt, de nagyobb magasságokba emelkedik a víz. Agyagokban az emelkedés lassú, de hosszú ideig és nagy magasságig emelkedik.

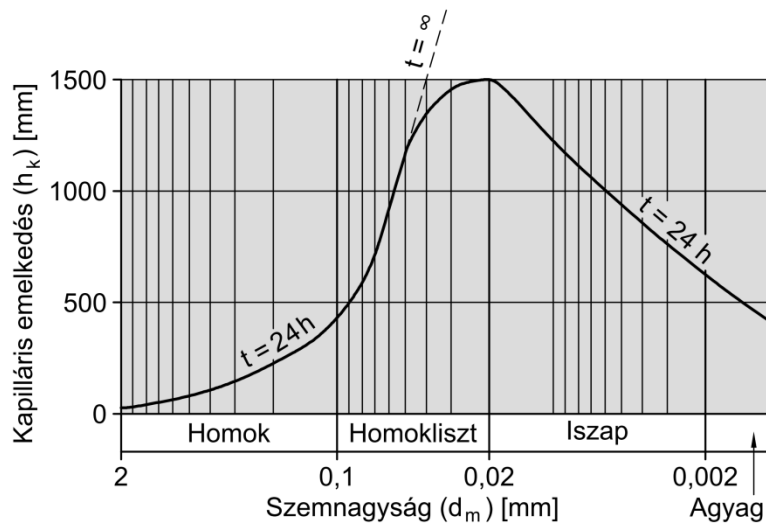


A kapilláris vízemelés időbeli lefolyása

24 órás kapilláris vízemelés

A 24 órás kapilláris vízemelés és a mértékadó szemmagyság közötti összefüggést vizsgálva azt tapasztaljuk, hogy az összefüggést jelző görbe maximumát a homokliszt-iszap határán éri el, amely

felhívja a figyelmet az átmeneti talajoknak azon kellemetlen tulajdonságára, hogy rövid ideig tartó kellő vízutánpótlás hatására a magasabb rétegek is átázhatnak, teherbírásuk pedig lecsökken.



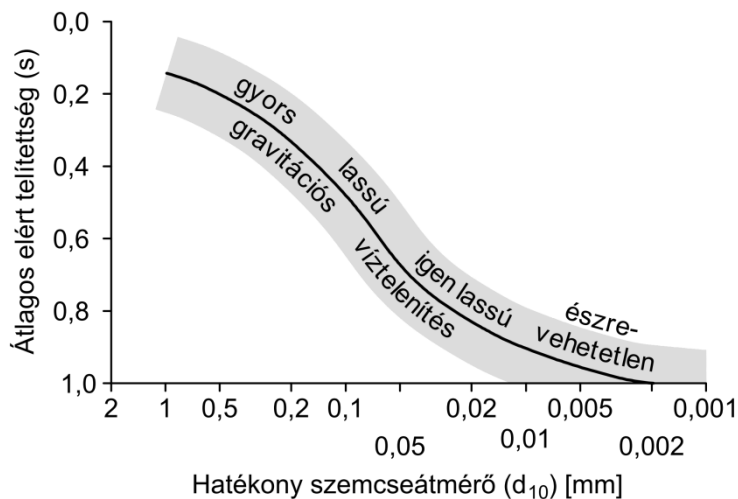
24 órás kapilláris vízemelés a mértékadó szemmagyság függvényében

Víztelenítés a nehézségi erő útján

A kapilláris erők hatását vizsgálva a víztelenítés szempontjából azt tapasztaljuk, hogy azok:

- csökkentik az eltávolítható vízmennyiséget,
- késleltetik a víztelenítés folyamatát.

Terzaghi kísérleti adatok alapján a hatékony szemcseátmérő függvényében meghatározta a gravitációs úton elérhető átlagos telítettséget. Ez alapján megállapítható, hogy *agyagos talajok esetében gravitációs víztelenítést nem alkalmazhatunk, mert mindig számíthatunk 70-80%-os telítettségre.*



Víztelenítés a nehézségi erő útján

Látszólagos kohézió

A szemcsés talajok szemcséi közötti szegleteket nyirkos állapotban *meniszkusszal határolt vízfilm* tölti ki, amely meniszkusznak a felületén uralkodó húzófeszültség reakciója a *homokszemcséket egymáshoz szorítja* és a kohézióhoz hasonló jelenség, az úgynevezett *kapilláris vagy látszólagos kohézió lép fel*, amelynek hatására a nedves homoktalaj bizonyos magasságig függőleges falban is megáll. *Vízzel telítődve, vagy kiszáradva a húzófeszültség megszűnik, a függőleges fal leomlik, ami súlyos balesetet okozhat. Emiatt a homokbányákban az "alávágás tilos".*

Vízmozgás hó hatására

A *hőmérsékletkülönbség hatására meginduló vízmozgást termoozmózisnak* nevezzük. Kimutatható, hogy hőmérsékletkülönbség hatására a cseppfolyós víz a melegebb, a vízpára a hidegebb részek felé halad. A pára kis víztartalom mellett a pórusokban szabadon áramolhat, és a hidegebb zónát elérve ott lecsapódik, növelve annak víztartalmát. Útburkolatok alatt, ahol a párolgás akadályozott, - ezért a vízvesztés csekély - termoozmózis hatására elvizesedés állhat elő. A termoozmózis hatása annál nagyobb, minél nagyobb a kezdeti víztartalom és minél hosszabb ideig tart a fagy. A termoozmózis hatására alakul ki az utakon az úgynevezett olvadási kár.

Hó hatására meginduló vízmozgást idéz elő a talajban megfagyó víz is, amelynek két formája a *tömbfagyás és a jégencse képződés* ismert.

Tömbfagyás alakjában fagnak meg a kavics- és homoktalajok. A telített talaj teljes egészében átfagy, a szemcséket jég fogja körül, a talaj víztartalma általában nem változik, térfogatváltozás nincs. Az ilyen jellegű fagyás útburkolatokra nem jelent veszélyt.

Az útburkolatra veszélyes fagyási mód a jégencse képződés. A talajban különböző fizikai állapotban előforduló víz, különböző hőfokon fagy meg. A szabad víz fagyáspontja 0 °C, míg a szolvátvízé -5 °C, vagyis a pórusok közepében magasabb hőmérsékleten fagy meg a víz, mint a szemcsék közelében elektrosztatikus és ionos vonzás alatt álló víz. A fagyás hatására a víz tehát a hézagok közepén jégkristályok formájában fagy meg először. Az így kialakult jégkristály körül elhelyezkedő szolvátvízre két ellentétes irányú erő hat. Az egyik a növekvő jégkristályok vonzóereje, a másik a talajszemcsék molekuláris vonzóereje, amelyek közül a kristályosodási erő a nagyobb. *A kristályosodás tehát vizet von el a szolvát rétegből, amely ugyanakkor igyekszik az eredeti rétegvastagságot előállítani.* A szolvátvíz pótlása történhet a környezetből, amikor a talajvízzel nincs kapcsolat és csak a helyi pórusvíz átrendeződésére van lehetőség. Ez számottevő térfogatváltozást nem idéz elő, ellentétben azzal az esettel, amikor a kapcsolat a talajvízzel a kapilláris vízemelés révén biztosított, és fennáll a folyamatos vízutánpótlás lehetősége. Ilyenkor a térfogatváltozás és a víztartalom-növekedés jelentős lehet.

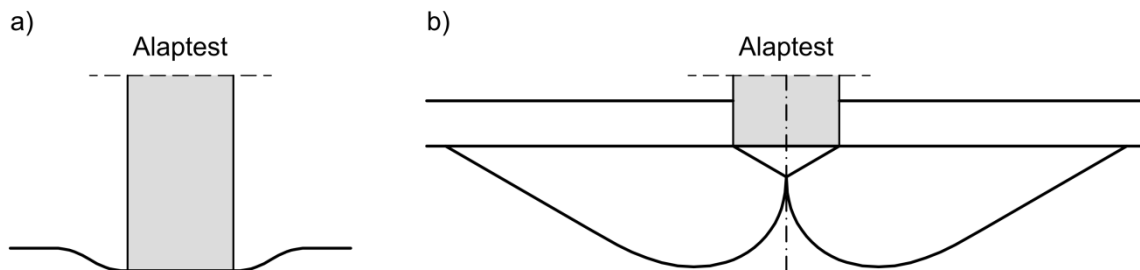
A jégencses fagyás hatására alakul ki útburkolatok alatt a fagykár jelensége, amely az olvadási kárral együtt lép fel leggyakrabban a télvégi és tavaszi időszakokban.

TALAJOK ALAKVÁLTOZÁSA ÉS SZILÁRDSÁGA

Talajok alakváltozásának és a szilárdságának törvényszerűségei

A talajon nyugvó építmények a talajban alakváltozásokat és feszültségeket hoznak létre, amelyek visszahatva a létesítményre meghatározzák annak használhatóságát, sőt sokszor sorsát is. A talajok alakváltozása a természetben úgy játszódik le, hogy közben a terhelő felület alól gyakorlatilag nem tudnak kitérni. A talajok *tönkremenetelekor azonban mindig oldalkitéréssel és térfogatváltozással találkozunk*, amelyet a talajok szilárdságának meghatározásánál ugyancsak figyelembe kell venni.

A szilárdságot és a külső terhelések hatására oldalkitérés nélkül összenyomódó talajban lejátszódó folyamatokat csak nagyfokú egyszerűsítéssel lehet leírni. A talajt homogénnek és izotrópnak tételezzük fel, amely bizonyos alacsony terhelési szakaszban rugalmas állapotú, tulajdonságait a rugalmassági modulus, valamint a hossz- és keresztirányú alakváltozások viszonyát kifejező Poisson szám jellemzi és érvényes rá a Hooke-törvény. A terhelést növelve egy átmeneti szakasz után elérkezünk egy jellemző határhoz, amelyen túl a talaj plasztikus tulajdonságokat mutat, amikor az erő és az alakváltozási sebesség a jellemző. Az előző állapotban a talajok a rugalmasságtan, az utóbbi esetben a képlékenységtan törvényszerűségei szerint viselkednek.

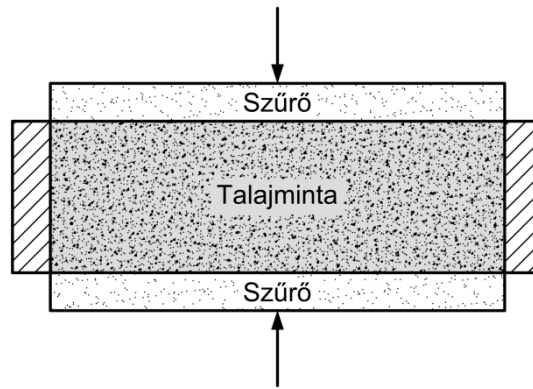


Összenyomódás és talajtörés

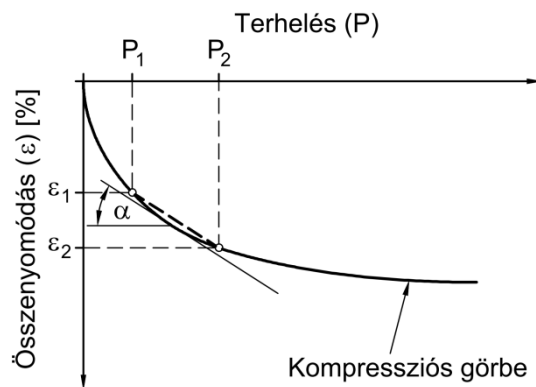
Talajok összenyomódása

A természetben előforduló nagy kiterjedésű alaptestek alatt összenyomódó talaj oldalkitérései elhanyagolhatóan kicsik, ezért a talajok összenyomódásának vizsgálatát gátolt oldalkitérés mellett kell elvégezni. A kísérlethez használt készülék az *ödométer*.

Az ödométer kiszűrő-gyűrűjében elhelyezett zavartalan talajmintát a gyűrűbe illő szűrőkövek közé helyezük, és az egészet a talplemezre tesszük, majd a befogó talpas gyűrűvel rögzítjük. A terhelést teherelosztó lap segítségével adjuk át a talajmintára, amelyből a víz zavartalan kinyomódását furatok és csővezeték teszi lehetővé. A terhelést lépcsőben hordjuk fel általában úgy, hogy értékét mindig megkétszerezzük. Az egyes terhelések időtartama addig tart, amíg az alakváltozást regisztráló mérőóra összenyomódást mutat. Az összenyomódás időbeli lefolyásának jellemzésére a mérőórán kellő sűrűséggel kell leolvasásokat végezni. A kísérlet eredményeként meg lehet szerkeszteni a *fajlagos összenyomódás és a terhelés függvényében a kompressziós görbét*.



Ödométer elvi vázlata



Kompressziós görbe

Összenyomódási modulus

A fajlagos összenyomódáson a mért teljes összenyomódás és az eredeti magasság viszonyát értjük.

$$\varepsilon = 100 \cdot \frac{\Delta h}{h}$$

ahol:

- ε : fajlagos összenyomódás (%),
- Δh : a mért teljes összenyomódás,
- h : a talajminta eredeti magassága.

A kompressziós görbe alapján meg lehet határozni az *összenyomódási modulus*, amely a rugalmas anyagok rugalmassági modulusához hasonló talajfizikai jellemző. Az összenyomódási modulus a kompressziós görbe érintője és a vízszintes által bezárt szög kotangenseként értelmezhető:

$$E_s = \operatorname{ctg} \alpha = \frac{\Delta p}{\Delta \varepsilon}$$

ahol:

- E_s : összenyomódási modulus (MPa),
- Δp : terhelésváltozás (MPa),

- $\Delta\varepsilon$: fajlagos összenyomódás változás (%).

Mivel a kompressziós görbe nem lineáris lefutású, ezért az összenyomódási modulus nagysága pontról pontra változik. A terhelés növekedésével az egységnyi terhelésváltozás hatására bekövetkező alakváltozás csökken, ezért a modulus nő.

Az összenyomódási moduluszt a gyakorlatban olyan terheléshatárok alapján kell megválasztani, amilyen terhelési viszonyok között a kompressziós kísérlet eredményeit használni akarjuk.

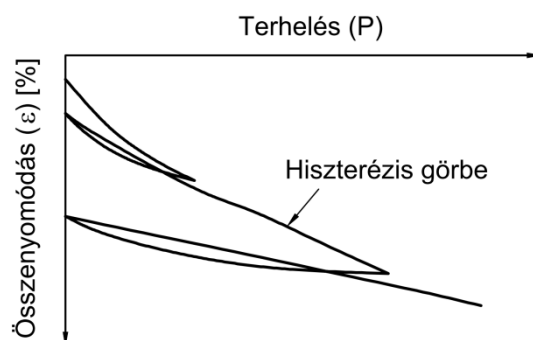
$$E_s = \frac{p_2 - p_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} = \frac{\Delta p}{\Delta \varepsilon} = \Delta p \cdot \frac{h}{\Delta h}$$

ahol:

- E_s : összenyomódási modulus (MPa),
- p_1 : a talaj eredeti helyzetére jellemző önsúlyfeszültség (MPa),
- p_2 : önsúlyfeszültség és az építmény súlyából adódó terhelésnövekedés összege (MPa),
- ε_1 : fajlagos összenyomódás a p_1 terhelés hatására a kompressziós görbéről leolvasva (%),
- ε_2 : fajlagos összenyomódás a p_2 terhelés hatására a kompressziós görbéről leolvasva (%)

Tehermentesítés hatása a kompressziós görbére

A kompressziós kísérlet során iktassunk be *tehermentesítési lépcsőket*, amelyek hatását vizsgálva azt tapasztaljuk, hogy eközben a talaj bizonyos határig rugalmasan kitágul, de eredeti állapotát nem nyeri vissza. Az összenyomódás során a szerkezet átrendeződése miatt a rugalmas alakváltozások mellett maradó alakváltozások is fellépnek. A *tehermentesítési (expanziós) szakaszban felvett görbe általában laposabb, mint a kompressziós szakaszban*. A tehermentesítési szakasz után bekövetkező újabb kompressziós szakaszban a görbe hiszterézis hurkot alkot az expanziós görbével, majd az első terhelés értékét elérve, futása az eredeti görbe szerint folytatódik. A jelenség alapján megállapíthatjuk, hogy a talajban csak az a többletfeszültség fog összenyomódást okozni, amely meghaladja a talajra addig hatott legnagyobb terhelést (pl. geológiai előterhelést).



Tehermentesítés hatása a kompressziós görbére

Összenyomódás számítása

Az összenyomódási modulusra adott képletet átalakítva kiszámíthatjuk az adott vastagságú és összenyomódási modulusú talajréteg összenyomódását a terhelésváltozás hatására:

$$\Delta h = h \cdot \frac{\Delta p}{E_s}$$

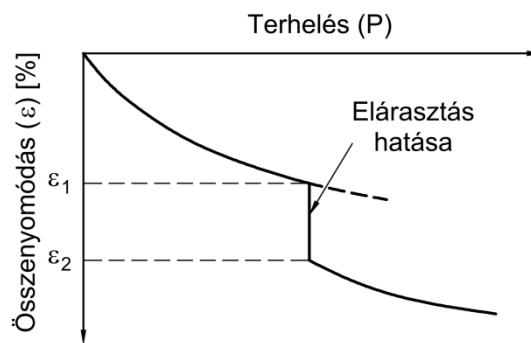
ahol:

- E_s : összenyomódási modulus (MPa),
- Δp : terhelésváltozás (MPa),
- Δh : összenyomódás,
- h : talajréteg eredeti vastagsága.

A lösz roskadása

Makroporózus talajok külső terhelés hatására végbemenő alakváltozása különlegesen játszódik le. A lösz és löszhöz hasonló talajokban külső terhelések és átázás hatására sokszor komoly károkat előidéző nagymértékű alakváltozások következnek be roskadás szerűen. Ennek a jelenségnek a vizsgálatára egy olyan ödométercellát használunk, amelyben a talajminta terhelés közben vízzel elárasztható. A szokványos kompressziós vizsgálat során, bizonyos terhelés elérése után áraszuk el vízzel a talajmintát. Azt fogjuk tapasztalni, hogy az addig normális lefutású kompressziós görbén lépcső keletkezik a hirtelen fellépő, erős összenyomódás miatt, majd további terhelés hatására a görbe valamivel meredekebben folytatódik.

A fellépő jelenség magyarázata az, hogy *terhelés hatására a makropórusokban kialakult látszólagos kohézió megszűnik, ezért a külső nyomás hatására a makropórusok összeomlanak. A mészártyák kötőereje a roskadást nem tudja megakadályozni, mert az a kezdeti terhelés hatására még a vízelárasztás előtt összeroppedezett.*



A lösz roskadása

A roskadást a viszonylagos roskadás tényezőjével, illetve az összegezett roskadással jellemezhetjük. A *viszonylagos roskadás tényezője*:

$$i_m = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{1 - \varepsilon_1}$$

ahol:

- i_m : viszonylagos roskadás tényezője,

- ε_1 : fajlagos alakváltozás a roskadás kezdetén,
- ε_2 : fajlagos alakváltozás a roskadás végén.

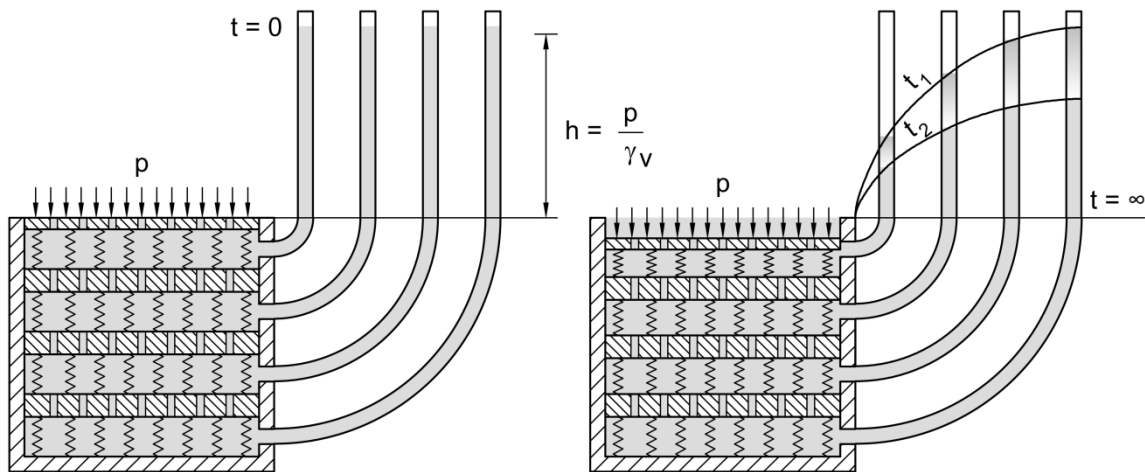
Ez alapján roskadó a talaj, ha $p = 300 \text{ kN/m}^2$ terhelés mellett elárasztva $i_m > 0,02$. A hazánkban előforduló lösztalajok viszonylagos roskadási tényezője $i_m = 0,10 - 0,20$.

Talajok összenyomódásából származó vízmozgás

A terhelt talaj (pl. alaptestek alatt) vázszerkezetében kialakuló feszültségek hatására létrejövő alakváltozások a pórusok leszűküléséhez vezetnek. Az összenyomódó pórusokban a víznyomás megnő, a különböző nyomású pontok között pedig vízáramlás alakul ki. Teljesen telített talajok esetében, ha a talaj az erő hatására nem tud kitérni, akkor a vázszerkezet összenyomódása a vízáramlás függvénye lesz. A nagy pórusú szemcsés talajokban gyors áramlás alakul ki, ezért a pórusvízben keletkező többletnyomás szinte azonnal kiegyenlítődhet és az összenyomódás zavartalanul lejátszódhat.

Rossz vízáteresztő-képességű talajoknál (pl. agyagtalaj) a lassú áramlás miatt a jelenség időben elhúzódva játszódik le. *A terhelés hatására meginduló vízmozgás - pórusvíznyomás kiegyenlítőds - és az összenyomódás időbeli lefolyását konszolidációnak nevezzük.* A konszolidáció lefolyását csak bonyolult formában lehet leírni. Egyszerűsített modelljét Terzaghi készítette el.

A vízzel telt edénybe helyezett, átluggatott és rugókkal egymásra helyezett dugattyúsor fokozatosan terelve azt tapasztaljuk, hogy a rugók csak a víz eltávozásának függvényében tudnak összenyomódni. A folyamat előrehaladása közben a rugók egyre több terhet vesznek fel, a vízáramlás és a folyamat lelassul.



Modell a konszolidáció magyarázatához

Konszolidációs fok

A t időpontig bekövetkező konszolidáció a *konszolidációs fokkal* jellemezhetjük:

$$\chi = \frac{\Delta h_t}{\Delta h_\infty} \cdot 100$$

ahol:

- χ : konszolidációs fok (%),
- Δh_t : t időpontig bekövetkezett összenyomódás,
- Δh_∞ : teljes összenyomódás.

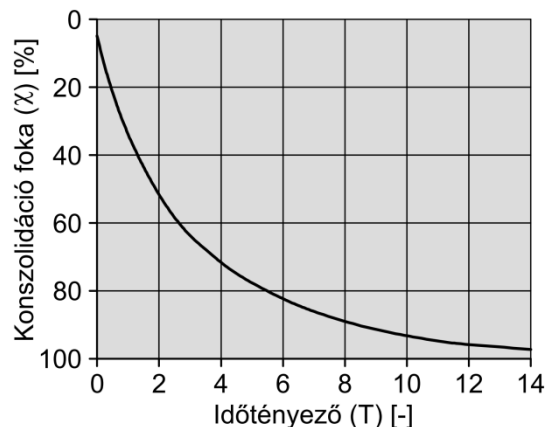
A konszolidációs fok vagy konszolidációs idő kiszámítására egy sor feltevésből kiinduló differenciál egyenlet használható, amely végtelen sorral fejezhető ki. Gyakorlatunkban elegendő a grafikonban feldolgozott eredmények használata, amelyhez ki kell számítani a legfontosabb tényezőket összefoglaló T időtényezőt:

$$T = \frac{E_s \cdot k}{\gamma_v} \cdot \frac{t}{h^2}$$

ahol:

- E_s : talaj összenyomódási modulusa (MPa),
- k : talaj vízáteresztő-képességi együtthatója (m/s),
- h : összenyomódó réteg vastagsága (m),
- t : vizsgált időszak (s).

A konszolidációs fok az időtényező függvényében táblázatból vagy grafikonról határozható meg.



A konszolidációs fok és az időtényező összefüggése

Talajok nyírószilárdsága

A talajmechanika fontos feladata, hogy a talajjal kapcsolatos statikai és szilárdságtani kérdéseket megoldja. Mivel a rugalmasságtan tételei a talajra csak bizonyos határig érvényesek, ezért a problémákat stabilitási vizsgálatokkal oldjuk meg. A stabilitási vizsgálatok során a fellépő alakváltozásoktól eltekintve kísérlettel, vagy számítással határozzuk meg annak az erőnek a nagyságát, amely a talaj töréséhez vagy csúszásához vezet. A talajokra ható külső erők ellensúlyozására belső erők lépnek fel, amelyek közül az anyagra jellemző legnagyobb szilárdságnak nevezzük. A különböző igénybevételek közül a talaj tönkremenetelét a nyíró igénybevételek hatására fellépő nyírófeszültségek (τ) okozzák, mert a deformációk az egyes részecskék közötti elmozdulások révén jönnek létre. A nyírófeszültségekkel szemben fellépő legnagyobb ellenállást nyírószilárdságnak (t) nevezzük. A nyírószilárdságot túllépő külső erőhatás esetében a talajban törés következik be, amelynek feltétele kielégített, ha a

nyírófeszültség (τ) = nyírószilárdság (t)

A feladat ezek után az, hogy a nyírószilárdság nagyságát meghatározzuk. Mivel a törés előidézésében az összes feszültségkomponens szerepet játszik, a valóságnak megfelelő helyzetet csak bonyolult, összetett feszültségi állapotok figyelembevételével lehet vizsgálni, amelyek előállítása nehézkes. A talajmechanikában ezért az egyszerűbb igénybevételekből következtetünk az általános feszültségállapotban várható viselkedésre.

Mohr-Coulomb törési feltétel

A talajok nyírószilárdságát a Mohr-féle törési elmélet Coulomb szerint egyszerűsített alakja alapján értelmezzük, amely kimondja, hogy valamely felületelemen működő normális (σ) és nyírófeszültség (τ) között lineáris kapcsolat áll fenn:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \Phi + c$$

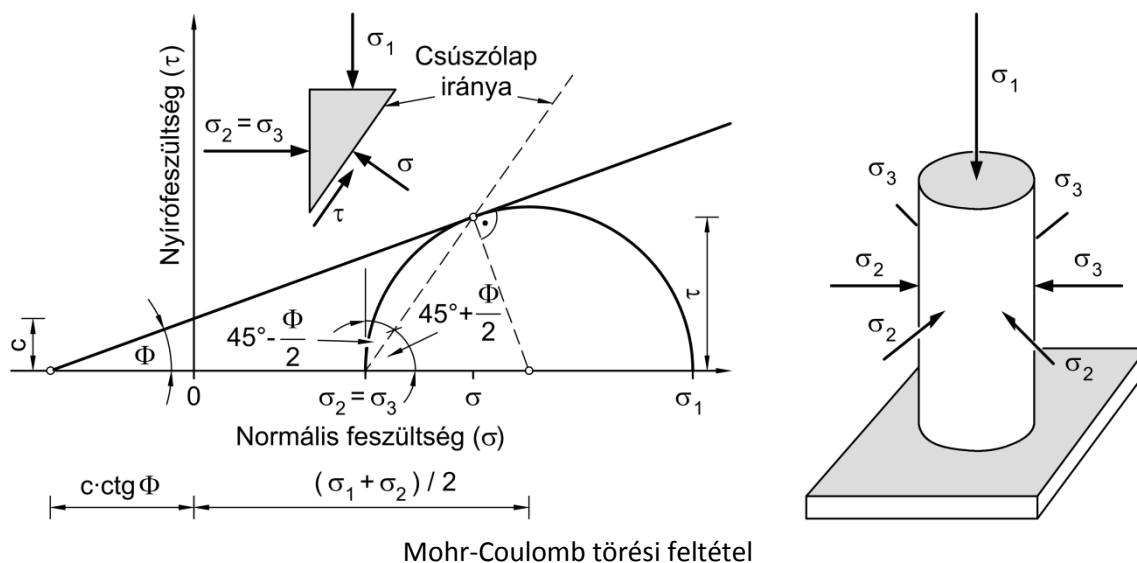
ahol:

- Φ : a talaj belső súrlódási szöge,
- c : a talaj kohéziója.

Azt a felületet, amelynek minden pontjában a fellépő normális és nyírófeszültség kielégíti a fenti egyenletet, *csúszólapnak* nevezzük. A *Coulomb-féle feltevés* erősen leegyszerűsítve a valóságot két részből határozza meg a nyírószilárdságot:

- *súrlódásból*: $\tau_1 = \sigma \cdot \operatorname{tg} \Phi$, amely arányos a normálfeszültséggel, és a súrlódási tényezővel ($\operatorname{tg} \Phi$) jellemezhető,
- *kohézióból*: $\tau_2 = c$, amely független a normálfeszültségtől. Értelmezése: a terheletlen felületek között fellépő nyírószilárdság, vagyis nulla normálfeszültség mellett a nyírószilárdságot adja.

A Coulomb-féle felfogás szerint a *törési egyenlet* σ - τ rendszerben ábrázolva *egyenest ad*. Az ábrát ki lehet egészíteni a feszültségállapotot jellemző Mohr-féle körrel. Törés a Coulomb-féle elmélet szerint akkor következik be, amikor a feszültségállapotot jellemző Mohr-féle körök a Coulomb-féle egyenest érintik. A törési feltétel egyetlen feltevése ebben az esetben az, hogy a törés csúszás következtében jön létre. A csúszás azon a felületen fog bekövetkezni, ahol az eredő feszültség a lehetséges legnagyobb szöget zárja be a felületelem normálisával. Az *elmozduló talajtömeget tehát egy merev testnek tételezzük fel*.



Törési feltétel kifejezése a főfeszültségekkel

A törés feszültségállapotához tartozó Mohr-kör ismeretében a törési feltétel a főfeszültségekkel is kifejezhető:

$$\sin\Phi = \frac{\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}}{\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + c \cdot \operatorname{ctg}\Phi} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2 + 2c \cdot \frac{\cos\Phi}{\sin\Phi}} = \frac{\sigma_1 \cdot \sin\Phi - \sigma_2 \cdot \sin\Phi}{\sigma_1 \cdot \sin\Phi + \sigma_2 \sin\Phi + 2c \cdot \cos\Phi}$$

$$(\sigma_1 \cdot \sin\Phi + \sigma_2 \cdot \sin\Phi + 2c \cdot \cos\Phi) \cdot \sin\Phi = \sigma_1 \cdot \sin\Phi - \sigma_2 \cdot \sin\Phi$$

Egyszerűsítve „ $\sin\Phi$ ”-vel és átrendezve:

$$\sigma_2(1 + \sin\Phi) = \sigma_1(1 - \sin\Phi) - 2c \cdot \cos\Phi \quad /:(1 + \sin\Phi), \text{ illetve } /:(1 - \sin\Phi)$$

Mivel:

$$\frac{1 - \sin\Phi}{1 + \sin\Phi} = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\Phi}{2}\right) \text{ és } \frac{\cos\Phi}{1 + \sin\Phi} = \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\Phi}{2}\right), \text{ illetve}$$

$$\frac{1 + \sin\Phi}{1 - \sin\Phi} = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\Phi}{2}\right) \text{ és } \frac{\cos\Phi}{1 - \sin\Phi} = \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\Phi}{2}\right)$$

ezért:

$$\sigma_2 = \sigma_1 \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\Phi}{2}\right) - 2c \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\Phi}{2}\right)$$

illetve:

$$\sigma_1 = \sigma_2 \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\Phi}{2}\right) + 2c \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\Phi}{2}\right)$$

A súrlódás passzív erő, amely csak aktív erő fellépése esetén, annak megfelelő mértékben mobilizálódik. Az aktív mozgást előidéző erő addig nem okoz elmozdulást, amíg nagysága el nem éri a passzív (mozgást gátló, súrlódó) erő lehetséges felső határát. Ezt túllépve, a súrlódás teljes mértékben kihasználttá válik (mobilizálódik) és folyamatos alakváltozás jön létre. A súrlódási ellenállást olyan erő tudja mobilizálni, amelynek a mozgás irányába ható, az elmozdulás síkjában működő összetevője is van. Az egyensúly feltétele a súrlódási törvény szerint az, hogy az összes erő eredője a súrlódási kúpon belül maradjon. A súrlódást előidéző fizikai okok közül jelentős szerepe van az egymáson elcsúszó felületek minőségének és az adhézióknak (szilárd felület és egy másik fázis összetapadása). A kötött talajokban fellépő kohézió az elemi részecskék közötti összetartó erő.

Nyírószilárdság meghatározása

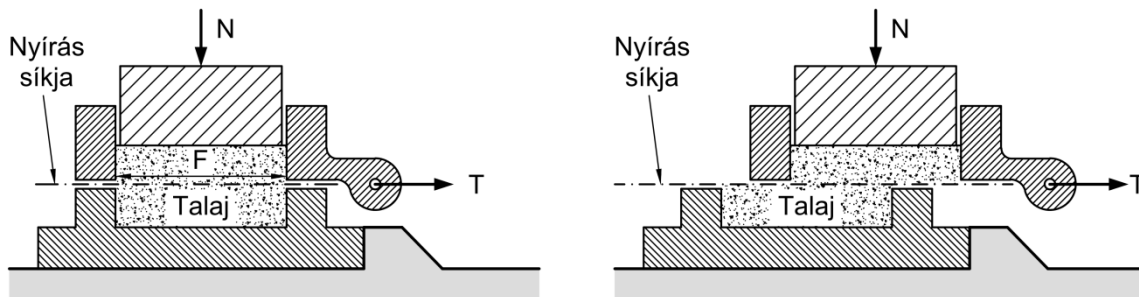
A nyírószilárdság meghatározása úgy történik, hogy valamilyen berendezéssel létrehozunk a törést okozó egyszerű feszültségállapotot és ennek ismeretében meghatározzuk a Coulomb-féle egyenest. A

különböző módon előállított feszültségállapotokban nagyon különböző alakváltozások lépnek fel, de az eredményül kapott Φ és c értékek közel azonosak lesznek. A nyírószilárdságot meghatározhatjuk:

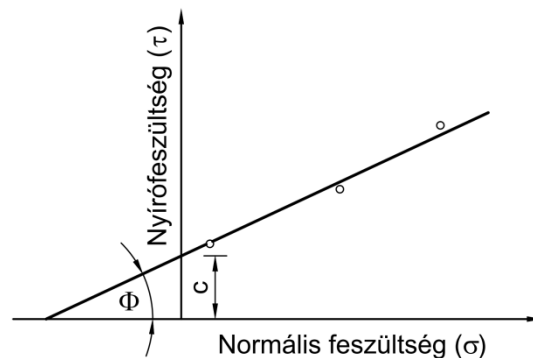
- közvetlen nyírással,
- egyirányú nyomással,
- triaxiális nyomással.

Közvetlen nyírás

A közvetlen nyírást egy nyíródoboz nevű készülékkel végezzük el. A készülék két egymáson elmozduló keretét talajjal töltjük ki, amelyet fogazott szűrőkövön keresztül nyomólap segítségével függőlegesen terhelünk. Ezután fokozatosan növelve a vízszintes terhelést, mérjük a függőleges és vízszintes elmozdulás nagyságát. A kísérletet többször megismételjük különböző függőleges terheléssel. A közvetlen nyírókísérlet eredményeként megkapjuk a Coulomb-féle törési egyenest, amelynek segítségével a Φ és c érték meghatározható. A nyírókísérlet egyszerűen végrehajtható, de elvi szempontból kifogások emelhetők ellene. (A feszültségállapot bonyolult, a nyírt és a nyomott felület változik stb.)



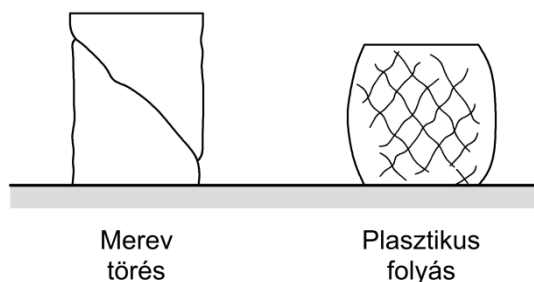
Közvetlen nyírás



Törési egyenes meghatározása közvetlen nyírással

Egyirányú nyomás

A talajok egyirányú nyomószilárdságát $h : d = 1,5 : 1$ arányú (általában $h = 6,0$ cm, $d = 4,0$ cm) hengeres talajmintákon határozzuk meg. A párhuzamos lapokra felhordott központosan ható függőleges terhelés hatására a talajok jellegzetes töréssel eltörnek, miközben térfogatuk csak kismértékben változik. A ridegebb kemény anyagok általában egy vagy két határozott csúszólap mentén törnek el, míg a nagy víztartalmú puhább anyagok plasztikusan, határozatlanul mennek tönkre. A plasztikus folyással tönkremenő talajok esetében a törőerő - megegyezés alapján a 20% fajlagos összenyomódáshoz tartozó terhelés értéke.



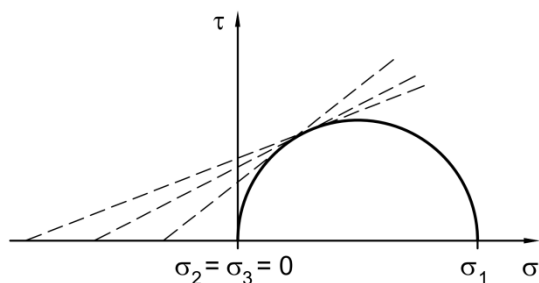
Jellegzetes törési képek

Egyirányú nyomás Mohr-féle ábrázolásban

Az egyirányú nyomás Mohr-féle ábrázolásban érinti a τ tengelyt, mert a második főfeszültség értéke zérus ($\sigma_2 = \sigma_3 = 0$). Mivel ehhez a Mohr-féle körhöz számtalan Coulomb-féle egyenes rajzolható, az egyirányú nyomás a nyírószilárdsági paraméterek (Φ és c) pontos meghatározására nem alkalmas, de merev törés esetén a csúszólap szögének leolvasásával becsülhetők. Az egyirányú nyomószilárdság Φ és c ismeretében meghatározható.

$$\sigma_{ny} = 2c \cdot \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\Phi}{2} \right)$$

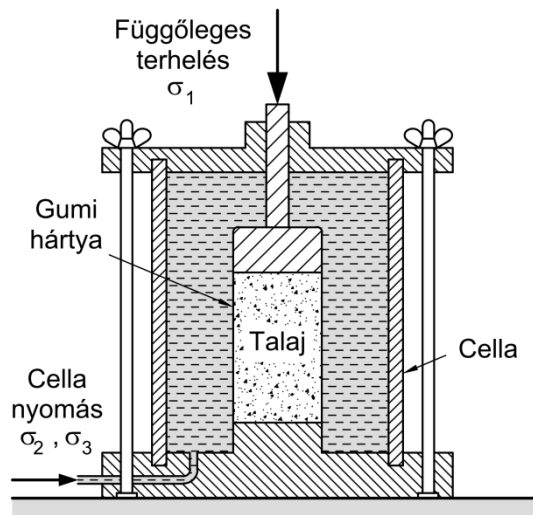
Az így meghatározott nyomószilárdság nem azonos a talajok valódi szilárdságával, mivel függ a minta geometriai méreteitől, a terhelés felhordásának sebességétől stb. Az egyirányú nyomással kapott σ_{ny} értéket a talaj konzisztenciájának jellemzésére lehet felhasználni.



Az egyirányú nyomás Mohr-köre

Triaxiális nyomás

A terhelésnek kitett talajok oldalkitérése gátolt, ezért bennük vízszintes irányú feszültségek is keletkeznek. A valós helyzetet jobban meg lehet közelíteni tehát, ha a nyírószilárdság meghatározásakor a talajban keletkező vízszintes feszültségeket is figyelembe vesszük. A vizsgálatot olyan készülékbe végezzük, amelyben a feszültségek a tér három irányában hatnak, ezért a kísérletet triaxiálisnak, a berendezést triaxiális nyomógépnek nevezzük.

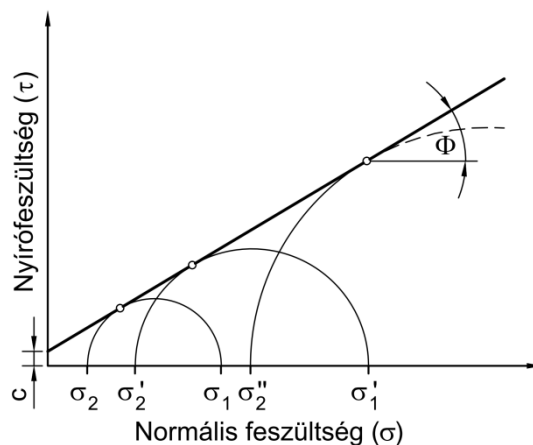


Triaxiális berendezés

Coulomb-féle egyenes meghatározása triaxiális berendezéssel

A kísérlethez felhasznált hengeres mintát gumiburokkal körbevéve üvegcellába helyezzük. A nyomócellát vízzel töltjük meg, az oldalnyomásnak megfelelő túlnyomást beállítjuk, majd a mintát függőlegesen terheljük a tönkremenetelig. A kísérlet során az oldalnyomást állandó értéken tartjuk.

Eredményül σ_1 és $\sigma_2 = \sigma_3$ főfeszültségeket kapunk, amelyekre jellemző, hogy $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$. A kísérletet különböző oldalnyomások mellett elvégezve *különböző Mohr-köröket kapunk, amelyek burkolója a Coulomb-féle törési egyenes*. A kísérlet során mérhető a minta alak- és térfogatváltozása mellett a minta hézagait kitöltő vízben ébredő pórusvíznyomás is.



Coulomb-féle egyenes meghatározása triaxiális berendezéssel

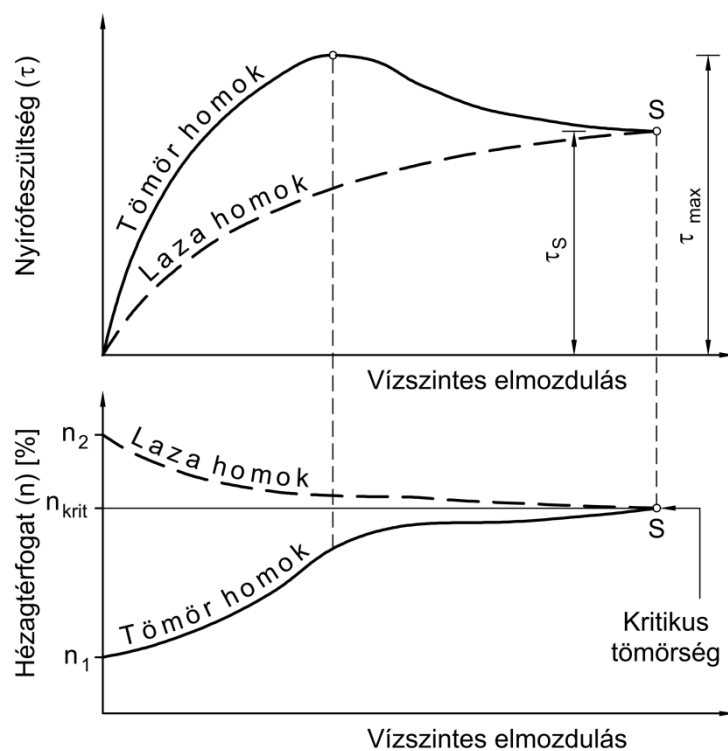
Szemcsés talajok nyírószilárdsága

A szemcsés talajokon végzett nyírószilárdsági vizsgálatok közben regisztrálva a nyírt homokminta térfogatváltozását azt tapasztaljuk, hogy a tömör homokok térfogata nő, míg a laza homokok térfogata csökken. A nyírófeszültséget, illetve a hézagtérfogatot a vízszintes elmozdulás függvényében ábrázolva látható, hogy a kezdeti kis hézagtérfogatú (tömör) homok a nyírófeszültség növekedésével lazul, míg a kezdeti nagy hézagtérfogatú (laza) homok a nyírófeszültség hatására tömörödik. Az állandó feszültség hatására fellépő folyamatos alakváltozás meghatározott

tömörsegnél a *kritikus tömörségnél* következnek be, amely a leglazább és a legtömörebb állapot között fekszik.

Az állandó normális irányú terhelésnek kitett laza homok nyíró-igénybevétel hatására folyamatosan tömörödik, miközben a nyírószilárdság mindaddig növekszik, amíg a kritikus tömörséghez tartozó τ_s nyírófeszültséget el nem éri, amelynek hatására a mozgás állandósul.

Tömör homok esetében az állandó normális irányú terhelés mellett lejátszódó nyírás lazulást idéz elő, miközben a nyírófeszültség egy τ_{max} maximális értéket ér el. Az elmozdulást τ_{max} után továbbra is fenntartva a nyírófeszültség folyamatosan csökken τ_s értékig, ahonnan az ellenállás már nem változik.



Homokok nyírása

Szemcsés talajok nyírószilárdságát befolyásoló tényezők

A szemcsés talajokban kialakuló nyírószilárdság két részre bontható:

- az érintkezési felületen fellépő *súrlódásra*,
- a szemcsék egymásba kapaszkodásából származó *szerkezeti ellenállásra*.

A tömör homokok nyírószilárdságát főként a szerkezeti ellenállás képezi, amelyet a fellépő lazulás is bizonyít. Laza állapotú homokban ezzel szemben a felületi súrlódás biztosítja a nyírószilárdságot. A nyírószilárdságra kiható tényezőket figyelembe vevő tapasztalati képlettel is meghatározható a homok és kavics belső súrlódási szöge.

$$\Phi = 36^\circ + \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4$$

A $\Phi = 36^\circ$ az átlagos homok súrlódási szöge, amelyet $\Phi_1 - \Phi_4$ korrekcióval tudunk javítani a következők szerint:

- Φ_1 : a szemcsealakot figyelembe vevő korrekció: $+1^\circ - -6^\circ$
- Φ_2 : a szemcsenagyságot figyelembe vevő korrekció: $+0^\circ - +2^\circ$
- Φ_3 : a szemeloszlás egyenletességét figyelembe vevő korrekció: $-3^\circ - +3^\circ$
- Φ_4 : a korrekcióval a tömörség vehető figyelembe: $-6^\circ - +6^\circ$

Ezek szerint a szemcsés talajok súrlódási szöge $\Phi = 21^\circ - 48^\circ$ között változhat.

Kötött talajok nyírószilárdsága

Kötött talajok nyírószilárdságának kialakulásában nagy szerepet játszik a pórusokban elhelyezkedő víz, az abban fellépő *pórusvíznyomás* és a *pórusvíznyomás kiegyenlítődének lehetősége*. Ezek alapján kétféle módon vizsgáljuk a törés kialakulását:

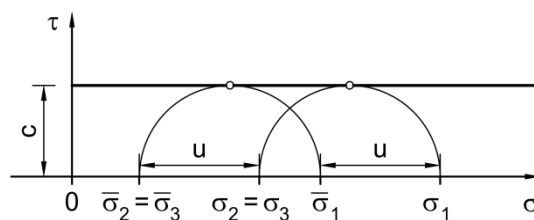
- *zárt rendszerben*, amikor a víz eltávoztása gátolt, vagy olyan gyors a kísérlet, hogy a pórusokban lévő víz nem tud eltávozni;
- *nyílt rendszerben*, amikor a pórusvíz eltávoztását nem akadályozzuk és olyan lassú kísérletet végzünk, amelynek során a pórusvíznyomás folyamatosan kiegyenlítődik.

Telített talaj nyírószilárdsága zárt rendszerben

Zárt rendszerben a normál és nyírófeszültségeket telített talajmintára felhordva csak csekély térfogatváltozást tapasztalunk, a talaj képlékeny anyagként viselkedik, amelynek nyírószilárdsága konstans és nem függ a teljes normálfeszültség nagyságától.

A vizsgálat során mérve a pórusvíznyomás nagyságát (u) kiszámítható az a feszültség, amely a talajszemcsék között uralkodik. A kísérlet szerint zárt rendszerben, telített agyagokban mind az első, mind a második feszültség, amely a talajszemcsék között uralkodik független az alkalmazott hidrosztatikus főfeszültségtől, ezért csak egyetlen Mohr-kör rajzolható, amely alapján a Φ és c értékét nem lehet egyértelműen meghatározni.

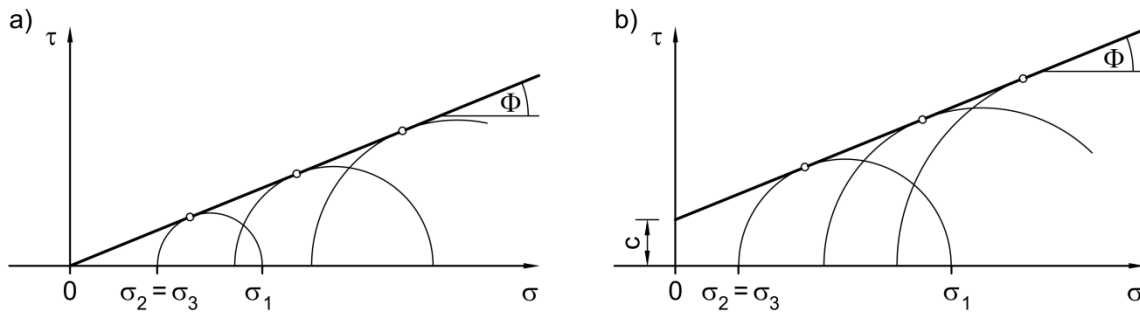
$$\tau = c = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2); \Phi = 0$$



Telített talaj nyírószilárdsága zárt rendszerben

Telített talaj nyírószilárdsága nyílt rendszerben

Nyílt rendszerben a pórusvíz eltávozhat a talajból, benne feszültségek nem halmozódnak fel, térfogatváltozás felléphet, a Mohr-körök felrajzolhatók, ezek burkolója a Coulomb-féle egyenes lesz, amelynek helyzete attól függ, hogy a talaj kapott-e már terhelést vagy nem. Abban az esetben, ha a talaj még sohasem kapott terhelést - vagyis *normálisan konszolidált* - a Mohr-kör érintője a kezdőponton megy át, míg az előterhelt - un. *túlkonszolidált* - talaj esetében az előterheléstől függő kohézió is jelentkezik.



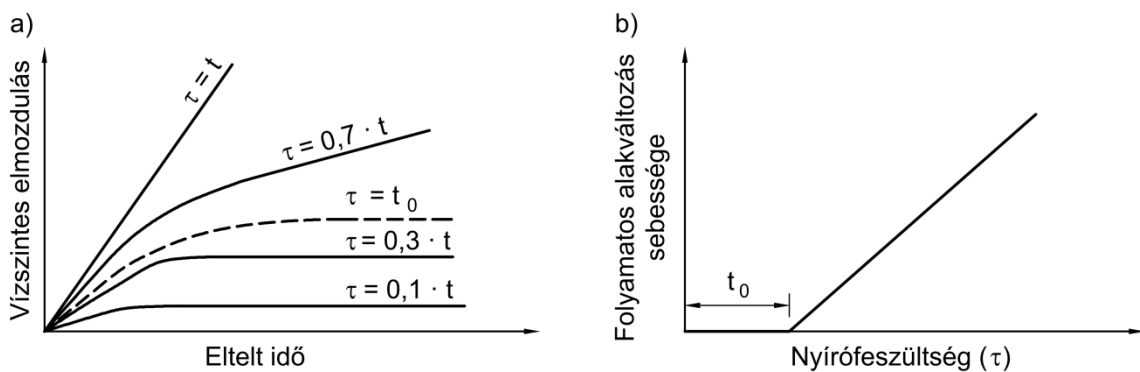
Coulomb-féle egyenesek nyílt rendszerben

Kötött talajok alakváltozása nyírófeszültség hatására

A kötött talajok nyírószilárdsága nem anyagállandó, mert a talajfajtán kívül függ az előterheléstől, a pórusvíznyomástól, a tömörségtől, a víztartalomtól, az erők felhordásának sebességétől, a pórusvíz áramlásának körülményeitől stb. A kötött talajok nyírása során fellépő alakváltozások lejátszódása lényegesen különbözik a szemcsés talajokban lejátszódó alakváltozásoktól.

Ahhoz, hogy a nyírási ellenállás mobilizálódjon a felületeknek el kell mozdulni egymáson, amelynek megfelelően kifejlődnek a csúsztatófeszültségek. Szemcsés talajoknál az alakváltozások hamar lejátszódnak, folyamatos alakváltozás, illetve törés akkor következik be, ha a nyírófeszültség eléri a nyírószilárdság értékét ($\tau = t$).

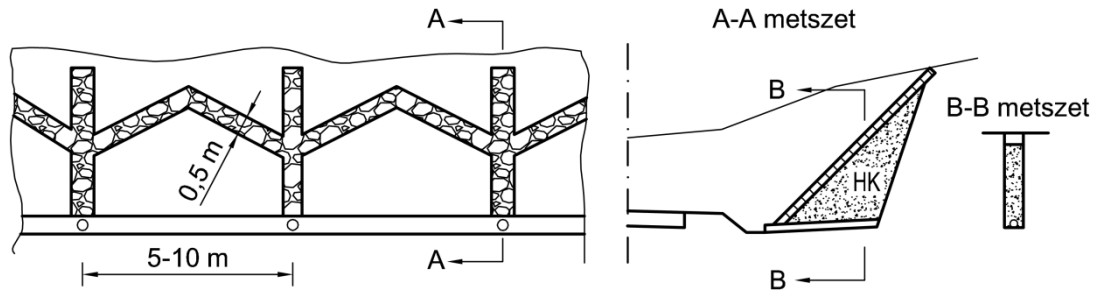
Kötött talajok esetében, ha a talajra ható nyírófeszültség jóval kisebb mint a nyírószilárdság, az elmozdulás lejátszódik, majd nyugalom áll be. A nyírófeszültség növelése során elérjük a nyírási ellenállás t_0 küszöbértékét, amelyet túllépve a kezdeti elmozdulás nem szűnik meg, állandósul, nyugalom nem alakul ki. A lassú alakváltozás sebessége a $\tau - t_0$ értékkel arányos.



Kötött talajok alakváltozása nyírófeszültség hatására

Fundamentális nyírószilárdság

A t_0 értéket - Terzaghi után - *fundamentális nyírószilárdságnak* nevezzük, amelynek nagysága a nyírószilárdság 40-50%-a körül mozog, az általánosságban előforduló agyagokban. A fundamentális nyírószilárdság úgy növelhető meg, hogy a kötött talajt – pl.: szivárgó kőbordákkal - kiszárítjuk.



Szivárgó kőborda

FÖLDTÖMEGEK EGYENSÚLYA

Földstatikai vizsgálatok alapelvei

A földstatikai vizsgálatokat, - mint például a támfalakkal megtámasztott, vagy rézsúvel határolt földtestek egyensúlyi viszonyainak vizsgálatát - a talajtömegben ébredő feszültségek és a talaj anyagi jellemzői segítségével végezhetjük el.

A talajtömeg statikai állapotát:

- a felszín alakulása,
- a talajrétegek tulajdonságai (a talaj típusa, állapota, nyírószilárdsága stb.),
- a talajvíz helyzete és mozgása

határozza meg. Ezek ismeretében a földstatikai feladatok közelítő pontossággal megoldhatók, amely közelítések a talaj inhomogén tulajdonságait figyelembe véve a gyakorlat számára kellő pontosságot biztosítanak.

Az egyensúlyi helyzet vizsgálatakor azzal a legegyszerűbb esettel foglalkozunk, amikor a talajtömeg *homogén vízszintes féltérre* alkot, vagyis olyan rétegződés nélküli talajtömegről lesz szó, amely vízszintes síkkal határolt, kiterjedése vízszintes irányba és a mélységbe végtelen.

Féltér önsúlyfeszültségei

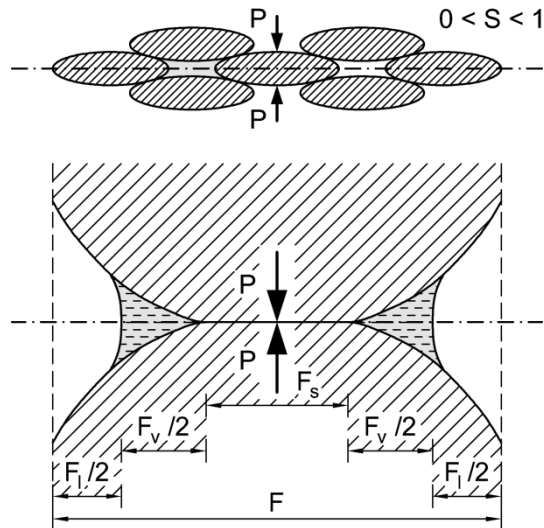
Az egyensúlyban lévő terheletlen talajtömegben az önsúlyból származó feszültségek uralkodnak. Ezek közül vizsgálatainkban a *függőleges és vízszintes feszültségeknek* van jelentősége.

A függőleges feszültség kitüntetett fő irány, mert az erőhatás főiránya - a gravitáció függőleges, nagysága pedig nem függ a lazulást vagy a tömörödést okozó mozgásoktól. A vízszintes feszültségek jelentősége az, hogy ezek eredője okozza a *földnyomást*. Nagysága attól függ, hogy a talaj *nyugalmi, vagy plasztikus állapotban van-e*. A plasztikus állapotban lévő talajok esetében eltérést tapasztalunk, ha a talajtömegben vízszintes irányú lazulás (expanzió), vagy tömörödés (kompresszió) jön létre. A lazulásban lévő talajtömegben aktív feszültségállapot uralkodik, a tömörödésben lévő talajtömegben passzív feszültségállapot uralkodik. Az önsúlyfeszültségek között kell megvizsgálni azt is, hogy a talajtömeg viselkedését mindig erősen befolyásoló áramló vagy nyugalomban lévő víz felhajtóerejéből és áramlási nyomásából milyen hatások, illetve feszültségek keletkeznek a talajtömegben, bár ezek nem kimondottan önsúlyból származó feszültségek.

Feszültségek és alakváltozások értelmezése

A talaj szilárd és folyékony fázisa a gyakorlatban előforduló feszültségek hatására alakjukat alig változtatják, tehát gyakorlatilag összenyomhatatlanok. A viszonylag kis terhelések hatására mégis fellépő térfogatváltozások oka az, hogy mindhárom fázisban feszültségek keletkeznek, amelyek hatására az alkotók egyedi részecskéi mozgásba jönnek, vagyis a víz és a levegő eltávozik, a szilárd szemcsék átrendeződnek.

A három fázisú diszperz rendszerben a feszültségek nem felületelemeken, hanem az érintkezési pontokban adódnak át. A terhelt talajtömegben felvett síkmetszeten tehát a feszültségeloszlás sohasem lesz folytonos, hanem különböző feszültségek lépnek fel. A talajokban fellépő feszültségeket tehát egy nagyobb felületre eső, pontról pontra változó feszültségek átlagaként értelmezzük.



Feszültségek a három fázisú talajban

Semleges és hatékony feszültségek

A terhelést a háromfázisú talaj minden alkotórésze közösen viseli, tehát mindegyikben feszültségek keletkeznek. A feszültségállapot vizsgálatára vegyünk fel a talajban egy síkmetszetet, amely mindhárom fázison keresztülmegy. A szemcsehalmazt terhelje P erő, a teljes metszett felület, amelyen P erő hat legyen F . Az egyes elemi metszett felületeket ezután egyesítsük, és a halmazt helyettesítsük két szilárd szemcsével, amelyek között szegletvíz és levegő foglal helyet. Ekkor az F felület, amelyen a P erő hat három részből tevődik össze:

- F_s : a szilárd szemcsék érintkezési felülete,
- F_v : a szegletvízen áthaladó felületrész,
- F_l : a levegőfázison áthaladó felületrész.

Az egyes felületeken ható feszültségek legyenek sorra p_s , p_v , p_l . A külső és belső erők egyensúlya alapján ezután felírható, hogy:

$$P = F_s \cdot p_s + F_v \cdot p_v + F_l \cdot p_l$$

Elosztva az egyenletet F -el a teljes feszültséget kapjuk:

$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{F_s}{F} \cdot p_s + \frac{F_v}{F} \cdot p_v + \frac{F_l}{F} \cdot p_l$$

Bevezetve a:

$$\varphi_s = \frac{F_s}{F}; \varphi_v = \frac{F_v}{F}; \varphi_l = \frac{F_l}{F}$$

arányszámokat:

$$\sigma = \varphi_s \cdot p_s + \varphi_v \cdot p_v + \varphi_l \cdot p_l$$

formában kapjuk a teljes feszültséget.

Teljesen telített talajt feltételezve ($S = 1$)

$$\varphi_l = 0 \text{ és } p_l = 0$$

ezért

$$\varphi_v = 1 - \varphi_s$$

így

$$\sigma = p_s \cdot \varphi_s + p_v(1 - \varphi_s)$$

A gyakorlatban előforduló esetekben a $\varphi_s = F_s / F$ érték nagyon kicsi, ezért:

$$1 - \varphi_s \approx 1$$

így a vízben ébredő feszültség:

$$p_v(1 - \varphi_s) \approx p_v$$

amely felbontható a feszültségek kiegyenlített állapotában a pórusvízben fellépő hidrosztatikus nyomásra (u_0) és a külső terhelések hatására fellépő kiegyenlített többletnyomásra a pórusvíz-túlnyomásra (u). Ezt a pórusvízben fellépő feszültséget *semleges feszültségnek* nevezzük:

$$p_v = u_0 + u = h \cdot \gamma_v + u$$

A p_s értéke jelentős nagyságú, - feltehetően a szilárd szemcsék folyási szilárdságával egyenlő - ezért:

$$p_s \cdot \varphi_s \neq 0$$

hanem véges mennyiséget képez, amelyet a talajmechanikában hatékony feszültségnek neveznek (jele: $\bar{\sigma}$)

A teljes feszültség tehát:

$$\sigma = \bar{\sigma} + p_v = \bar{\sigma} + (u + u_0)$$

alakban írható fel.

A *hatékony feszültség*, amely a szemcsék érintkezési helyein lép fel, teszi lehetővé azt, hogy a rendszer nyírófeszültségeket vegyen fel. A pórusvízben fellépő feszültségek hatására súrlódásból származó nyírószilárdság nem keletkezhet, mert víz nyírófeszültségekkel szembeni ellenállása gyakorlatilag zérus. A stabilitási és alakváltozási problémák vizsgálatában fontos, ezért ismernünk kell a hatékony és semleges feszültségek nagyságát.

Kísérlet a semleges és hatékony feszültségek bemutatására

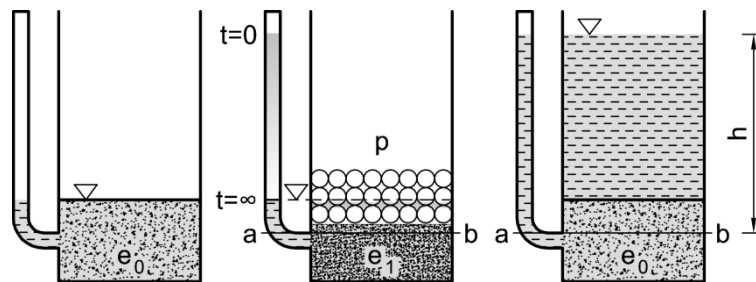
Helyezzünk el egy észlelőcsővel ellátott edény aljában vékony, vízzel telített talajréteget úgy, hogy a szabad vízfelszín és a talaj felszíne egybeessen. Az így bekészített talaj felszínét ezután terheljük p terheléssel úgy, hogy közben a minta összenyomódását és a vízáramlást nem akadályozzuk (pl. söréttel). A terhelés felhordásának pillanatában azt tapasztaljuk, hogy a víz nyomása p / γ_v

magasságig felemelkedik, jelezve, hogy az első pillanatban a víz vette fel a terhelést, vagyis megnőtt a semleges feszültség (u). A terhelés hatására azonban megindul a minta fokozatos összenyomódása, a kezdeti hézagtérférfő e_0 értékről e_1 értékre csökken, a víz a talajból kinyomódik, és a konszolidáció lejátszódása után az eredeti vízszintre fog lesüllyedni. A terhelés ezután szemcséről szemcsére adódik át, tehát a csökkenő semleges-feszültségek mellett mindjobban kialakulnak a hatékony feszültségek ($\bar{\sigma}$), amelynek hatására a talaj nyírószilárdsága megnő. A két feszültség összegének azonban állandónak kell maradni, és egyenlőnek kell lenni az állandó külső feszültséggel:

$$\sigma = \bar{\sigma} + u = \text{konstan s}$$

Terheljük most a kiindulási állapotban lévő talajt a p terhelésnek megfelelő vízoszlop súlyával, amelynek magassága $h = p / \gamma_v$ értékű lesz. A minta belsejében felvett a - b metszeten az összes feszültség növekedése most is p nagyságú lesz, azonban ennek hatására tömörödés és egyéb mechanikai változás a talajban nem áll elő, a vízszint hosszabb idő után sem változik, kiválasztott mélységben tehát nyomása az időben állandó. A minta nem nyomódik össze, a feszültség tehát nem szemcséről szemcsére átadódó hatékony feszültség formájában, hanem a vízben fellépő hidrosztatikus feszültség formájában jelenik meg, amely feszültség a semleges feszültség. A semleges feszültség nagysága ebben az esetben csak a szabad vízfelszíntől mért függőleges távolságtól, vagy a piezométeres nyomásmagasságtól függ, azzal egyenesen arányos:

$$u_0 = h \cdot \gamma_v$$



Hatékony és semleges feszültségek

A teljes, hatékony és semleges feszültségek az alábbiak szerint határozhatók meg:

- a teljes feszültség (σ) az összes (súlyerőből és egyéb terhelésekből származó) feszültség, amely az állandó nagyságú erő és felület hányadosa. A függőlegesen ható erők közé tartozik minden anyag súlya (talaj, víz, felszíni terhelés stb.), amely a vizsgált szint fölött van;
- semleges feszültség (u), amely felbontható a feszültségek kiegyenlített állapotában a pórusvízben fellépő hidrosztatikus nyomásra (u_0) és a külső terhelések hatására fellépő kiegyenlített többletnyomásra a pórusvíz-túlnyomásra (u). Ezek jelentős terheket képesek fenntartani, de mivel a közeg amelyben keletkezik saját nyírási ellenállással nem rendelkezik, ezért csúsztató erőkkel szemben nem ad ellenállást;
- hatékony feszültség ($\bar{\sigma}$) a szemcséket egymáshoz szorító feszültség, amelynek hatására tömörödés jön létre, nyírási ellenállás alakul ki. Nagysága a teljes és a semleges feszültség különbsége.

$$\bar{\sigma} = \sigma - u$$

Függőleges feszültségek a talaj önsúlyából

A talaj önsúlyából származó függőleges feszültség nagyságát a nyugalomban lévő vízszintes homogén végtelen féltér egyensúlyi állapotából kiindulva határozzuk meg.

Legyen a vízszintes síkkal határolt végtelen függőleges kiterjedésű földtömeg halomsűrűsége ρ , amelyben kijelölünk egy egyensúlyban lévő földprizmát. A z mélységű és F alapterületű földprizma oldallapjain működő vízszintes feszültségek eredői egyensúlyozzák egymást. A függőleges erők egyensúlya alapján felírható, hogy a földprizma súlyát az F felületen egyenletesen megoszló feszültségek egyensúlyozzák.

A prizma súlya:

$$G = z \cdot \rho \cdot g \cdot F = z \cdot \gamma \cdot F$$

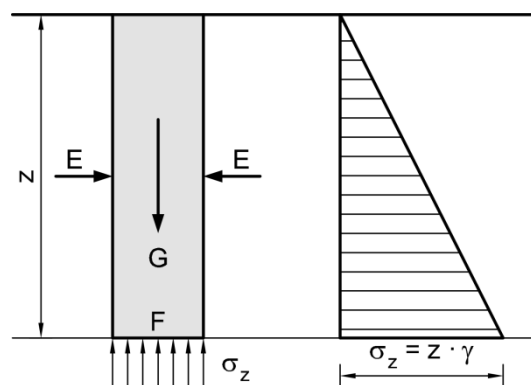
amellyel egyensúlyt tart a:

$$G = \sigma_z \cdot F$$

tehát:

$$\sigma_z = z \cdot \gamma$$

A függőleges feszültség tehát a mélységgel lineárisan nő. A feszültség-eloszlási ábra háromszöggel jellemezhető.



Függőleges önsúlyfeszültség a nyugalomban lévő végtelen féltérben

Egyenletesen megoszló végtelen kiterjedésű felszíni terhelés hatása

Az egyenletesen megoszló végtelen kiterjedésű terhelés hatását az előbbiekhöz hasonlóan vizsgálhatjuk.

A földprizma egyensúlyát itt a függőleges erők egyensúlyaként kell meghatározni úgy, hogy azon a q egyenletesen megoszló terhelés hat. A földprizma súlyának és a rajta lévő q egyenletesen megoszló terhelésnek az eredője:

$$Q = G + F \cdot q = F \cdot z \cdot \gamma + F \cdot q$$

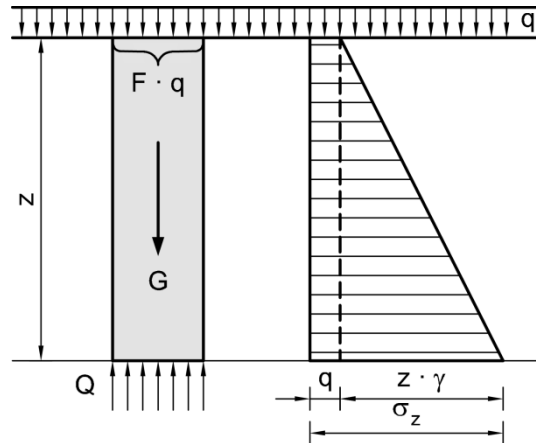
Az F felületen fellépő egyensúlyt biztosító feszültségek eredője:

$$Q = F \cdot \sigma_z$$

ahonnan:

$$F \cdot \sigma_z = F \cdot z \cdot \gamma + F \cdot q$$

$$\sigma_z = z \cdot \gamma + q$$



Függőleges feszültség egyenletesen megoszló felszíni terhelés hatására

Függőleges feszültségek a vízszintesen rétegzett talajban

Legyen a vízszintes félterünk rétegzettségére a felszínnel párhuzamos, tehát szintén vízszintes. Vizsgáljuk meg, hogy a H_1 vastagságú felső réteg alatt a második rétegben a réteghatártól mérve z mélységben mekkora a függőleges feszültség nagysága.

A H_1 vastagságú réteg alján a feszültség nagysága:

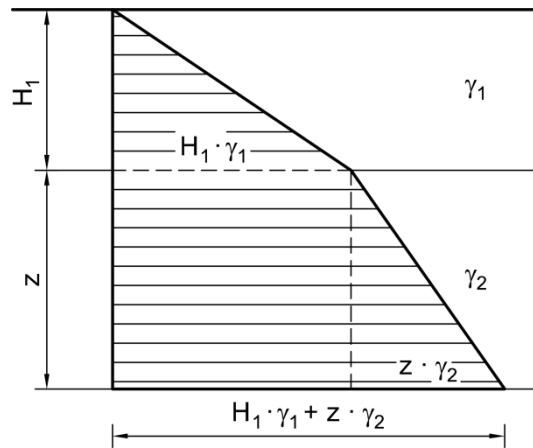
$$\sigma = H_1 \cdot \gamma_1$$

amely az alatta elhelyezkedő rétegen végtelen kiterjedésű egyenletesen megoszló terhelésként jelentkezik. Ezért a második rétegben a réteghatár alatt z mélységben keletkező feszültség:

$$\sigma_z = H_1 \cdot \gamma_1 + z \cdot \gamma_2$$

ahol:

- γ_1 : a felső réteg térfogatsúlya,
- γ_2 : a második réteg térfogatsúlya.



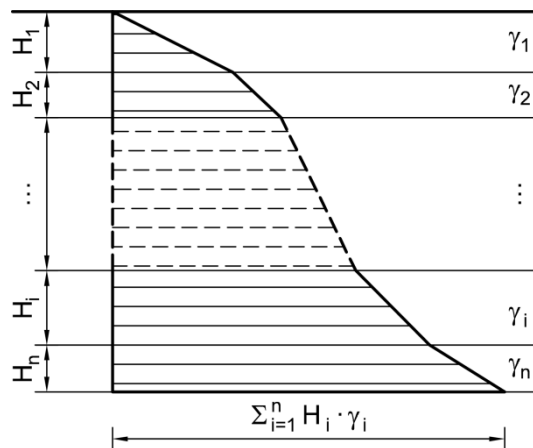
Függőleges feszültség két rétegű talajban

Függőleges feszültség rétegzett talaj esetén

Ha n számú talajréteget tételezünk fel, akkor

$$\sigma_z = \sum_{i=1}^n H_i \cdot \gamma_i$$

az n -dik réteg alján fellépő függőleges feszültség.



Függőleges feszültség rétegzett talaj esetén

Függőleges önsúlyfeszültség nyugalomban lévő talajvízszint esetén

A szemcsés anyagú vízszintes és homogén feltérben legyen a talajvíz szintje t mélységben. Vizsgáljuk meg a talajvízszint alatt z mélységben ébredő feszültségeket és állapítsuk meg azok mélységbeli változását.

A talajvízszint felett helyet foglaló t vastagságú rétegben az eddigiekhez képest nincs változás.

A talajvíz szintje alatt kétféle változás jelentkezik:

- a talaj telítetté válik, ezért halomsűrűsége megnő,
- érvényesül a felhajtó erő, vagyis a vízfelszín alatti mélységgel arányos pórusvíznyomás, azaz semleges feszültség keletkezik.

Ezek a hatások abban nyilvánulnak meg, hogy a teljes feszültség nagysága megnő, a hatékony feszültségek azonban a fellépő semleges feszültségek miatt lecsökkennek.

A t mélységig a talajban keletkező függőleges feszültség $t \cdot \gamma$ nagyságú, amely feszültség a teljes feszültséggel egyenlő, mert talajvíz nincs, semleges feszültségek nem léphetnek fel. A talajvízszint alatt z mélységben az összes függőleges feszültség:

$$\sigma_z = t \cdot \gamma + z \cdot \gamma_t$$

ahol:

γ_t : a telített talaj térfogatsúlya.

A z mélységben fellépő semleges feszültség:

$$u = z \cdot \gamma_v$$

amelynek segítségével a nyírószilárdságot növelő hatékony feszültség számítható a:

$$\bar{\sigma} = \sigma - u$$

összefüggésbe behelyettesítve:

$$\bar{\sigma}_z = t \cdot \gamma + z \cdot \gamma_t - z \cdot \gamma_v$$

amelyből:

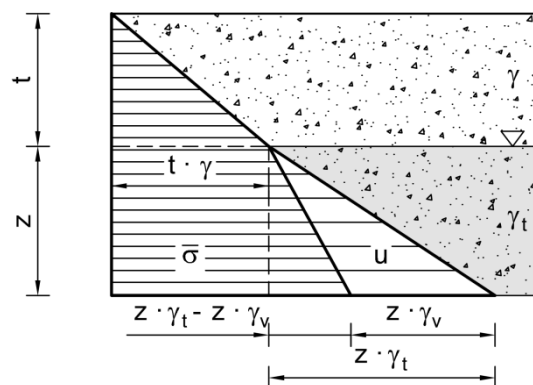
$$\bar{\sigma}_z = t \cdot \gamma + z(\gamma_t - \gamma_v)$$

bevezetve a:

$$\gamma_t' = \gamma_t - \gamma_v$$

víz alatti térfogatsúly fogalmát, a hatékony feszültségek:

$$\bar{\sigma}_z = t \cdot \gamma + z \cdot \gamma_t'$$



Függőleges feszültségek talajvízszint jelenlétében

Függőleges feszültségek alakulása függőleges vízáramlás hatására

Vizsgáljuk meg a vízszintes féltérben létrejövő függőleges vízáramlás hatását a függőleges önsúlyfeszültségekre. A h vastagságú vízáteresztő talajt borítsa h_v vízréteg, amelynek nyomását a réteg felszínén és a réteg alján piezométer csövekkel észleljük.

Először azt az esetet vizsgáljuk, amikor a víz nyugalomban van, nyomáskülönbség a réteg alsó és felső szintje között nincs, tehát a piezométer csövekben a vízszint azonos magasságban helyezkedik el. A teljes függőleges feszültség a talajréteg felszínén semleges feszültség, mert a vízben ébred, nagysága $h_v \cdot \gamma_v$. A réteg alján ébredő teljes feszültség nagysága:

$$\sigma_z = h_v \cdot \gamma_v + h \cdot \gamma_t$$

amely teljes feszültségeket bontsuk fel újra semleges és hatékony feszültségekre. A semleges feszültség:

$$u = (h + h_v) \cdot \gamma_v$$

a hatékony feszültség:

$$\overline{\sigma_z} = \sigma_z - u = h_v \cdot \gamma_v + h \cdot \gamma_t - (h + h_v) \cdot \gamma_v$$

$$\overline{\sigma_z} = h \cdot (\gamma_t - \gamma_v) = h \cdot \gamma_t'$$

Induljon meg ezután a rétegben függőlegesen lefelé áramlás, vagyis a réteg alján csökkenjen a nyomás, amelyet úgy érzékelünk, hogy a réteg alján elhelyezett piezométer csőben a vízszint a nyomáskülönbségnek megfelelő Δh értékkel alacsonyabb szinten lesz, mint a réteg felszínén elhelyezett csőben. A réteg felszínén fellépő összes feszültség újra semleges feszültség, nagysága $h_v \cdot \gamma_v$. A réteg alján fellépő teljes feszültség az előzőhöz képest változatlan

$$\sigma_z = h_v \cdot \gamma_v + h \cdot \gamma_t$$

nagyságú. A semleges feszültséget a réteg alján uralkodó kisebb nyomással kell számításba venni:

$$u = (h + h_v - \Delta h) \cdot \gamma_v$$

a hatékony feszültség:

$$\overline{\sigma_z} = \sigma_z - u = h_v \cdot \gamma_v + h \cdot \gamma_t - (h + h_v - \Delta h) \cdot \gamma_v$$

$$\overline{\sigma_z} = h \cdot \gamma_t' + \Delta h \cdot \gamma_v$$

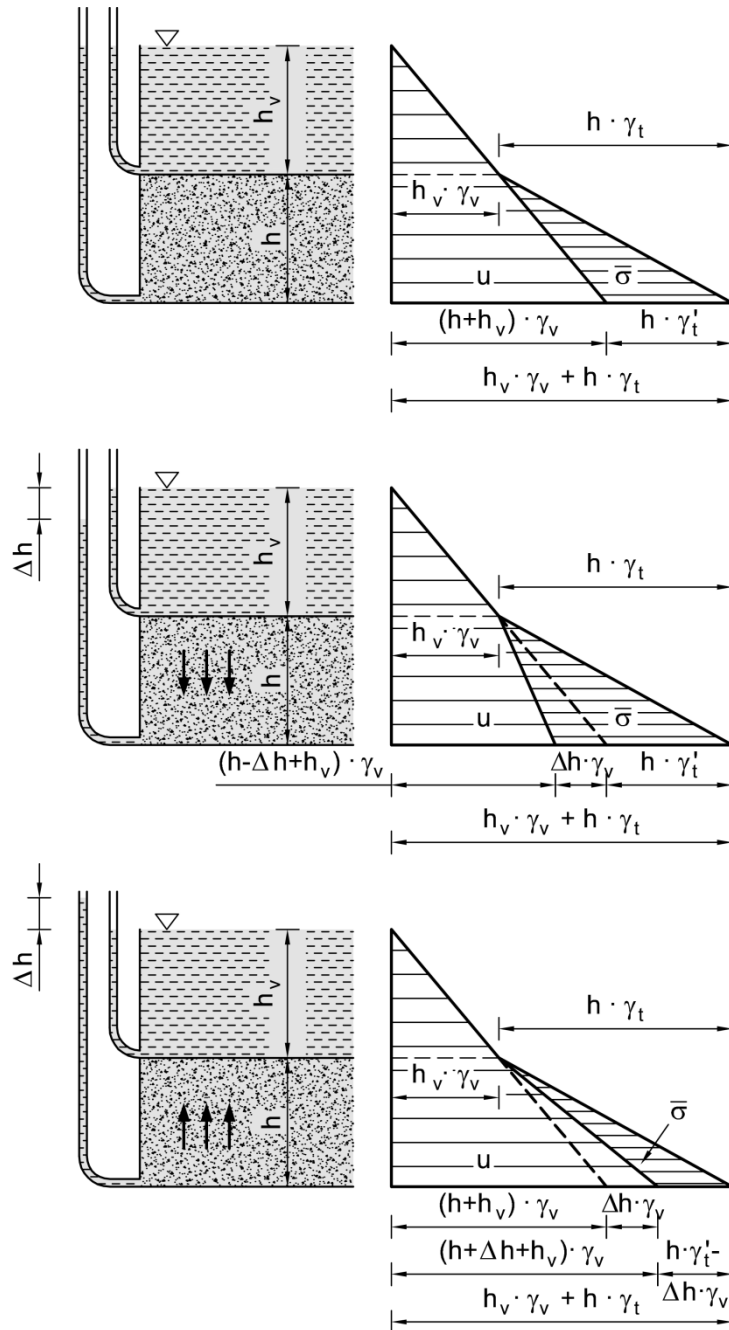
Látható, hogy változatlan teljes feszültség mellett lefelé áramló vízmozgás esetén a hatékony feszültségek nőnek.

A felfelé irányuló áramlást a réteg alján fellépő túlnyomás okozza, amelyet az itt elhelyezett piezométer csőben felemelkedő vízszint jelent. Az alsó és felső szint között fellépő nyomáskülönbség

most is arányos lesz a Δh magasságkülönbséggel, de eredője az előbbivel ellentétes lesz. A hatékony feszültség nagysága:

$$\bar{\sigma}_z = h \cdot \gamma_t' - \Delta h \cdot \gamma_v$$

a felfelé áramló vízmozgás esetén csökkenni fog.



Függőleges feszültségek áramló víz hatására

Függőleges önsúlyfeszültségek nagyságának meghatározása

A függőleges önsúlyfeszültségek nagyságát minden kerületi feltételre meg lehet oldani, ha az alábbi szabályok szerint járunk el:

- a vizsgált mélységben kijelölünk egy 1 * 1 m-es négyzetet,
- a kapott négyzet sarokpontjait felvetítjük a szabad levegőig és így egy egységnyi területű hasábot kapunk,
- kiszámítjuk a hasában helyet foglaló anyag és az ide jutó felszíni terhelés eredőjét, amely számszerűen a vizsgált mélységben működő függőleges feszültséggel lesz egyenlő (az egységnyi alapterület miatt),
- a vizsgált mélységben uralkodó teljes feszültségből levonva a vizsgált mélységben értelmezett piezometrikus nyomásmagasság alapján számított semleges feszültséget, a keresett hatékony feszültséghez jutunk.

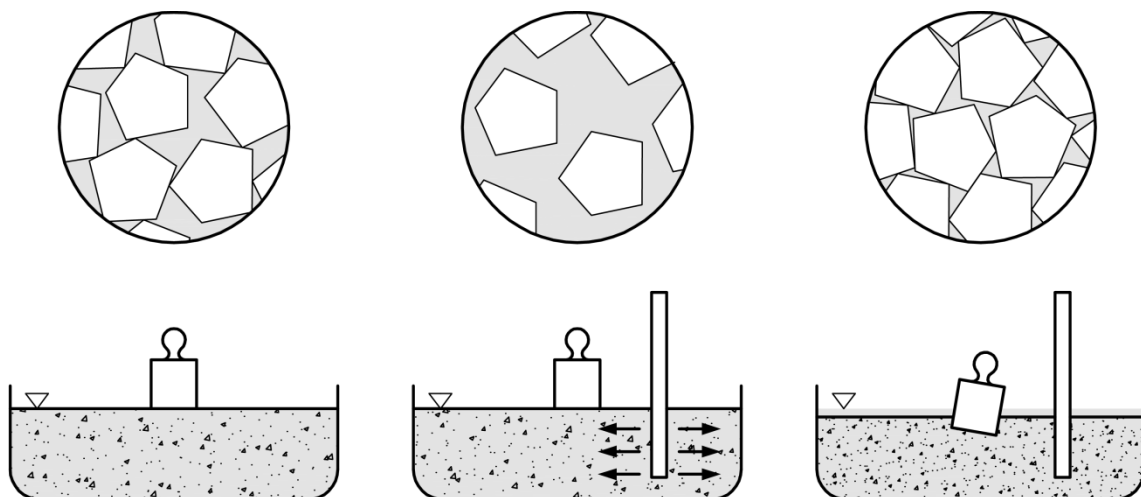
Homokok folyósódása

A pórusvíznyomás növekedésének hatására fellépő semleges feszültség növekedésének veszélyes hatása van vízzel telített homokban, amelyet kísérlettel lehet jól szemléltetni.

Egy edényben elhelyezett laza homokréteget áraszunk el a felszínig vízzel, majd tegyük rá egy súlyt. A súlyt a homokréteg vázszerkezete meg fogja tartani. Szúrjunk hirtelen egy botot a homokrétegbe, amelynek hatására a súly hirtelen elsüllyed. A jelenséget azzal magyarázhatjuk, hogy a benyomódó bot hatására kialakuló helyi deformáció lép fel, miközben a rendelkezésre álló rövid idő alatt a víz nem tud kinyomódni a talajból, de benne a feszültségek ugrásszerűen megnőnek.

Ezek a feszültségek semleges feszültségek, amelyek hatására a szemcsék közé benyomódó víz a talaj vázszerkezetét megbontja, így azok mintegy úsznak a feszültség alatt álló pórusvízben. A folyamat gyorsan terjed szét az egész homoktömegben, amelynek eredménye, hogy a homoktömeg elveszti belső ellenállását és sűrű szuszpenzióként viselkedik. Ebben a közegben a homok-víz keverék fajsúlyánál nagyobb fajsúlyú tárgyak elmerülnek, a könnyebbek a felszínre vetődnek.

A folyási jelenség a folyósódásra hajlamos talajokban – főként víz alatti telített homokban – különböző, helyi talajtörést okozó hatásokra alakulhat ki, mint például földrengés, cölöpverés, hirtelen talajvízcsökkenés stb.



Homokok folyósódása

Vízszintes irányú önsúlyfeszültségek

Az egyensúlyban lévő talajtömegben a függőleges feszültségek mellett vízszintes feszültségek is működnek, eredője a földnyomás, amely különféle szerkezeteket (támfal, pincefal stb.) terhel, ezért a

méretezésnél ezeket számításba kell venni. A vízszintes önsúlyfeszültségek a hatékony függőleges feszültségekkel arányosak, abból kiszámíthatók. A pórusvíznyomásból és áramlási nyomásból adódó többletfeszültségeket külön kell kiszámítani, és azt a hatékony feszültségek alapján számított vízszintes feszültségekhez hozzá kell adni.

A vízszintes feszültségek nagyságának megállapításánál alapvetően a következő alapeseteket különböztük el:

- a földtömeg nyugalomban van,
- a földtömeg pasztikus állapotban van.

A pasztikus állapotban kialakuló feszültségek különbözőek aszerint, hogy a mozgást térfogatnövekedés (*expanzió*) vagy térfogatcsökkenés (*kompreszió*) kíséri. Ennek alapján *a talajban aktív, illetve passzív feszültségi viszonyok uralkodnak.* (A végtelen féltér önsúlyból származó feszültségállapotát William John Macquorn Rankine vizsgálta, ezért ezeket aktív, illetve passzív Rankine-féle állapotnak is szokták nevezni.)

Nyugalmi állapot

A nyugalmi állapotban fellépő vízszintes feszültség nagyságát az egyensúlyi viszonyok vizsgálatával nem tudjuk megállapítani. A számításra különböző megoldásokból és feltevésekből kiinduló elméletek vagy kísérleti eredményeken alapuló közelítő összefüggések ismeretesek, amelyek közül legegyszerűbb a Jáky által meghatározott:

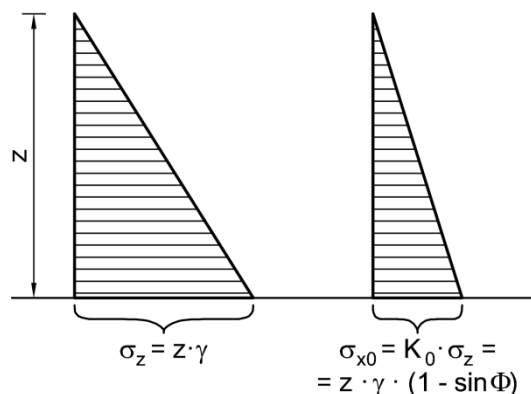
$$\sigma_{x0} = K_0 \cdot \sigma_z = K_0 \cdot z \cdot \gamma$$

$$K_0 = 1 - \sin \Phi$$

ahol:

- σ_{x0} : vízszintes feszültség z mélységben,
- K_0 : nyugalmi nyomás tényezője,
- Φ : talaj belső súrlódási szöge.

A nyugalomban lévő földtömegben fellépő vízszintes feszültség nagysága, tehát szintén arányos a mélységgel. A nyugalomban lévő talajban fellépő vízszintes feszültségek eredője a nyugalmi földnyomás.



Függőleges és vízszintes nyugalmi önsúlyfeszültségek

Plasztikus állapot

A nyugalmi nyomás állapotában a talaj addig maradhat, míg benne elmozdulások nem lépnek fel. A különböző lazulást, vagy tömörödést előidéző elmozdulások hatására mobilizálódik az anyag nyírási ellenállása, majd a képlékeny határállapot elérésekor a kielégített törési feltételek miatt a differenciális feszültségnövekedés törést idéz elő. Ekkor a földtömegben mindenütt kielégített a törési feltétel. A főfeszültségek közötti összefüggést síkbeli törési állapotban megadó törési feltételt a Coulomb-Mohr-féle feltevés alapján vizsgálhatjuk.

Aktív feszültségi állapot

A nyugalomban lévő földtömeg feszültségállapotát jellemző Mohr-féle kör még nem érinti a Coulomb-féle egyenest, tehát a törési feltétel még nincs kielégítve. A feszültségállapot megváltoztatása miatt hozunk létre a talajban először egyenletes lazulást (expanziót), amely a természetben úgy játszódhat le, hogy a földet megtámasztó fal kissé előre billen a földnyomás hatására. Az előrebillenés nagysága egészen csekély, inkább "moccanásról" lehet beszélni. Az expanszió után egy vizsgált sík fölött elhelyezkedő talajréteg vastagsága változatlan marad, tehát a függőleges feszültség ($\sigma_1 = \sigma_z$) értéke nem változik, a vízszintes feszültség azonban csökken, egészen addig, míg a Mohr-féle kör a Coulomb-féle egyenest érinti.

Ebben a határhelyzetben K_0 értéke K_a határhelyzetet éri el, a törési feltétel a talajtömeg minden pontjában kielégített. A talajtömeg ekkor az aktív Rankine-feszültségi állapotban van.

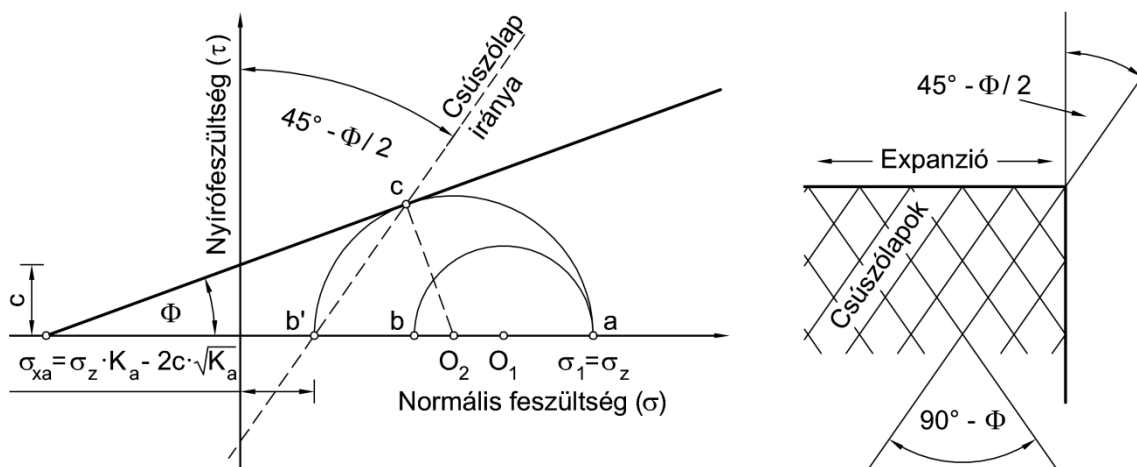
$$\sigma_{xa} = \sigma_z \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\Phi}{2}\right) - 2c \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\Phi}{2}\right)$$

$$\sigma_{xa} = \sigma_z K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

ahol:

$$K_a = \operatorname{tg}^2(45^\circ - \Phi/2) \text{ az aktív földnyomás tényezője.}$$

A csúszólap irányát a Cb' egyenes adja, amely a nagyobbik főfeszültség irányával (a függőleges feszültség irányával) $45^\circ - \Phi/2$ szöget zár be.



Aktív feszültségi állapot kialakulása Mohr-féle ábrázolásban

Aktív feszültség mélységbeli eloszlása

A feszültségeloszlás ábráját vizsgálva azt tapasztaljuk, hogy a $z=0$ mélységben a talajban teljes húzás van, mert

$$\sigma_z = z \cdot \gamma$$

$$\sigma_{xa} = -2c\sqrt{K_a}$$

A z_0 mélységben a vízszintes feszültség $\sigma_{xa}=0$, mert a húzó- és nyomófeszültség nagysága egyenlő.

$$\sigma_{xa} = 0 = z_0 \cdot \gamma \cdot K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

ahonnan kifejezhető az a z_0 mélység:

mivel

$$\frac{1}{\operatorname{tg}\left(45^\circ - \frac{\Phi}{2}\right)} = \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\Phi}{2}\right)$$

$$z_0 = \frac{2c}{\gamma} \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\Phi}{2}\right)$$

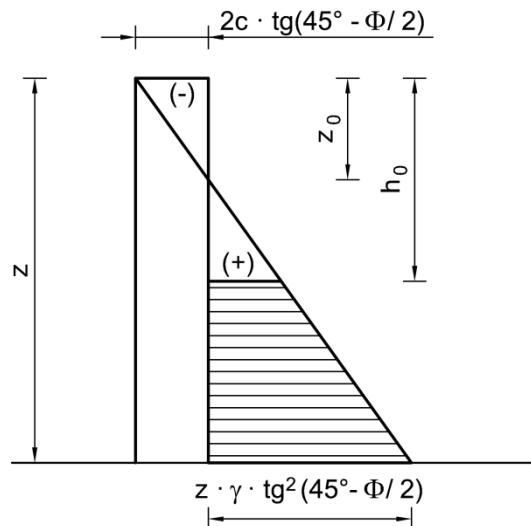
A talaj eddig a mélységig húzási állapotban van.

A h_0 mélységben a nyomófeszültség eléri azt a húzófeszültségi értéket, amelyet a kohézió kölcsönöz, és ez:

$$h_0 = 2z_0 = \frac{4c}{\gamma} \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\Phi}{2}\right)$$

Elméletileg a talaj függőleges falban ilyen magasságig megállna, amelyet alapgödör kiemelésénél, közművek árkának készítésénél lényeges ismerni. A gyakorlatban a biztonság miatt ennek 2/3-át vehetjük csak figyelembe.

$$h'_0 = \frac{2}{3}h_0 = \frac{2,67c}{\gamma} \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\Phi}{2}\right)$$



Aktív feszültség mélységbeli eloszlása kohéziós feltérben

Passzív feszültségi állapot

Hozzunk létre a talajban tömörödést (kompressziót), vagyis most valamilyen szerkezet támaszkodjon a talajra (pl.: kötélpálya tartókötelének kihorgonyozása), amelynek egyensúlyát a vízszintes feszültségek tartják fenn. A felszín mozdulatlansága miatt a függőleges feszültségek most is változatlanok maradnak, de a vízszintes feszültség növekedni fog.

A Mohr-féle kör átmérője először csökken, majd ponttá zsugorodik. Ekkor a talajtömegben hidrosztatikus feszültségállapot uralkodik, vagyis $\sigma_x = \sigma_z$. A kompressziót tovább fokozva a feszültségek viszonya megváltozik, a vízszintes főfeszültség nagyobb lesz mint a függőleges feszültség, a Mohr-kör átmérője tehát növekedni fog. Ez a növekedés a törés határállapot eléréséig tart, amely akkor következik be, amikor a Mohr-féle kör érinti a Coulomb-féle egyenest. A talaj ekkor passzív Rankine-feszültségi állapotba kerül.

A vízszintes főfeszültség értéke:

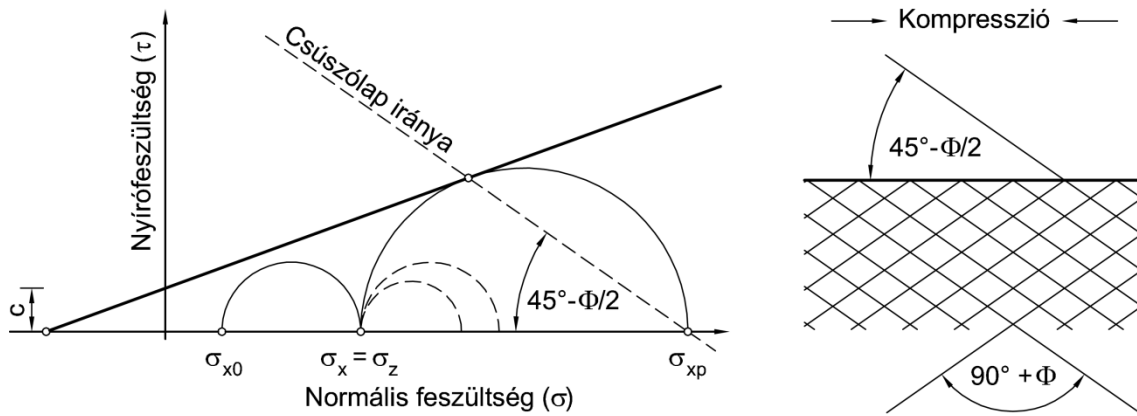
$$\sigma_{xp} = \sigma_z \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\Phi}{2}\right) + 2c \cdot \operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\Phi}{2}\right)$$

$$\sigma_{xp} = \sigma_z K_p + 2c\sqrt{K_p}$$

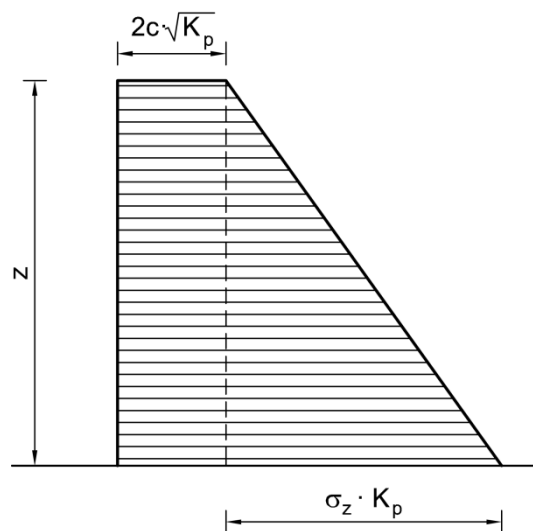
ahol:

$$K_p = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ + \frac{\Phi}{2}\right) \text{ a passzív földnyomás tényezője.}$$

A csúszólap hajlása a nagyobbik főfeszültséghez, amely most vízszintes irányú, szintén $45^\circ - \frac{\Phi}{2}$.



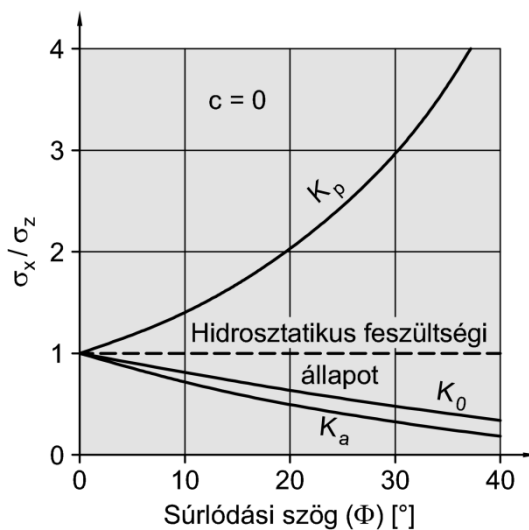
Passzív feszültségi állapot kialakulása Mohr-féle ábrázolásban



Passzív feszültség mélységbeli eloszlása kohéziós féltérben

Vízszintes feszültségek összehasonlítása

A három vízszintes feszültséget a Φ súrlódási szög függvényében ábrázolva azt tapasztaljuk, hogy az aktív földnyomás tényezője a legkisebb, ennél valamivel nagyobb a nyugalmi földnyomás tényezője, a passzív földnyomás tényezőjének nagysága pedig a legnagyobb.



A három vízszintes feszültség összehasonlítása

Földnyomás kialakulása

A talajjal érintkező különböző építmények határfelületén, az építmény és a talaj kölcsönös támaszkodása miatt kialakuló erő a földnyomás, amely minden esetben valamilyen földtömeg egyensúlyát biztosítja.

Földnyomás nehezedik a földtömegek megtámasztására szolgáló támasztófalakra, a munkagödröket kibiztosító palló-falakra, valamint a földnyomás tartja egyensúlyban a kötélpályák kihorgonyzását és az ívhidak pilléreit.

A földnyomás számításához jól felhasználható a korábban vizsgált végtelen féltér, amellyel a tényleges talajt helyettesíthetjük.

Nyugalmi földnyomás

A nyugalomban lévő vízszintes végtelen féltérrel osszuk ketté egy rugalmas vékony fallal úgy, hogy a földtömeg továbbra is zavartalanul nyugalomban maradjon.

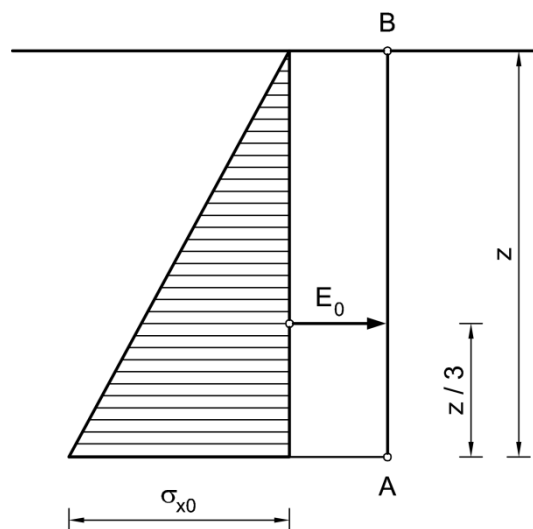
Az A-B falon E_0 nyugalmi földnyomás hat, amely vízszintes térszín és függőleges fal esetén - az egyensúly miatt - mindkét oldalon azonos nagyságú. Gondolatban vegyük el a földtömeget a fal egyik oldalától úgy, hogy a földtömeg nyugalmi állapotát a falazattal biztosítjuk. Belátható, hogy egy ilyen mozdulatlan szerkezetre a nyugalmi vízszintes feszültségek eredője fog hatni. A korábbiakból ismert, hogy a vízszintes nyugalmi feszültség nagysága a z magasságú falazat alján:

$$\sigma_{x0} = K_0 \cdot \sigma_z = K_0 \cdot z \cdot \gamma$$

A feszültség eloszlása háromszög alakú. A hátfalra ható egyenletesen változó feszültség eredője - a nyugalmi földnyomás - arányos a háromszög területével, értéke

$$E_0 = K_0 \cdot \sigma_z \cdot \frac{z}{2} = K_0 \cdot \frac{z^2 \cdot \gamma}{2}$$

amely a háromszög magasságának alsó harmadában hat, iránya vízszintes térszín esetén vízszintes, mert feltételezésünk szerint sem a fal, sem a szemcsehalmaz nem mozdulhatott el sem vízszintes sem függőleges irányba. A képletben szereplő K_0 a nyugalmi nyomás tényezője. Értéke homoknál 0,40-0,50 agyagnál 0,60-1,00. Mozdulatlan szerkezetnek tekinthető - tehát nyugalmi nyomásra méretezhető - az épületek merev és mozdulatlan pincefala, vagy a földbe sajtolt nagy átmérőjű, vékony falú cső, amelyből a földet eltávolítottuk.



Nyugalmi földnyomás értelmezése

Aktív földnyomás

Aktív földnyomás értelmezése kohézió nélküli talajokban

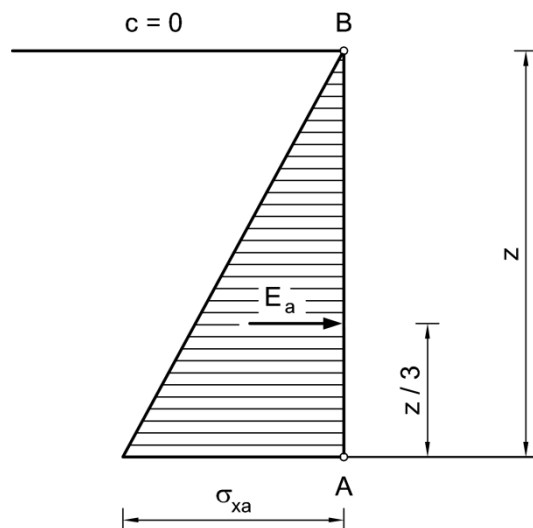
Az aktív földnyomást előidéző aktív feszültségi állapot klasszikus formában akkor alakulhat ki, ha a falazat és a megtámasztott talajtömeg között nincs súrlódás. Ebben az esetben a falra ható aktív földnyomás nagysága - a nyugalmi földnyomáshoz hasonlóan - a falazat hátfalán ható feszültségek eredőjeként számítható. *Kohézió nélküli ($c=0$) talajtömegben z mélységben az aktív földnyomás:*

$$E_a = K_a \cdot \sigma_z \cdot \frac{z}{2} = K_a \cdot \frac{z^2 \cdot \gamma}{2}$$

ahol:

$$K_a = \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\Phi}{2}\right) \text{ az aktív földnyomás tényezője.}$$

A falra ható aktív földnyomás - E_a mint erő - a feszültség mélység szerinti ábrázolását bemutató háromszög magasságának alsó harmadában hat, a falazatra merőlegesen.



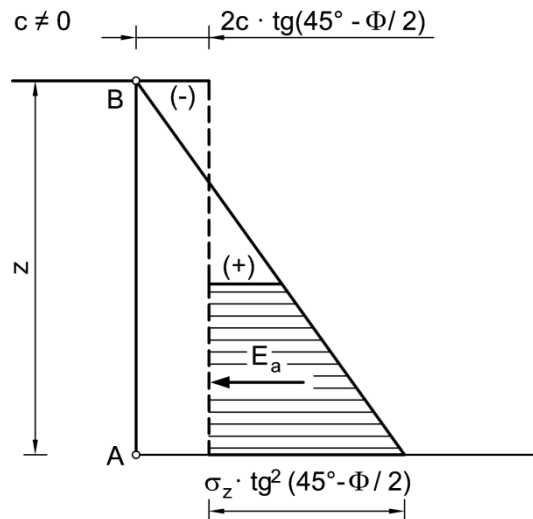
Aktív földnyomás értelmezése kohézió nélküli talajokban

Aktív földnyomás értelmezése kohéziós talajokban

Kohéziós talajok esetében ($c \neq 0$) mivel az aktív feszültségi állapot feszültségeloszlása a fellépő kohézió miatt módosul, ezért az aktív földnyomás:

$$E_a = K_a \cdot \frac{z^2 \cdot \gamma}{2} - 2c \cdot z \cdot \sqrt{K_a}$$

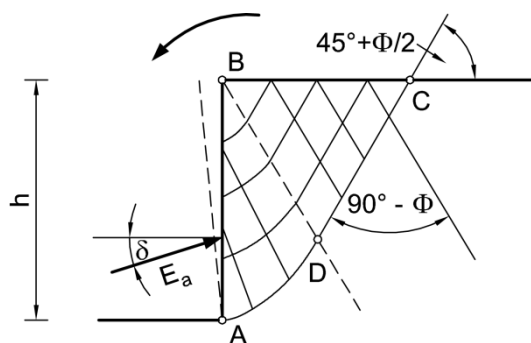
Az aktív földnyomás nagysága itt is a feszültségeloszlási ábra területével arányos. A földnyomás tehát, mint a falazatra ható vízszintes erő nem rétegezett talajban úgy nyerhető, hogy a háromszögábra területéből levonjuk a húzószilárdságnak megfelelő tagot. A területek figyelembevételével az ábra trapéz lesz. Ennek súlyvonalában helyezkedik el az E_a aktív földnyomás támadáspontja, iránya pedig a falazatra merőleges.



Aktív földnyomás értelmezése kohéziós talajokban

Aktív földnyomás érdes falazattal megtámasztott kohézió nélküli talajban

Az eddigiekben feltételeztük, hogy a támasztófal hátfala sima, a talaj és a hátfal között súrlódás nincs, amelyet azonban csak elméletileg lehet elfogadni. A következőkben vizsgáljuk azt a valós helyzetet, amikor a *száraz homoktömeget egy érdes fal támasztja meg*, majd az alsó sarokpontja körül előrebillenve az előbbihez hasonló módon kialakul az aktív földnyomás, miközben a talaj nem csak kifelé, hanem kissé lefelé is elmozdul, aminek hatására *a talaj és a hátfal között súrlódás alakul ki*. A klasszikus Rankine-féle feszültségi állapotban síknak tekintett *csúszólapok* a fal közelében eltorzulnak, *sík szakasszal indulnak, majd görbe felületen folytatódnak*, az E_a aktív földnyomás pedig a hátfal normálisával δ szöget zár be.



Aktív földnyomás érdes falazattal megtámasztott kohézió nélküli talajban

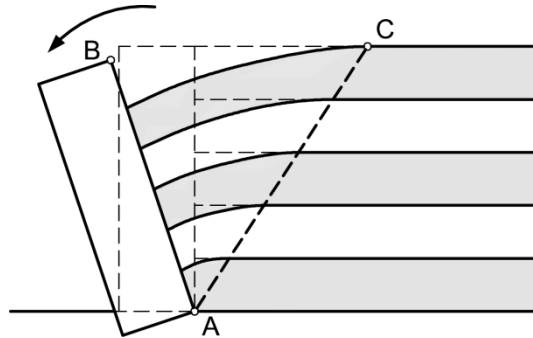
Aktív földnyomás meghatározása kohézió nélküli háttöltés esetén

A Rankine-féle elmélet a falsúrlódást nem veszi figyelembe, ezért az aktív földnyomás meghatározása a természethez közelebb álló Coulomb által kidolgozott és később követői által továbbfejlesztett elméletet használhatjuk. Ennek hibája az, hogy a csúszólapokat síklapnak tekintik. A közelítésből származó hiba azonban kohézió nélküli földtömegben fellépő aktív földnyomás esetén kisebb, mint amit az egyéb okokból (heterogenitás stb.) fellépő bizonytalanság okoz.

A legelső földnyomás elméletek abból indulnak ki, hogy a falnak egy ferde síkon merev testként lecsúszó földprizmát kell egyensúlyban tartani. Jól megfigyelhető a jelenség, ha üvegfal mögé színes homokból rétegeket helyezünk el és azt falmodellel tartjuk egyensúlyban.

A fal előrebillenésekor a homoktömeg nemcsak kifelé, hanem lefelé is mozdul az eredetileg egyenletesen "csíkos" homoktömeg pedig két jól elkülöníthető részre tagolódik:

- az AC vonaltól jobbra eső homoktömeg megőrzi eredeti mozdulatlan helyzetét,
- a fal és az AC vonal között egy háromszög keresztmetszetű "ék" képződik, amely omlásszerűen követi a fal mozgását, felszíne lesüllyed, miközben súrlódva csúszik az AB és AC felületeken.



Az ékelmélet kísérleti bemutatása

Coulomb-féle földnyomás-elmélet kiterjesztése

Ha a megtámasztó falazat és a lecsúszó homoktömeg között súrlódás van, akkor az AC csúszólap fal melletti szakasza eltorzul, az elmozdulási felület sík és íves szakaszból tevődik össze, amely azonban jó közelítéssel síknak tekinthető. Az így kialakult állapot az alsó sarokpont körül előrebillenő súlytámasztófalak helyzetének felel meg. Az előbbiekből kiindulva az első földnyomás elméletet Coulomb dolgozta ki az aktív földnyomás meghatározására, az általa felállított súrlódási törvény alapján.

A klasszikus Coulomb-féle földnyomás ékelméletét a későbbiek során továbbfejlesztették, és azt tetszőleges támfal és térszint esetére általánosították.

A kiterjesztett értelmezésű földnyomás-elmélet feltételei a következők:

- a *csúszólap sík*, amely feltevés csak végtelen féltérben igaz, érdes fallal megtámasztott földtömegben csak közelítés;
- a szakadólapon a csúszás pillanatában fennáll a *Coulomb-féle csúszási feltétel*, vagyis

$$T = N \cdot \operatorname{tg} \Phi$$

amely azt jelenti, hogy a csúszólapon fellépő Q reakció a csúszólap normálisával Φ szöget zár be;

- a fal és a talaj között *súrlódást tételezünk fel*, vagyis a földnyomás a támasztófal hátfalának normálisával δ szöget zár be, amely szög mindig kisebb, mint a fal és a talaj közötti súrlódási szög, vagyis a földnyomás iránya nem léphet ki a súrlódási kúpból,
- a *hátfal és a felszín sík, de általános helyzetű*.

A támasztófal hátlapja a vízszintessel β a felszín ε szöget zár be. A földnyomás a hátfal normálisával δ szöget zár be, a függőlegessel bezárt szöget Ψ -nek, a vízszintessel bezárt szöget pedig ω -nak nevezzük.

$$\frac{dE_a}{d\alpha} = 0$$

Az analitikus eljárás eredményeként az aktív földnyomás nagyságára az

$$E_a = K_a \cdot \frac{z^2 \cdot \gamma}{2}$$

K_a az aktív földnyomási szorzó, amelyre általános esetben

$$K_a = \left[\frac{\sin(\beta - \Phi)}{\sqrt{\sin(\beta + \delta)} \cdot \sqrt{\frac{\sin(\delta + \Phi) \cdot \sin(\Phi - \varepsilon)}{\sin(\beta - \varepsilon)}}} \right]^2$$

összefüggést kapjuk. A képlet egyszerűsödik, ha függőleges a falazat, vízszintes a térszín és vízszintes hatásvonalú a földnyomás:

$$\beta = 90^\circ, \delta = \varepsilon = 0$$

ekkor

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\Phi}{2} \right)$$

vagyis az eredeti Rankine-féle összefüggést kapjuk.

Az általános esetre érvényes képlet bonyolultsága miatt az aktív földnyomási szorzót táblázatból is kiválaszthatjuk. A táblázat megadja a földnyomás normális (K_n) és tangenciális (K_t) komponenseinek aktív földnyomási szorzóit, amelyből a földnyomás hátfal normálisával bezárt szöge a $\operatorname{tg} \delta = K_t/K_n$ összefüggésből, az eredő a $K = K_n/\cos \delta$ képletből számítható.

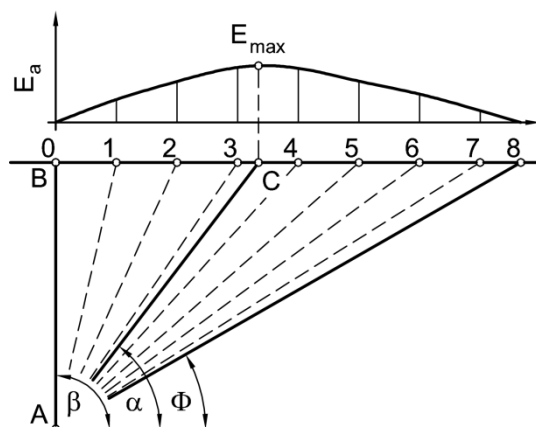
Aktív földnyomás meghatározása grafikus eljárásokkal

Az analitikus eljárás helyett a szélsőértékszámítás grafikus eljárásokkal is megoldható, amelyek közül az általános esetben jobban használható *Engesser-féle* szerkesztéssel és a speciális esetben gyors eredményt adó *Rebhan-Poncelet-féle* szerkesztéssel foglalkozunk.

Engesser-féle szerkesztés

Az *Engesser-féle szerkesztés* esetén az $\alpha = \Phi$ és $\alpha = \beta$ határok között egy sorozat csúszólapot veszünk fel és rendre meghatározzuk a hozzájuk tartozó földék egyensúlyi helyzetéből az egyes földnyomásokat.

Az így kapott értékeket a csúszólapok végpontjába megfelelő erőléptékben felrakva azt tapasztaljuk, hogy az 0 ponttól távolodva egy ideig nőnek, majd csökkennek a kapott földnyomás értékek. Az erők végpontjait összekötve tehát egy maximummal bíró görbét kapunk, amelynek a maximum pontja megadja E_a értékét, és a mértékadó csúszólap végpontját a felszínen.



Engesser-féle szerkesztés

Poncelet-féle szerkesztés

A Poncelet-féle szerkesztést a következő lépésekben kell elvégezni:

- Az AB hátfal alsó A pontjából meghúzzuk a vízszintessel Φ szöget bezáró természetes rézsút, amely a talajfelszínt F pontban metszi.
- A hátfal B pontjából azzal $\delta + \Phi$ szöget bezáró irányító egyenest húzunk, amelyet a természetes rézsű vonalával metszésre hozunk (J pont).
- Az AF szakaszra mint átmérőre kört rajzolunk, a J pontot az AF egyenesre merőlegesen a kapott körre vetítjük (L pont).
- Az AL távolságot körzőnyílásba véve az A középponttal átkörözzük L pontot az AF egyenesre, kimetszve így D pontot.
- A D pontból párhuzamost húzva az irányító egyenessel (BJ -vel) megkapjuk a szakadólap C pontját.
- A CD távolsággal egyenlőszárú háromszöget rajzolva (CDC'), a földnyomással arányos területű $C'D = e$ oldalhosszú és p magasságú háromszöget kapunk, amelyből az aktív földnyomás:

$$E_a = \frac{p \cdot e}{2} \cdot \gamma$$

ahol γ a háttöltés talajának térfogatsúlya.

- A földnyomás eloszlása a hátfalon háromszög alakú, amelyet felrajzolhatunk, ha a CDC' egyenlőszárú háromszöget azonos területű, falmagasságú derékszögű háromszöggé alakítjuk.
- Az aktív földnyomás támadáspontja a hátfal magasságú háromszög súlypontjának magasságában van ($H/3$), iránya a fal normálisával δ szöget zár be.

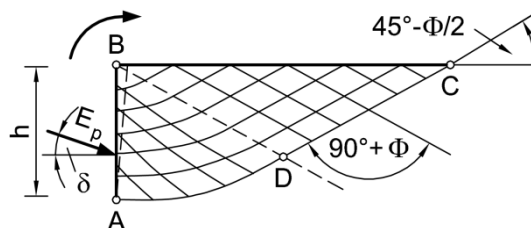
csúszás indul meg és a földtömeg elmozdul, a külső erők a folyamatos csúszás miatt tovább már nem növelhetők.

Feladatunk tehát - az aktív földnyomás vizsgálatával ellentétben - *annak a legkisebb ellenállásnak a meghatározása, amelyet a talaj a rá ható erővel szemben ki tud fejteni.*

A passzív földnyomási problémák meghatározásakor mindig a következőket kell szem előtt tartani:

- a földellenállás nagysága megegyezik a terhelőerő nagyságával, azzal egybeesik, de iránya ellentétes,
- a síkalapok teherbírása főként földellenállásból származik, ezért a mérnöki létesítmények valamilyen formában hasznosítják,
- az építmény állékonyságát biztosító földellenállást sohasem szabad a passzív földnyomásig növelni, ezt mint maximális földellenállást csak egy $n=2-3$ biztonsági tényezővel csökkentve szabad felhasználni. Ez a csökkentett érték jelenti a szerkezet által a talajra maximálisan átadható nyomóerőt.

A passzív földnyomás nagyságának meghatározásánál a féltér plasztikus állapotából indulunk ki. A kompresszió hatására kialakuló passzív feszültségi állapotból a passzív földnyomás nagysága meghatározható, ha a határfeltételek kielégítik a Rankine-féle feltételeket, vagyis a féltér vízszintes síkkal határolt, a fal függőleges, a talaj és a hátfal között súrlódás nincs, a csúszólapot síknak tételezzük fel.



Passzív földnyomási állapot Rankine szerint

Passzív földnyomás számítása

Az aktív földnyomásnál alkalmazott gondolatmenetet követve arra az eredményre jutunk, hogy:

- a mértékadó szakadólapp hajlása a vízszinteshez

$$\alpha = 45^\circ - \frac{\Phi}{2}$$

- a passzív földnyomás nagysága a feszültségábra területével arányos, így kohézió nélküli talajokban ($c = 0$)

$$E_p = K_p \cdot \frac{z^2 \cdot \gamma}{2}$$

- kohéziós talajoknál ($c \neq 0$)

$$E_p = K_p \cdot \frac{z^2 \cdot \gamma}{2} + 2c \cdot z \cdot \sqrt{K_p}$$

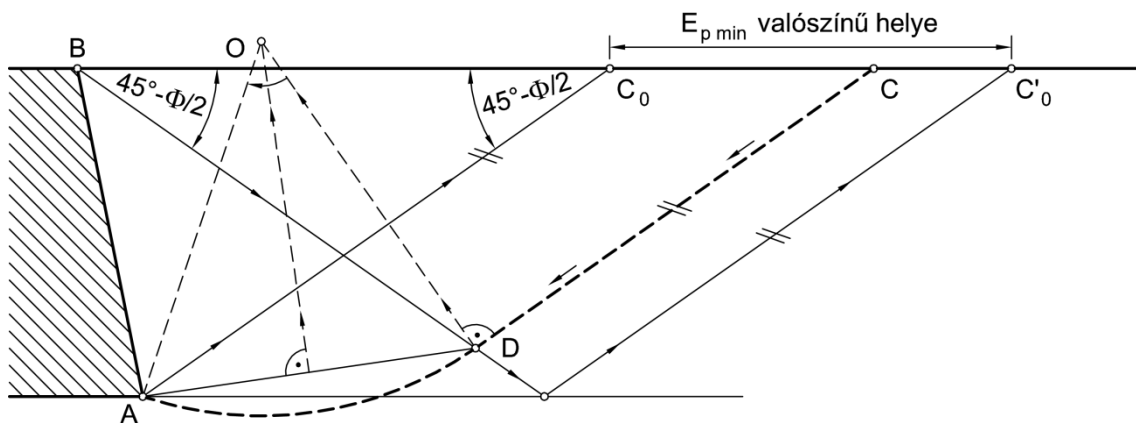
ahol:

$$K_p = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ + \frac{\Phi}{2} \right) \text{ a passzív földnyomási tényező.}$$

Passzív földnyomás csúszólapja

A passzív földnyomás a Rankine-féle feltételek szerinti meghatározása csak erős közelítéssel igaz részben azért, mert a talaj és hátfal közti súrlódás nem hanyagolható el, másrészt a csúszólap alakja nem közelíthető síkkal, mivel ez - ellentétben az aktív földnyomással - jelentős eltérést ad a valóságban kialakuló passzív földnyomástól a biztonság kárára.

A korábbiaknak megfelelően most is a merev testként elmozduló földtömeg határegyensúlyát keressük, amely mozgás a körből és a hozzá érintőlegesen csatlakozó egyenesből álló csúszólap mentén következik be.



Passzív földnyomás csúszólapja

Passzív földnyomás meghatározása táblázat felhasználásával

A szerkesztéses eljárással történő passzív földnyomás meghatározás - különösen kohéziós talajokban - nehézkes, amelyet elkerülhetünk, ha a

$$E_p = K_p \cdot \frac{z^2 \cdot \gamma}{2} + 2c \cdot z \cdot \sqrt{K_p}$$

képlettel számolunk úgy, hogy a K_p passzív földnyomási tényező helyébe olyan értéket helyettesítünk, amely figyelembe veszi azt, hogy a csúszólap alakja összetett felület. Ennek alapján határozták meg és táblázatba foglalták azokat az értékeket, amelyekkel a passzív földnyomás számítható. A táblázat a földnyomási tényező normális és tangenciális komponensének hidrosztatikus szorzóit tartalmazza, amely alapján számítható a földnyomás irányszöge:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{K_{pt}}{K_{pn}}$$

és az eredő passzív földnyomási tényező:

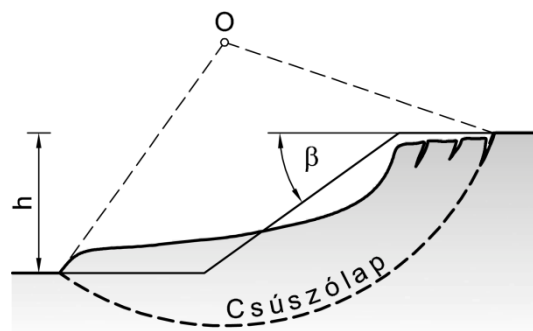
$$K_p = K_{pn} \cdot \cos \delta.$$

Szabad rézsűk állékonysága

A földműveket alkotó földtömegek határolására sokszor célszerűtlen és gazdaságtalan költséges támasztófalakat használni, helyettük célszerűbb határolásukat ferde felületekkel, rézsűkkel kialakítani. Ezeket a rézsűket a vízszintessel bezárt szögük (β) és magasságuk (h) jellemzi.

Adott talajt jellemző Φ , c és ρ értékek mellett azt tapasztaljuk, hogy állandó hajlás β mellett növelve a rézsű h magasságát elérünk egy maximális magasságot, amelyet meghaladva a rézsű egy csúszólap mentén lecsúszik. Ugyanezt a jelenséget tapasztaljuk, ha adott h állandó magasság mellett a rézsű meredekségét, β értékét növeljük. Általánosságban tehát kimondhatjuk, hogy *minden rézsűmagassághoz egy hajlás, illetve minden hajláshoz egy rézsűmagasság tartozik, amely még biztonságosan megáll.*

A csúszó felület mindkét esetben ott alakul ki, ahol a földtest belsejében a nyírószilárdság kimerül. A lecsúszó földtömeg laposabb rézsűvel kerül nyugalomba, a szakadólapon fellépő nyírási ellenállás ekkor már elegendő a külső erők egyensúlyozására. A csúszási felületek ismerete és az állékonyság vizsgálata tehát a földművek gazdaságos és biztonságos kialakításának feltétele. A következőkben csak azokról a legegyszerűbb vizsgálatokról lesz szó, amelyek homogén talajra vonatkozó jó közelítések.



Lecsúszott rézsű

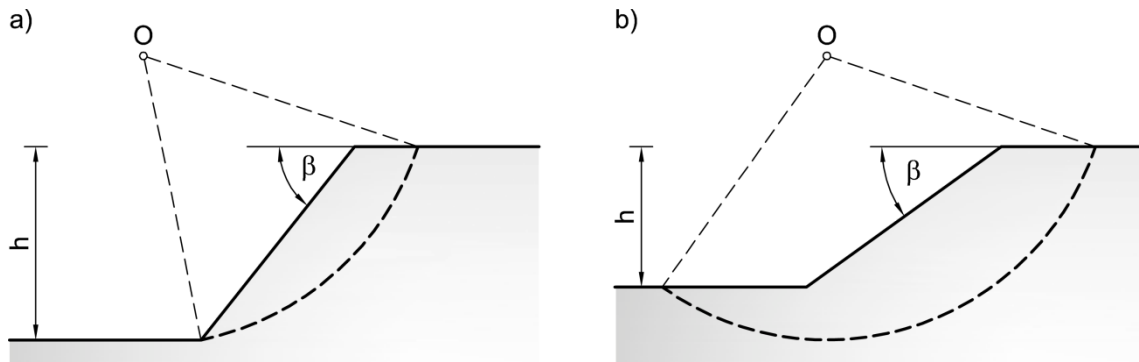
Csúszólaptípusok

A rézsűvel határolt földtestekben bekövetkező csúszásokat vizsgálva azt tapasztaljuk, hogy a lecsúszó földtömeg íves csúszólap mentén mozdul el. Az elméleti vizsgálatokban a kialakuló csúszólapot kör, kosárív vagy logaritmus spirállal helyettesíthetjük, amelyek közül a további vizsgálatainkban a kör csúszólapot fogjuk alkalmazni.

A csúszólapokat elhelyezkedésük alapján két csoportba oszthatjuk:

- *talpponti csúszólapról* beszélünk, ha a csúszólap a talppontban, vagy a fölött metszi a felszínt. A csúszólapnak ez a típusa általában *a még sodorható vagy annál keményebb* ($I_c > 0,75$) *kötött és szemcsés talajokban* kialakított meredek rézsűvel határolt földtömegekben fordul elő,

- *alámetsző* a csúszólap, ha a felszín a talppont előtt metszi, amely típus *a puha talajban kialakított lapos rézsűk esetén* léphet fel.



Csúszólap típusok

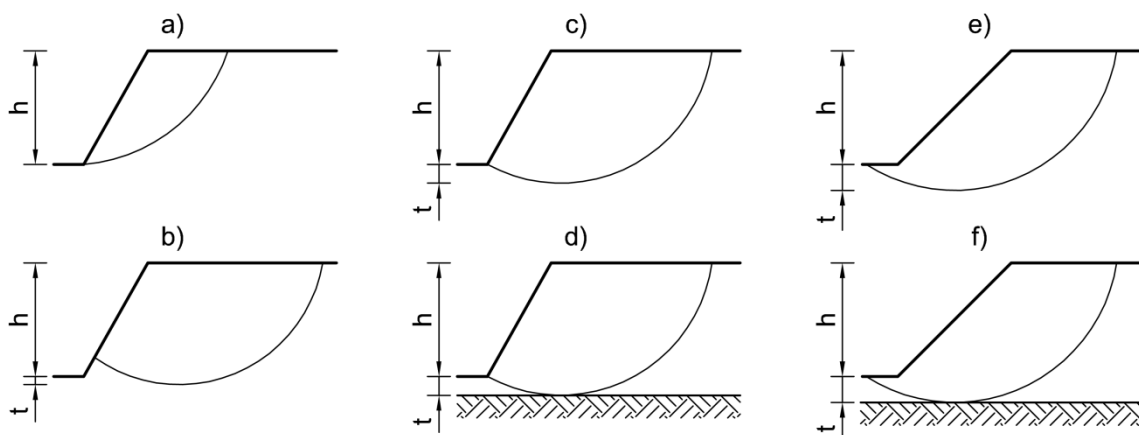
Körülményektől függő várható legveszélyesebb csúszólapok

A csúszólapok kialakulására a talaj állapotán és a rézsű hajlásán kívül hatással van a rézsű lába alatt elhelyezkedő szilárdabb réteg mélysége is, amelybe a szakadólap nem tud belemetszeni. A szilárdabb réteg helyzetét, a rézsű hajlását, magasságát valamint a talaj kohézióját és halomsűrűségét figyelembe véve hétféle csúszólap alakulhat ki. A csúszólap kialakulását befolyásoló keményebb réteg helyzetét a mélységi tényezővel (η) jellemezhetjük, amely:

$$\eta = \frac{t + h}{h}$$

ahol:

- h : rézsű magassága,
- t : szilárd réteg távolsága a rézsű talppontjától.



Körülményektől függő várható legveszélyesebb csúszólapok

Rézsűállékonysági vizsgálatok

A rézsűállékonysági vizsgálatok során a probléma kétféle módon merülhet fel:

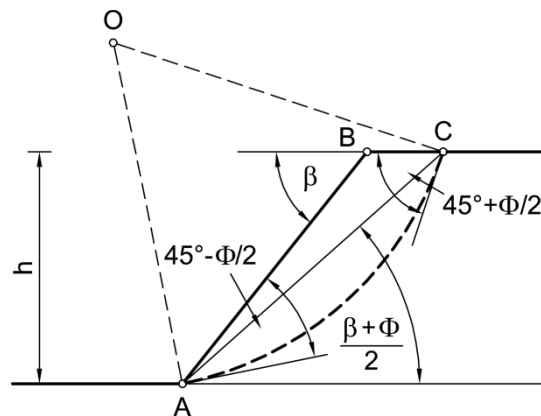
- az ismert nyírószilárdsági jellemzőkkel bíró talajban kialakított adott magasságú és hajlású rézsű töréssel szemben milyen biztonsággal rendelkezik,

- az ismert nyírósilárdsággal rendelkező talajban az adott magasságú (illetve hajlású) rézsú előírt biztonság figyelembevételével milyen hajlással (illetve magassággal) építhető meg.

A kérdésekre a választ általában úgy kapjuk meg, hogy a földtömegben önkényesen felvett felületeken meghatározzuk a törés létrejöttének feltételét, majd kikeressük azt a legkedvezőtlenebb felületet, amely mentén a csúszási veszély a legnagyobb. A tapasztalat szerint a körhenger szakadólap felvételének lehetőségei eltérőek a talpponti és az alámetsző csúszólapok esetében.

Csúszólapok felvétele

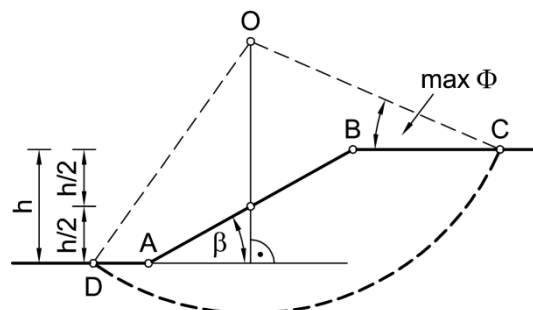
A körhenger alakú talpponti csúszólapok jó közelítéssel a Jáky-féle szakadólap-felvétellel szerkeszthetők meg. A β hajlású rézsú A talppontjától a vízszintessel $(\beta + \Phi)/2$ szöget bezáró húr meghúzásával a felszínen C pontot kijelöljük, ahol - egyirányú húzást feltételezve - a szakadólap érintője és a vízszintes térszín által bezárt szög $45^\circ + \Phi/2$. Az A pontban egyirányú nyomást feltételezve az érintő a rézsúval $45^\circ - \Phi/2$ szöget zár be. Az A és C pontokba fenti szögekkel megrajzolt érintőkre állított merőlegesek kimetszik a szakadólap O középpontját.



Talpponti csúszólap felvétele

Alámetsző csúszólap felvétele

A körhenger alakú alámetsző csúszólapok várható középpontja mindig a rézsút felező függőlegesen helyezkedik el úgy, hogy az OC sugár a vízszintessel maximálisan Φ szöget zárhat be.



Alámetsző csúszólap felvétele

Száraz homoktalajok állékonysága

A száraz homoktalajok állékonyságát a szemcsék közötti súrlódás adja ($c=0$). Az ilyen talajban kialakított rézsű magasságától függetlenül akkor állékony, ha a rézsű hajlásszöge β kisebb, mint a talaj Φ súrlódási szöge. A biztonság tehát:

$$v_{\Phi} = \frac{\operatorname{tg} \Phi}{\operatorname{tg} \beta}$$

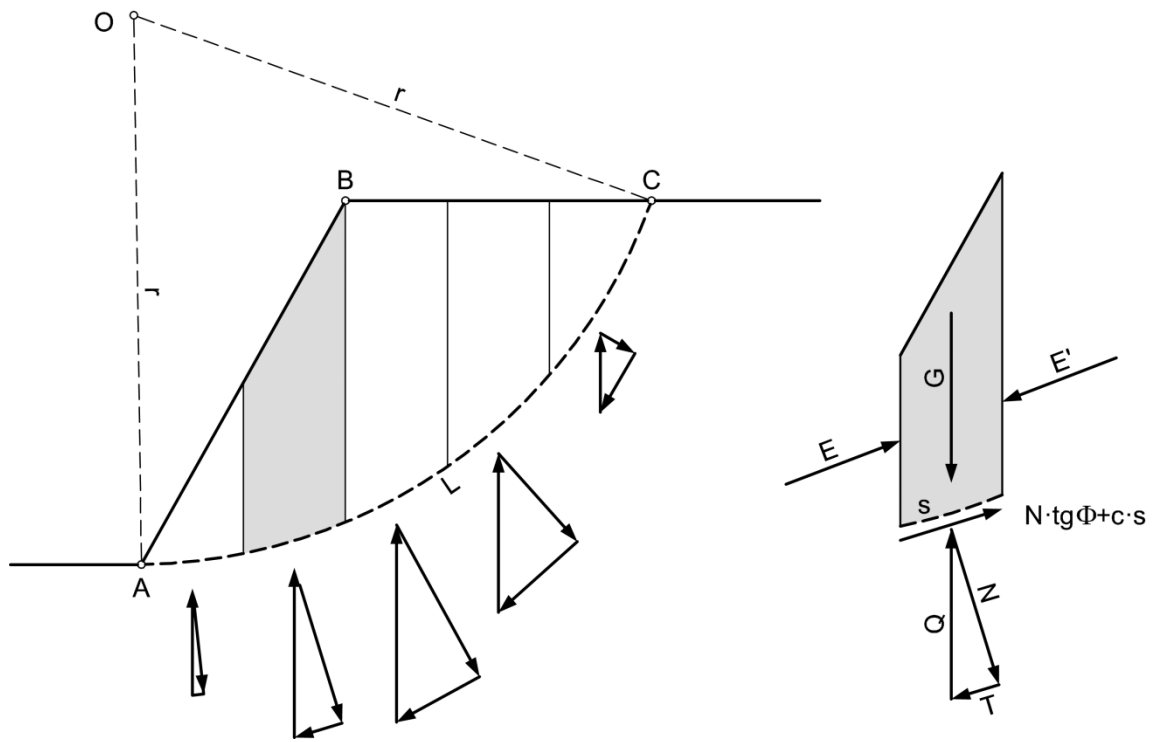
A finom homoktalajban nyitott rézsű a kapilláris (látszólagos) kohézió miatt a súrlódási szögnél jóval meredekebb rézsűvel - esetenként függőleges falban - is megáll. Ezt azonban nem szabad figyelembe venni, mert a talaj kiszáradásakor vagy átázásakor a jelenség megszűnik és a meredek rézsű hirtelen leszakad, könnyen súlyos balesetet okozva.

Kötött talajok állékonysági vizsgálata

A kötött talajok állékonysági vizsgálata során azoknak a gyakorlatban leggyakrabban előforduló talajoknak a vizsgálatával foglalkozunk, amelyek jelentős belső súrlódással bírnak ($\Phi = 5-25^\circ$) és emellett már figyelembe vehető állandó kohézióval is rendelkeznek ($c > 10 \text{ kN/m}^2$). A rézsűk állékonyságának (biztonságának) ellenőrzésére szolgáló módszerek közül egy grafikus szerkesztési eljárással és egy elméleti alapon álló - annak eredményét grafikusán feldolgozó - módszert ismertetünk.

Svéd nyomatóki módszer

A grafikus szerkesztési eljárások azt vizsgálják, hogy az L hosszúságú csúszólapon lecsúszó földtömeg G súlyát mekkora súrlódás és kohézió ellensúlyozza. Az úgynevezett svéd nyomatóki módszer a körhenger csúszólap fölött elhelyezkedő földtestet célszerűen lamellákra bontja, amelyek egyensúlyát vizsgálja. Egy-egy s ívelemű lamella egyensúlyát a G súlyerőből származó T csúszatóerő, $N \cdot \operatorname{tg} \Phi$ súrlódó erő, $c \cdot s$ kohéziós erő, valamint az oldallapokon fellépő $E-E'$ földnyomás biztosítja. A számítás és szerkesztés egyszerűsítésére E és E' földnyomásokat egyenlőnek szokták feltételezni, amely elméletileg nem igaz. A gyakorlatban az ebből származó hibát nagyobb biztonsági tényező felvételével lehet ellensúlyozni.



Svéd nyomatéki módszer

A biztonság meghatározása

A biztonságot úgy kapjuk, hogy a csúszást gátló erők O pontra számított eredő nyomatékát M_1 hasonlítjuk a csúszást előidéző erők O pontra vonatkozó eredő nyomatékával M_2 .

$$M_1 = r \cdot \sum_{i=1}^n (c \cdot s_i + N_i \cdot \operatorname{tg} \Phi) = r \cdot (c \cdot L + \operatorname{tg} \Phi \cdot \sum_{i=1}^n N_i)$$

A csúszást előidéző erő a lamella G súlyának T tangenciális komponense, amelynek karja ugyancsak r , így nyomatéka

$$M_2 = r \cdot \sum_{i=1}^n T_i$$

A biztonsági tényező:

$$v = \frac{M_1}{M_2} = \frac{c \cdot L + \operatorname{tg} \Phi \cdot \sum_{i=1}^n N_i}{\sum_{i=1}^n T_i}$$

A legveszélyesebb csúszólapot, - ahol a biztonság a legkisebb - most is különböző csúszólapok felvételével - próbálgatással - kereshetjük meg.

Állékonysági tényező

A svéd nyomatéki módszer jól alkalmazható meglévő rézsűk állékonyságának vizsgálatára, de gyakran merülnek fel olyan problémák, amelyek megoldásához ismerni kell a rézsű hajlása, magassága és az egyensúly fenntartásához szükséges kohézió közötti összefüggést. A grafikus szerkesztést analitikusan követve a veszélyes csúszólap helyzete szélsőérték számítással határozható meg a geometriai méretek és a talajjellemzők ismeretében. A részletes levezetést mellőzve a szükséges kohézió:

$$c = \frac{h \cdot \gamma}{F(\alpha; \beta; \Theta; \Phi)} = h \cdot \gamma \cdot N_c$$

ahol:

- h : a rézsű magassága,
- γ : a talaj térfogatsúlya,
- α : a csúszólap húrjának hajlása a vízszinteshez,
- β : a rézsű hajlása,
- Θ : a csúszólap középponti szöge,
- Φ : a talaj belső súrlódási szöge,
- N_c : az állékonysági tényező.

Az állékonysági tényező N_c dimenzió nélküli szám, amelynek értékére különböző szerzők különböző szempontokat figyelembe véve adnak meg értékeket. Ezek közül a Taylor-féle változatot ismertetjük, amely a belső súrlódás (Φ) nagyságát is figyelembe veszi. A gyakorlat számára is használható végeredmény grafikon formájában áll rendelkezésre, amelyben a függőleges tengelyen az

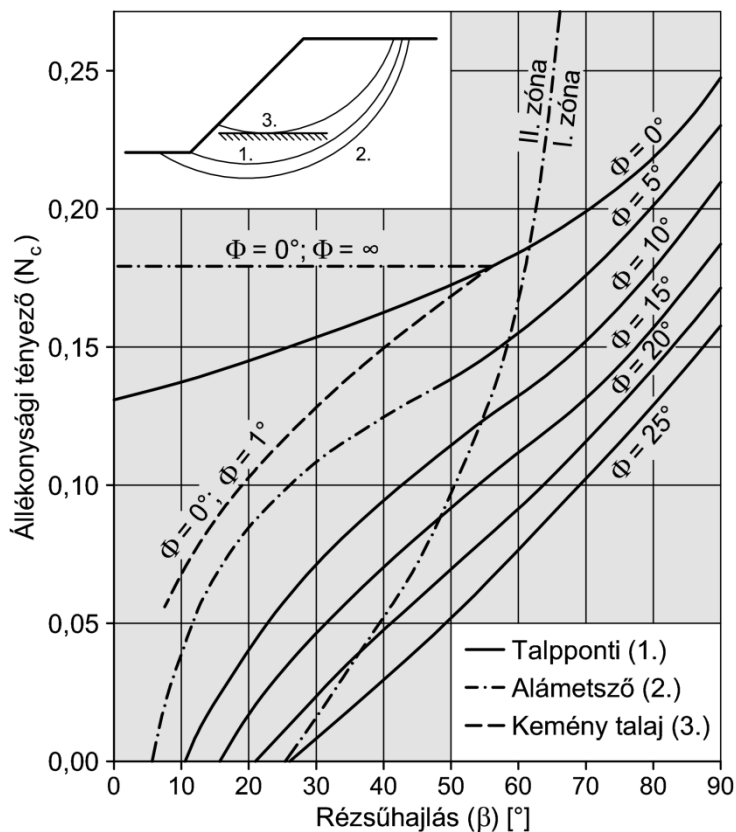
$$N_c = \frac{c}{h \cdot \gamma}$$

állékonysági tényező, a vízszintes tengelyen a rézsűhajlás (β), a diagramban pedig Φ paraméterű görbék vannak ábrázolva.

A c , h , γ alapján kiszámított N_c állékonysági tényező és a talajra jellemző Φ paraméterű görbék segítségével a vízszintes tengelyen a még éppen állékony rézsű hajlásszögét kaphatjuk meg. Fordítva is eljárhatunk, amikor adott β és Φ érték mellett meghatározzuk a szükséges N_c értéket, amelyből a szükséges kohézió, illetve a megengedett magasság meghatározható.

Az ábrát egy eredményvonal két zónára osztja: jobb oldali I. jelű zónában kizárólag a talpponti csúszólap veszélyes. A bal oldali II. jelű zónában - amely a laposabb rézsűk tartománya - három eset lehetséges:

- a rézsű és az *altalaj homogén*, a *talpponti csúszólap a veszélyes*, amely kissé belemetsz a rézsű altalajába is, a mélységi tényező értéke tehát 1-nél nagyobb;
- kis Φ érték ($\Phi < 5^\circ$) mellett fordulhat elő. A *veszélyes csúszólap alámetsző*, amely az A talppont előtt fut ki a terepre;
- a *rézsű talpsíkja alatt olyan keményebb talaj helyezkedik el*, amelybe a csúszólap nem tud belemetszeni. Kis súrlódási szögek esetén az A pont fölött a rézsűre kifutó csúszólap keletkezik.



Állékonysági tényező értékei a rézsűhajlás függvényében Taylor szerint

A három eset különböző vonallal van feltüntetve a grafikonban mindig ott, ahol annak előfordulása veszélyes lehet. Az ábrából látható, hogy az A pont alá metsző mélyebben futó csúszólap kialakulása akkor várható, ha $\Phi \approx 0$. Ezért minden esetben, ha homogén talajban alámetsző csúszólapon következik be a csúszás, arra következtethetünk, hogy Φ értéke a csúszás idején zérushoz közel állt.

A biztonság meghatározása a Taylor-féle görbék segítségével

A biztonságot a Taylor-féle görbék segítségével kétféle módon számíthatjuk:

- A tényleges nyírószilárdsági paramétereket (Φ és c értékeket) redukáljuk

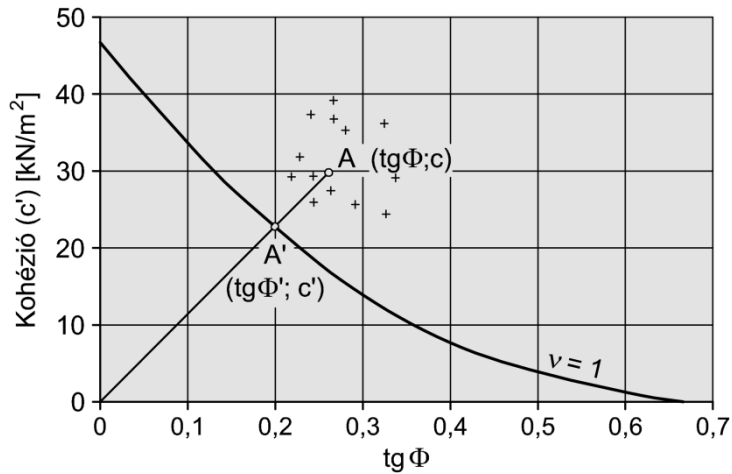
$$\operatorname{tg} \Phi' = \frac{\operatorname{tg} \Phi}{1,2} \text{ és } c' = \frac{c}{1,5}$$

Az adott magasság (h), térfogatsúly (γ) és redukált kohézió (c') alapján számított N_c állékonysági tényező és Φ' alapján a grafikonból meghatározzuk a biztonságot adó β rézsűhajlást.

- Az adott rézsűhajlás mellett a Φ görbék metszéspontjainál sorra meghatározunk egy-egy N_c állékonysági tényezőt, amelyből h és γ segítségével kiszámíthatjuk a határegyensúlyhoz tartozó kohéziókat. A kapott összetartozó $\operatorname{tg} \Phi$ és c értékeket grafikonon ábrázolva egy hiperbolához hasonló görbét kapunk, amelyhez $\nu = 1$ biztonság tartozik. Felrakva a diagramban a laboratóriumi mérések által meghatározott összetartozó $\operatorname{tg} \Phi$ és c értékeket, ezek egy foltban szóródnak. Amennyiben minden pont a $\nu = 1$ görbe fölé, attól kellően távol esik, kiválasztunk egy A pontot a szórásmezőben és ezt összekötjük a 0 ponttal, amely egyenes az $\nu = 1$ görbét az A' pontban metszi. Ezután

külön súrlódási és külön kohéziós biztonsági tényezőt számolhatunk, ha az A ponthoz tartozó c és $\text{tg } \Phi$ értékekhez az A' ponthoz tartozó c' és $\text{tg } \Phi'$ értékeket hasonlítjuk:

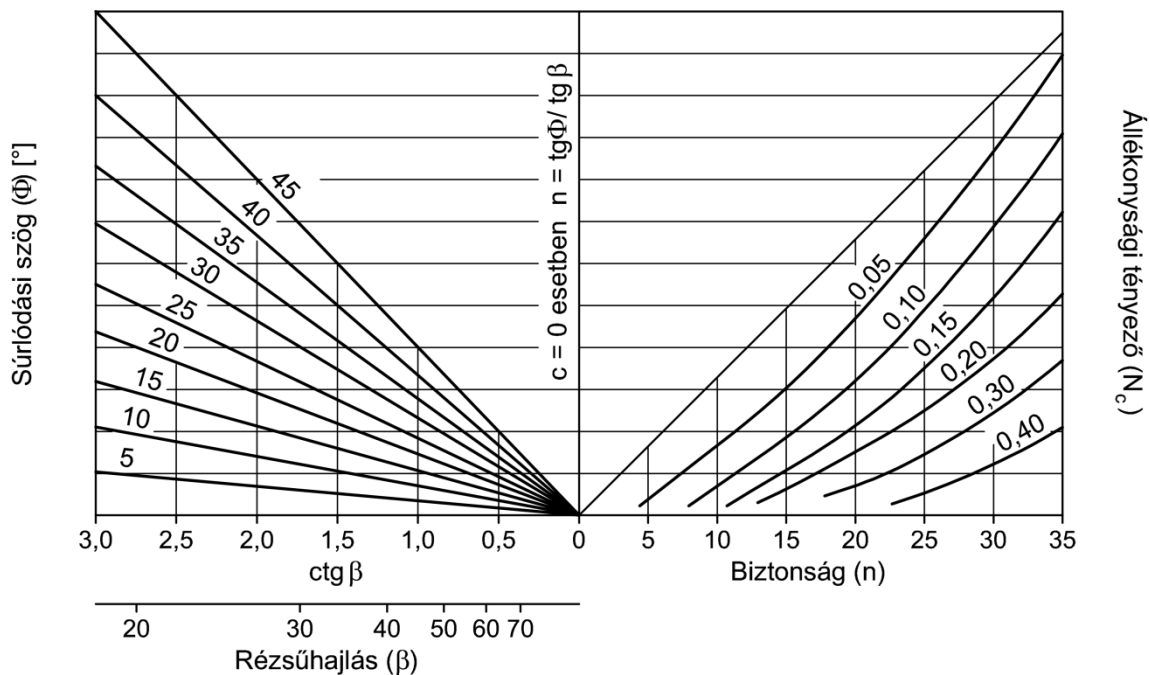
$$v_c = \frac{c}{c'} \quad \text{illetve} \quad v_\Phi = \frac{\text{tg } \Phi}{\text{tg } \Phi'}$$



A rézsű lecsúszással szembeni biztonságának meghatározása

Rézsűállékonyság vizsgálata nomogrammal

Szabályos, külső terhelés nélküli, vízszintes felszínű homogén talajú rézsű biztonságát gyorsan meg lehet határozni numerikus megoldás alapján felállított grafikon segítségével is. A nomogramban az adott rézsű biztonságát a rézsűhajlás (β) a súrlódási szög (Φ) és a kiszámított állékonysági tényező (N_c) alapján egyszerűen megkaphatjuk. A nomogram felhasználható arra is, hogy az adott talajfizikai jellemzők és biztonság értékéből kiindulva a rézsű geometriai méretét (vagy a magasságot, vagy a rézsűhajlást) meghatározzuk. A módszer a kritikus szakadólap helyét és a kör középpontját nem adja meg, tehát alkalmazása akkor javasolható, ha ezen adatok ismerete a későbbiek során lényegtelen.



Rézsűállékonyság vizsgálata nomogrammal

Víz hatása a rézsúállékonysági vizsgálatokra

A rézsúállékonysági vizsgálatok lefolytatásakor rendkívül lényeges, hogy azokat ne a környezettől elvonatkoztatva végezzük. Az adott földtömeg belső tulajdonságai és a különböző környezeti tényezők (csapadék, növényzet stb.) egymásra hatását a változási lehetőségekkel együtt kell vizsgálni. A környezeti hatások közül a víz hatását és a dinamikus hatásokat kell kiemelni, amelyek közül a víz hatásával foglalkozunk részletesebben.

A talajba lassan beszivárgó, vagy ott jelenlévő víz hatására a talaj nyírószilárdsága lecsökken, amelyet helytelenül a víz "kenőhatásával" magyaráznak. Ez a felfogás téves, mert a víz legtöbb talajalkotó ásvánnyal érintkezve azok sűrűdését növeli. A nyírószilárdság csökkenésének oka részben a víz hatására kialakuló nagyobb hézagtartalom - ott ahol az átázás és fellazulás lehetősége adott -, amely lazább talajtömeg nyírószilárdsága is csökken. Sokkal általánosabb jelenség azonban - és ezért állandóan figyelemmel kísérendő - a *semleges feszültségek növekedése miatt beálló nyírószilárdság-csökkenés* az ismert

$$\tau = (\sigma - u) \cdot \operatorname{tg} \Phi + c$$

összefüggés szerint.

Mozaikos, repedezett szerkezetű agyagban a repedésekbe beszivárgó víz részben hidrosztatikus terhelésével, részben duzzadást előidéző hatásával többletterhelést okozhat.

A talajban áramló víz járulékos hatása az áramlási nyomásban jelentkezik, amelynek eredményeként a tömegerő az áramlás irányába elferdül. Ezt a hatást földgátak esetében részben nagyobb záporok után a töltésben meginduló intenzív áramlás, részben a gátudvar gyors leürítéskor a gáttestekből kiáramló víz hozhatja létre. *A járulékos erő nagyságát az áramkép segítségével tudjuk meghatározni.*

TALAJOK TEHERBÍRÁSA, ALAPOZÁSOK TERVEZÉSE

Talajok teherbírása

A talajok felszínén, vagy a felszín alatt bizonyos mélységben elhelyezett alaptest fokozatos terhelésekor azt tapasztaljuk, hogy a terhelés hatására a talaj összenyomódik. A terhelés egy bizonyos határáig ez az alakváltozás az időben csökken, majd t idő múlva megszűnik. Ebben a terhelési tartományban az alakváltozás arányos a terheléssel, a süllyedés sebessége a kezdeti maximumról nullára csökken. A terhelő felület alatt a talaj oldalirányú kitérése kicsi, a talaj tömörödik, így nyírószilárdsága és ezzel együtt teherbírása nő.

A terhelés további növelésekor azt tapasztaljuk, hogy az alaptest alatti talajtömegekben plasztikus állapotban lévő tartományok alakulnak ki. A süllyedések állandó terhelések mellett nem csökkennek, hanem állandósulnak. Ebben az állapotban a talaj oldalkitérése már jelentős, a nyírószilárdság a talajtömeg egyes részeiben már kihasználtnak válik.

A terhelés növelésének hatására kialakuló harmadik fázisban az alakváltozások sebessége nő, az oldalirányú kitérés fokozódik, csúszólapok alakulnak ki, amelyek mentén a talaj törése bekövetkezik, a terhelt felület elveszti alátámasztását.

A fentiekből látható, hogy az alapozások tervezésénél elsőrendű feladat a talaj teherbírásának jellemzésére egy úgynevezett "megengedett feszültséget" meghatározni, amely alatt azt értjük, hogy ilyen feszültséget alkalmazva sem a talajban sem az alapozásban, sem a felszerkezetben nem lép fel olyan alakváltozás, amely a szerkezet biztonságát, állékonyságát, ezzel rendeltetésszerű használatát veszélyezteti. Az alakváltozási feltételt kritériumként tartalmazó meghatározás alapján azonban nem lehet a talajra egy olyan megengedett igénybevételt meghatározni, amelyre bármilyen építmény alapozása megtervezhető. Ennek oka, hogy az alakváltozási kritériumot kielégítő megengedett igénybevételt több tényező befolyásolja, amelyek közül a következők a legfontosabbak:

- *A talaj rétegződése, a rétegek minősége, állapota, belső ellenállásai.*
- *A terhelő felület nagysága.* A törés bekövetkezéséhez a csúszólapokon fellépő nyírási ellenállásokat kell legyőzni. Belátható - és elméletileg is alátámasztható -, hogy a terhelőfelület szélességének növekedésével arányosan (négyzetes arányban) nőnek a csúszólapok hossza, amelyek hatására nő a nyírási ellenállás és a csúszólap fölött elhelyezkedő - az elmozdulást gátló - földtömeg nagysága.
- *A terhelő felület alakja.* A zárt terhelőfelületek alatt kialakuló csúszólapok a teherbírást növelik
- *Az alapozás mélysége.* A mélyebbre helyezett alapozás teherbírása nagyobb, mert ekkor az alaptest alatti földtömeg elmozdulását az alaptest melletti földtömeg akadályozza.
- *Az alaptest anyaga és merevsége.* Az alaptest anyagára megengedett feszültségeket túllépve az alaptest törését okozhatjuk. Az alaptest merevsége az alaptest alsó felületén fellépő feszültségek, a talpfeszültségek kialakulásának módját befolyásolja.
- *A felépítmény szerkezete és rendeltetése.* Attól függően, hogy a felszerkezet statikailag határozott vagy határozatlan, különböző süllyedések, illetve süllyedéskülönbségek

engedhetők meg anélkül, hogy az egyes szerkezeti elemekben káros feszültségek keletkeznének.

- Az *építés üteme*. Mivel a talajok nyírószilárdsága a terhelés felhordásának ütemében alakul ki a hatékony és semleges feszültségek kiegyenlítődése - a konszolidáció - miatt, ezért meg kell vizsgálni, hogy az építési ütemnek megfelelően a nyírószilárdság is eléri-e a feltételezett értéket.

A fenti összefoglalásból kitűnik, hogy a talajra nem lehet egy olyan jellemző igénybevétel meghatározni, amely a talaj állandó jellemzője lenne, úgy mint például a plasztikus index.

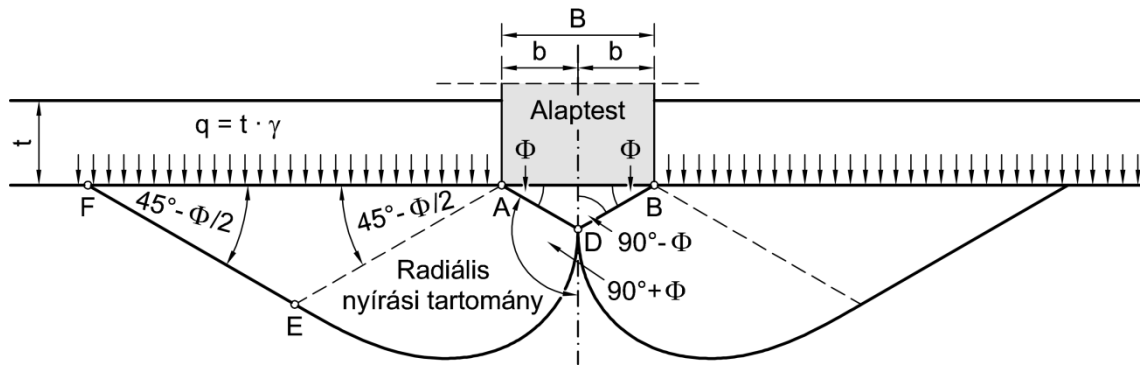
Az alaptestek teherbírásának - törésének - meghatározására szolgáló elvet a *kis mélységbe alapozott, központos, függőleges terheléssel ellátott sávalap* törőterhének meghatározására szolgáló sémával mutatjuk be.

Sávalap törőterhelésének meghatározása

Kis mélységű alapozásoknál - mikor az alapozás mélysége nem nagyobb az alaptest szélességénél - az alapozás síkja fölötti talaj nyírószilárdságát elhanyagolhatjuk, hatását egy $q=t \cdot \gamma$ egyenletesen megoszló terheléssel helyettesíthetjük.

Erre az esetre a talaj tönkremenetelének elméletét Terzaghi dolgozta ki szemléletesen, amelynek alapja az alaptest alatt kialakuló felületeken fellépő passzív földnyomások meghatározása. Az ábrán bemutatott alaptest $2b=B$ szélességű t mélységben alapozott, amely fölött tehát a talaj nyírószilárdsága zérus, a réteget $q=t \cdot \gamma$ egyenletesen megoszló terhelésnek tekintjük. Az érdes alap alatti talaj elmozdulását a súrlódás akadályozza, ezért itt egy rugalmas feszültségi állapotban lévő földék alakul ki, amely az alaptesttel együtt nyomódik lefelé. Az elmozdulás feltétele, hogy az ék csúcspontja alatti talaj függőlegesen mozduljon el, amely azt jelenti, hogy a kialakuló csúszólapok érintője az alaptest tengelyébe húzott függőleges. A lefelé mozgó ABD földék AD , illetve BD oldalán mint érdes felületen a földtömeg az ék mozgásával ellentétesen felfelé mozdul el, kialakítva így egy DE csúszólapot. A DE csúszólap az AD csúszólapot D pontban metszi és itt a függőlegeshez érintőlegesen simul.

Mivel a *passzív feszültségi állapotban a csúszólapok által bezárt szög* $90^\circ + \Phi$, ezért AD csúszólap a D pontban $90^\circ + \Phi$ szöget zár be DE csúszólap irányával a függőlegessel, amelynek következménye, hogy AD csúszólap a vízszintessel Φ szöget zár be. A DE csúszólap a felszín felé tart, miközben sugara D ponttól fokozatosan nő, majd E pont után egyenessé változik. Az íves DE csúszólap, amely a radiális nyírási tartomány, addig tart, amíg el nem éri a passzív feszültségi állapotnak megfelelő $45^\circ - \Phi/2$ hajlású sík csúszólapot. Az A pontból $45^\circ - \Phi/2$ hajlással indított sík kimetszi tehát E pontot, amely kijelöli az AE passzív feszültségi állapot és radiális nyírási állapot határát. Az AD csúszólapon fellépő súrlódás hatása eddig az AE egyenesig tart. A DE görbéhez E pontban húzott a vízszintessel $45^\circ - \Phi/2$ szöget bezáró érintő a passzív feszültségi állapotban lévő tartomány csúszólapját jelöli ki.



Sávalap törőterhelésének meghatározása

Törőterhelés meghatározása

A törőterhelés meghatározására levezetett összefüggések - követve a fenti egyszerű elméletet - passzív és aktív feszültségi állapotot, radiális nyírást vesznek különböző módon figyelembe.

A kapott egyenletek közös alakban a következő képletben foglalhatók össze:

$$p_t = c \cdot N_c + t \cdot \gamma \cdot N_q + \frac{B}{2} \cdot \gamma \cdot N_b$$

ahol:

- c : talaj kohéziója,
- γ : talaj térfogatsúlya,
- t : alapozás mélysége,
- b : alapozás szélességének fele,
- $N_c; N_q; N_b$: teherbírási tényezők, amelyek táblázatból választhatók meg.

A teherbírási tényezők nagyságát a legegyszerűbb esetekben, amikor a terhelés központos és függőleges, Φ függvényében táblázatból választhatjuk ki.

Különleges alapttest-elhelyezést a Meyerhof-féle grafikonok (6 féle eset) felhasználásával vehetjük figyelembe. Az alapttest alakját is figyelembe tudjuk venni, ha a Meischeder kísérletei alapján Schultze összefüggését használjuk. Ferde terhelés esetére Dubrov vezetett le összefüggést.

A törőterhelés meghatározása után a megengedett feszültség:

$$\sigma_{meg} = \frac{p_t}{n}$$

ahol:

- n : biztonsági tényező (2-4 közötti szám).

n értékét az építmény érzékenysége szerint kell megválasztani.

Alapozási mód megválasztása

Az építmények alapozásának tervezésekor mindig törekedni kell arra, hogy nyílt alapgödörben elhelyezett sávalapokat (sávalap, pilléralap, lemezalap) tervezzünk, mert ez a módszer általában

gazdaságos, emellett a legegyszerűbben kivitelezhető is. Síkalapozás minden esetben alkalmazható, ha valamilyen kizáró ok azt nem teszi lehetetlenné, amelyek a következők:

- *a terhelés a talajban nagyobb feszültséget okoz mint a megengedett feszültség, talajcsérés alapozásra pedig nincs mód, vagy gazdaságtalan,*
- *nagy, vagy egyenlőtlen süllyedések lépnek fel, veszélyeztetve az építmények állékonyságát. (Ez főként akkor fordul elő, ha az alaptest alatt eltérő vagy nagy összenyomódású rétegek helyezkednek el, különböző rétegvastagságban, vagy különböző terhelésnek kitéve),*
- *a felső talajréteg teherbírása kicsi, összenyomódása nagy, ezért síkalapozást csak gazdaságtalan méretekkel lehetne létesíteni,*
- *magas talajvízszint esetén, ha az alapgödör víztelenítése a hidraulikus talajtörés várható bekövetkezése miatt nyílt víztartással nem vízteleníthető, illetve ha a víztelenítés túlzott költségeket vagy műszaki komplikációkat okoz.*

Száfalazás szükséges mélysége

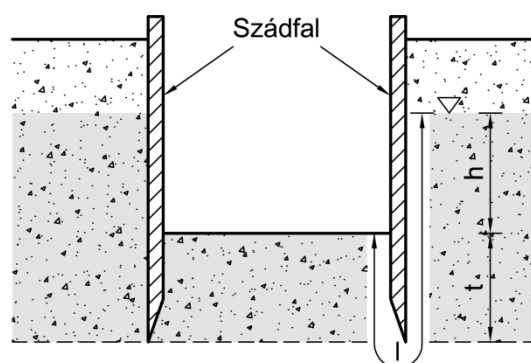
A hidraulikus talajtörés főként szemcsés talajokban fordulhat elő, ahol a nagy vízáteresztő-képességi együttható miatt fellépő nagy áramlási nyomás a talajszemcséket magával ragadja. A hidraulikus talajtörés ellen úgy védekezhetünk, hogy az alapgödör alsó szintje alá t mélyséig száfalat verünk, amely egyben a függőleges rézsűben meg nem álló talajt is megtámasztja. A száfal szükséges t mélysége a kritikus hidraulikus gradiens alapján számítható

$$t = \frac{h \cdot (1 - i_{krit})}{2 \cdot i_{krit}} \cdot n$$

ahol:

- n : biztonsági tényező (3-4 közötti szám).

A kizáró okok valamelyikének előfordulása esetén tehát *mélyalapozást* (cölöp, szekrény, kút) kell tervezni.



Száfalazás szükséges mélysége

Alapozási sík felvétele

Az alapozások tervezésének első lépése, hogy meghatározzuk azt a mélységet, vagy mélységeket, amelyekben az alapozás síkja felvehető. Tervezéskor mindig a szerkezetileg szükséges minimális alapozási síkból indulunk ki, a következők figyelembevételével:

- az építmény szerkezeti kialakítása (pince, garázs van-e?);
- mindig *fagyhatár alá* alapozunk, amely
 - Dunántúlon: 0,80 m,
 - Budapesten és az Alföldön: 1,00 m,
 - Szeged-környékén: 1,20 m;
- az alapozást *arra a rétegre helyezzük, amely elegendő teherbírású*. Kis teherbírású rétegek közötti *vékony* (0,20-0,40 m vastag) *nagyobb teherbírású rétegeket ilyenkor nem szabad figyelembe venni*. Meg kell vizsgálni, hogy a mélyebben lévő kis teherbírású rétegekben nem keletkezik-e káros feszültség és alakváltozás;
- figyelembe kell venni azt, hogy a *mélyebben fekvő rétegek jobban terhelhetők*, összenyomódásuk kisebb;
- *szemcsés talajoknál lehetőleg a talajvízszint fölé alapozzunk*. Amennyiben ez nem lehetséges, szádfalazást alkalmazunk;
- *terhelt laza homokrétegben a vízszintingadozás roskadást idézhet elő*;
- a *terhelt és átázott lösz roskad*, ezért az alapozás tervezésénél körültekintően kell eljárni;
- vízfolyást áthidaló *hidak hídfői és pillérei alapozási síkját úgy kell felvenni, hogy kimosás ne keletkezzen*.

Alaptestek süllyedésének számítása

Az alapozások tervezésével kapcsolatban felmerülő további kérdés, hogy a megfelelő teherbírású alap alatt ébredő feszültségek hatására mennyire nyomódik össze a talaj, vagyis mekkora lesz az építmény várható süllyedése.

Ismert, hogy alakváltozás a talajban akkor lép fel, ha az egyensúlyban lévő földtömegben a feszültségek megváltoznak. A megnövekedett feszültségek által létrehozott összenyomódás hatására új egyensúlyi állapot áll elő. Az összenyomódás nagysága a

$$\Delta h = h \cdot \frac{\sigma}{E_s}$$

elemi összenyomódások összegezésével számítható, ahol:

- Δh : az összenyomódás,
- h : az összenyomódó réteg vastagsága,
- σ : a rétegben keletkező átlagos feszültség,
- E_s : összenyomódási modulus.

Az összenyomódási modulus értékét a talaj kompressziós görbéje alapján tudjuk meghatározni a valóságban fellépő terhelési viszonyok alapján. A kompressziós jelenségek tárgyalásakor megállapítottuk, hogy a talajban csak az a többletfeszültség okoz összenyomódást, amely meghaladja a talajra addig hatott legnagyobb előterhelést. Ilyen előterhelést jelent a tereprendezés során eltávolított talajréteg, illetve a lemélyített alapgyökörből eltávolított talaj. Ekkor az alapozás alatti talajrétegben csak az a terhelés okoz összenyomódást, amely meghaladja az eredeti felszíntől mért mélységben számított függőleges önsúlyfeszültséget.

A süllyedésszámítást addig a réteggig kell általában elvégezni, ameddig az összenyomódás az építményre kihat. Amennyiben egy gyakorlatilag összenyomhatatlan réteg jelentkezik az alaptest háromszoros szélességének megfelelő mélység fölött, akkor addig, különben egy határmélységig kell az összenyomódás számítását elvégezni. A határmélység ott van, ahol a terhelésből származó feszültség geostatikai előterheléssel csökkentett értéke az eredetileg működő függőleges önsúlyfeszültség 20%-át éri el.

Az alaptest mindig rendelkezik bizonyos fokú merevséggel, ezért a változó talpfeszültség hatására különböző feszültségek ébrednek az alaptest alatt, amelyek különböző összenyomódásokat okoznak. Kiválasztható az alaptesten egy olyan pont, amely alatt ébredő feszültséggel számított süllyedés az alaptest átlagos süllyedését adja. Ezt a pontot karakterisztikus pontnak nevezzük, és az itt ébredő feszültséggel a süllyedések könnyen meghatározhatók. A karakterisztikus pont alatt ébredő feszültségeket táblázat tartalmazza, amelyek segítségével a feszültségeloszlás felrajzolható. A táblázatban

a relatív mélység: $\frac{z}{B}$ és $\frac{B}{L}$ (sávalapnál nulla) függvényében

az ébredő feszültségek fajlagos értéke $\frac{\sigma_z}{p}$.

A képletekben:

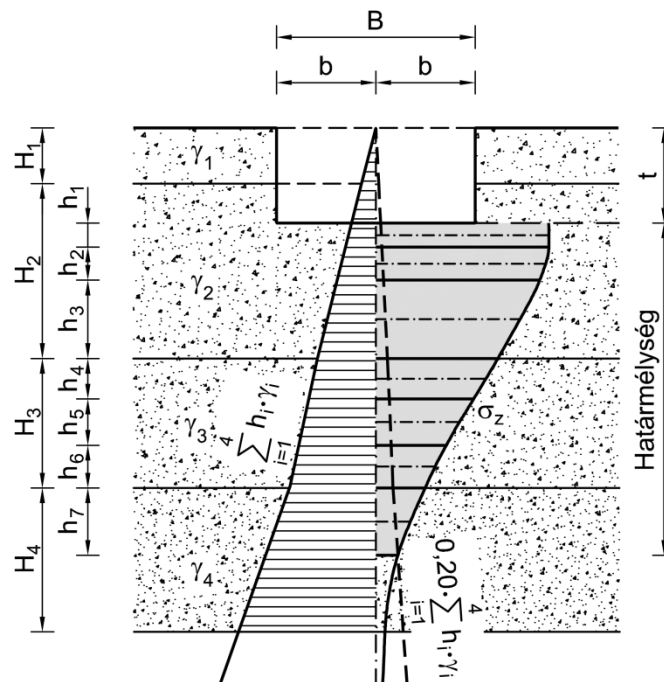
- z : a vizsgált mélység,
- B : az alaptest kisebbik mérete,
- L : az alaptest nagyobbik mérete,
- p : az alaptest alatt ébredő talpfeszültség, amely csökkentve van a geostatikai előterheléssel.

A süllyedésszámítás lépései

A süllyedések számítását az előbbiek alapján a következő lépésekben végezhetjük el:

- Felvázoljuk az alaptest helyzetét, és a talaj alap alatti rétegződését.
- Az eredeti talajfelszíntől számítva meghatározzuk a függőleges önsúlyfeszültségek nagyságát, és eloszlásukat felrajzoljuk.
- Kiszámíthatjuk a geostatikai előterhelést, vagyis annak a hatékony feszültségnek a nagyságát, amellyel az alap alatti talajrétegek tehermentesülnek a tereprendezés és az alap földkiemelése során.

- Az alaptestre ható terhelések alapján meghatározzuk a talpfeszültséget, amelyből kivonjuk a geostatikai előterhelést és ennek felhasználásával a karakterisztikus pont alatt ébredő feszültségeket táblázatának segítségével az alap tengelyében fellépő függőleges feszültségeket meghatározzuk és felrajzoljuk a feszültség-eloszlási ábrát.
- A feszültség-eloszlási ábrába berajzoljuk az eredeti talajfelszíntől mért függőleges önsúlyfeszültségek 0,20-szorosának megfelelő feszültségeloszlást. A két feszültségeloszlás határvonalának metszéspontja így kijelöli a határmélységet.
- A kapott feszültség-eloszlási ábrát célszerűen felvett trapézokra bontjuk, vagyis a diagram görbe vonalát simuló egyenesekre bontjuk. A trapézok párhuzamos oldalait úgy célszerű felvenni, hogy azok természetes réteghatárokkal egybeessenek, illetve a vastag réteget célszerű több trapézra bontani, hogy a simuló egyenesek jól fedjék az eredeti görbét.
- A teljes talajréteg összenyomódását az egyes elemi rétegek összenyomódásának összegezésével állapíthatjuk meg.



Süllyedések számítása

A süllyedés kiszámítása

Egy elemi réteg összenyomódása:

$$\Delta h_i = h_i \cdot \frac{\sigma_{zi}}{M_i}$$

ahol:

- Δh_i : i-edik elemi réteg összenyomódása,
- h_i : i-edik elemi réteg magassága,
- σ_{zi} : i-edik elemi rétegben működő átlagfeszültség (a trapéz középvonala),

- M_i : i -edik elemi talajrétegre jellemző összenyomódási modulus.

A teljes összenyomódás:

$$h = \sum_{i=1}^n \Delta h_i$$

ahol:

- n : elemi rétegek száma.

A fenti módszernél vannak pontosabb eljárások, azonban a mérnöki gyakorlatban előforduló problémák legnagyobb részének megoldásához ez az eljárás is kellő pontosságot biztosít.

ÚTÉPÍTÉSEK TALAJMECHANIKÁJA

A földmű és a pályaszerkezeti rétegek teherbíró-képesség mérése

Az utak pályaszerkezetének teherbírása nagymértékben függ a földmű teherbírásától. A teherbíró képességi vizsgálatoknak az a célja, hogy segítségével a földmű, az egyes pályaszerkezeti rétegek, illetve a teljes pályaszerkezet terheléssel szembeni ellenállását és a deformáció nagyságát, illetve ezek változását meghatározzuk. A vizsgálatokkal kapott értékeket aztán a pályaszerkezet méretezésére, építés közbeni minőség ellenőrzésre és kész burkolat állapota időbeli változásának jellemzésére használhatunk fel. A teherbíró-képesség mérésére négyféle eljárást ismertetünk:

- CBR % meghatározás: földmű jellemzésére;
- Tárcsás teherbírási vizsgálat: földmű, alap, burkolat jellemzésére;
- Behajlásmérés: burkolat és kötött alapréteg jellemzésére;
- Könnyűejtősúlyos és nehézajtősúlyos dinamikus teherbírási vizsgálat: burkolat és kötött alapréteg jellemzésére.

CBR% meghatározása

A CBR% (California Bearing Ratio) a talaj teherbírásának jellemzésére Californiában kidolgozott viszonyszám, amelyet a pályaszerkezet tervezéséhez, illetve építés közbeni ellenőrzéshez használunk fel. A CBR% egy olyan százalékban kifejezett viszonyszám, amely azt mutatja meg, hogy az adott talaj teherbírása hogy viszonyul az összehasonlítási alapul választott szabványos felépítésű tömör zúzottkőréteg teherbírásához.

A vizsgálat 29 mm átmérőnél kisebb szemcséket tartalmazó talajon végezhető el, amelynek lényege a következő: CBR edénybe zavart talaj mintát tömörítünk rétegenként a kísérlet céljainak megfelelő tömörségi fokra. Ezután a talajmintát a nyomógépbe tesszük, és egy 50 mm átmérőjű hengert nyomunk a mintába, miközben mérjük a terheléshez tartozó benyomódást. Az így kapott terhelés-behatolás p - s görbét egy szabványgörbéhez hasonlítjuk, amelyet egy előírt tömörségű tömör zúzottkő rétegen állalapítottak meg. Ehhez a 2,5 és 5,0 mm behatoláshoz tartozó fajlagos terheléseket hasonlítjuk össze, 100 %-nak véve a szabványos felépítésű tömör zúzottkő rétegen mért fajlagos terhelés nagyságát.

A kapott értéket százalék formájában adjuk meg.

$$CBR\% = 100 \cdot \frac{P_{2,5}}{7000}, \quad CBR\% = 100 \cdot \frac{P_{5,0}}{10500}$$

ahol:

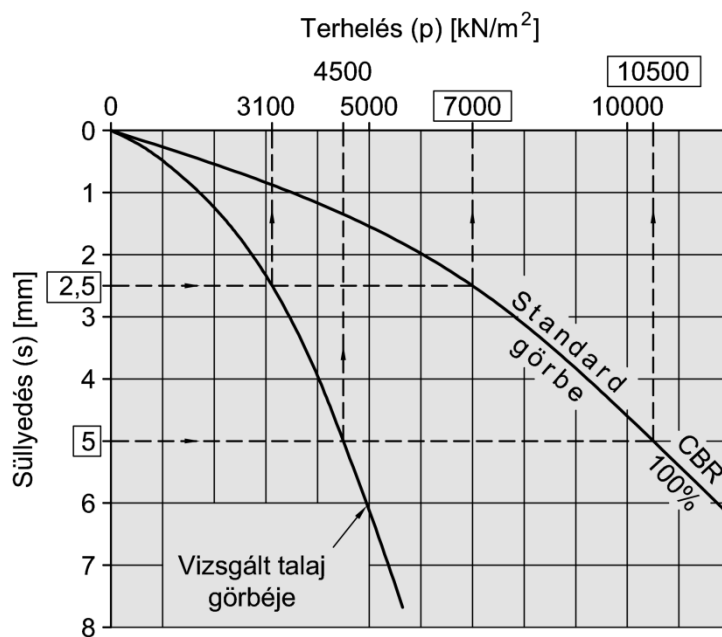
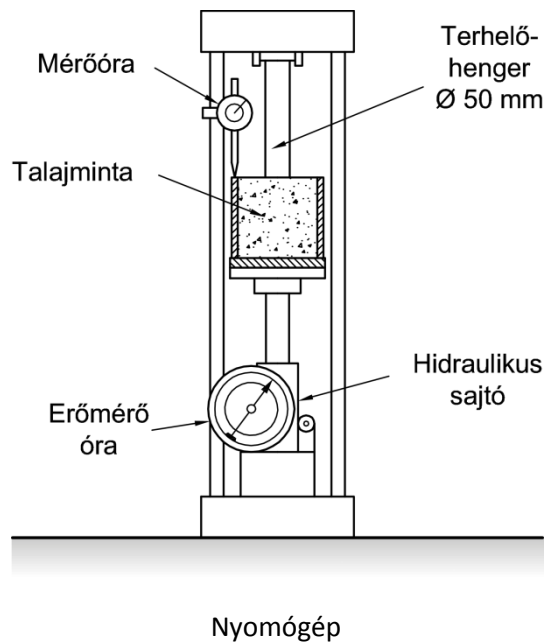
- $p_{2,5}$ illetve $p_{5,0}$: a 2,5, illetve 5,0 mm benyomódáshoz tartozó nyomás (kN/m^2);
- 7000, illetve 10500: a fenti benyomódásokhoz tartozó nyomás a szabványos zúzottkő rétegen (kN/m^2).

A 7000, illetve 10500 kN/m^2 -es nyomás 13,7 illetve 20,6 kN benyomó erőnek felel meg.

A két érték közül a nagyobb a talajra jellemző CBR %, melynek közelítő értékelése a következő:

- CBR=2-4% gyenge elázott, vagy nem tömör földmű,

- CBR=5-7% közepesen méréselt teherbírású földmű,
- CBR=7-15% megfelelő teherbírású földmű,
- CBR= 16-20% jó és kiváló teherbírású földmű.



CBR vizsgálat laboratóriumi görbéi

Teherbíró-képesség meghatározása tárcsás módszerrel

Tárcsás berendezéssel az elkészült földművön, vagy a kész burkolaton mérhetjük a teherbíró-képességet. A burkolaton mért teherbíró-képesség a burkolat és a földmű együttes teherbíró-képességére lesz jellemző.

A vizsgálat során 30 cm átmérőjű tárcsát terhelünk (pl. hidraulikus emelő és tehergépkocsi ellensúly segítségével). A terhelést lépcsőzetesen adjuk a tárcsára - kivárva a konszolidációt - miközben mérjük az egyes terhelési lépcsők hatására bekövetkező deformációkat. A maximális terhelés ($p=300 \text{ kN/m}^2$,

illetve $p=500 \text{ kN/m}^2$) elérése után tehermentesítjük a tárcsát, majd másodszor is elvégezzük a terhelést.

A két terhelés adataiból megszerkesztjük a terhelés-behatolás ($p-s$) görbéket. Az első terhelés görbéje az origóból indul és meredekebb, a másik görbe - a maradó alakváltozás miatt - az „ s ” tengelyből indul és laposabb. Az $E_2 \text{ (kN/m}^2)$ teherbíró-képességi modulust a második görbe alapján számítjuk:

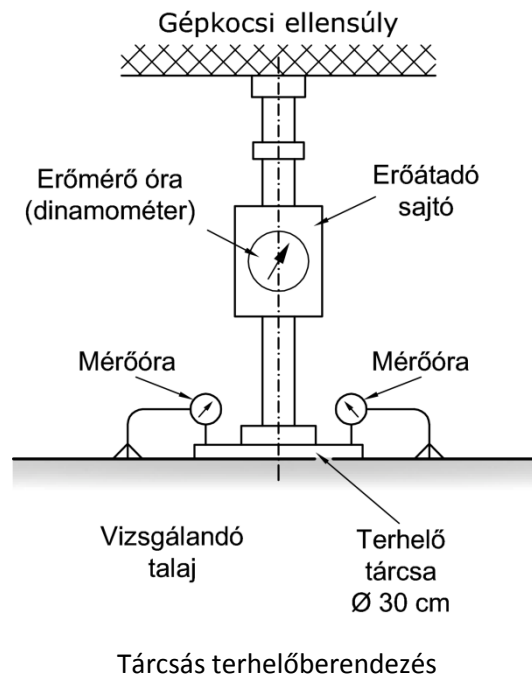
$$E_2 = 1,5 \cdot \frac{p \cdot r}{s}$$

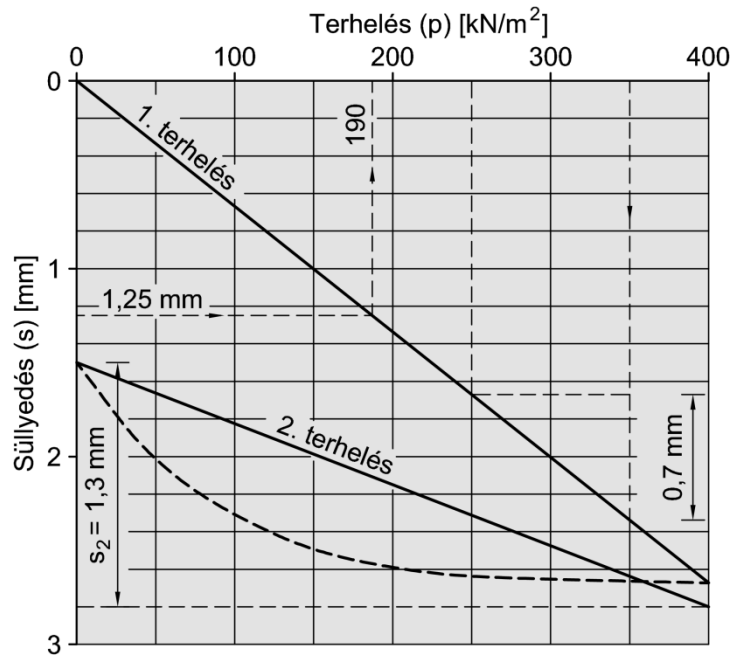
ahol:

- r : tárcsa sugara (0,15 m),
- p : legnagyobb nyomás (földműveknél 300 kN/m^2 , burkolatokon 500 kN/m^2)
- s : második görbe elején és végén mért süllyedések különbsége (m).

A kapott E_2 modulus értékelése a földműveken a következő:

- $E_2 = 10\text{-}25 \text{ MN/m}^2$ gyenge, elázott nem tömör földmű,
- $E_2 = 30\text{-}40 \text{ MN/m}^2$ közepesen gyenge teherbírású földmű,
- $E_2 = 40\text{-}80 \text{ MN/m}^2$ megfelelő teherbírású földmű,
- $E_2 = 80\text{-}120 \text{ MN/m}^2$ jó és kiváló teherbírású földmű.





Tárcsás teherbírás vizsgálat erő-alakváltozás görbéi

Tömörégi tényező

A vizsgálatnál kapott két görbéből egy további jellemző értéket a *tömörégi tényezőt* is meg tudjuk határozni. Ez az érték a teherbírásra is és a tömörögre is jellemző szám, amely az alábbi összefüggéssel számítható:

$$T_t = \frac{E_2}{E_1} = \frac{s_3 - s_2}{s'_3 - s'_2}$$

ahol

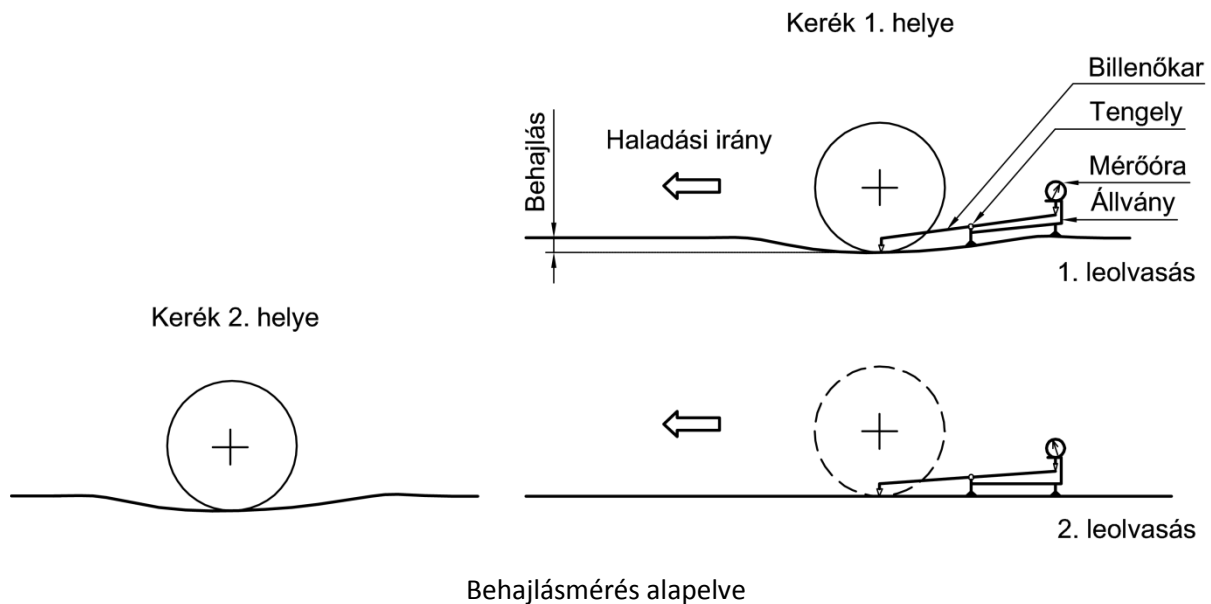
- E_2 : második görbe alapján számított teherbíró-képességi modulus (MN/m^2),
- E_1 : első görbe alapján számított teherbíró-képességi modulus (MN/m^2),
- s_2, s_3 : 200, illetve 300 kN/m^2 nyomásnál leolvasott süllyedés az első görbéről (mm),
- s'_2, s'_3 : 200, illetve 300 kN/m^2 nyomásnál leolvasott süllyedés a második görbe alapján (mm).

Amennyiben $T_t=1$ ($E_1=E_2$) akkor a földmű, szerkezeti réteg tömörége jó, mivel a terhelés hatására tömörödés nem jött létre. A 2,5-nél nagyobb értékű teherbírási tényező a földmű vagy szerkezeti réteg nagyfokú teherbíró-képesség csökkenésére utal, amelynek oka a tömörítetlen földmű, szerkezeti réteg, illetve a földmű elázása. Az ilyen nagy értéket mutató helyeken a teherbírás csökkenés okát gondosan meg kell vizsgálni.

Behajlásmérés

A pályaszerkezet teherbírása jellemezhető a terhelés hatására bekövetkező rugalmas alakváltozással a behajlással. A méréseket a pályaszerkezeti rétegek vagy a kész burkolat felületén végezzük el tehergépkocsi terhelést alkalmazva. A behajlásmérés alapelve az, hogy a terhelt tehergépkocsi ikerabroncsa közé a maximális behajlás helyén – a kerék felfekvési középpontjába – elhelyezett 1:1

arányú mérőkarokkal rendelkező behajlasmérőről leolvasott és 50 kN keréksúlyra – lineáris összefüggést feltételezve – átszámított alakváltozást nevezzük behajlásnak.



Behajlasmérés eszközei

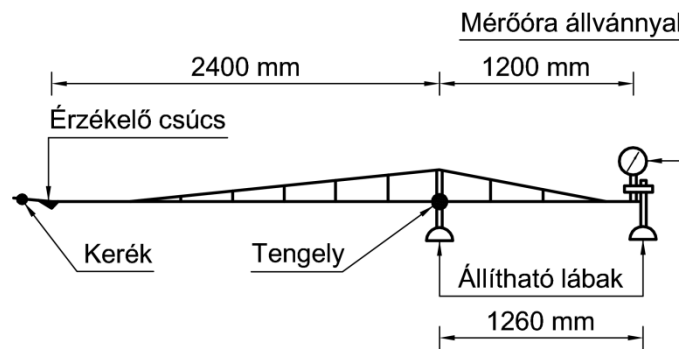
A billenőkaros behajlás mérhető:

- automatikus mérőkocsival,
- kézi behajlasmérővel.

Az automata mérőkocsi a méréseket haladás közben folyamatosan méri. A mérőkocsi a berendezés mérőcsúcsát a kerék elé helyezi el és ehhez, mint kiindulási állapothoz viszonyítja a benyomódás nagyságát, ami bizonyos eltérést ad az eredeti behajlasméréshez viszonyítva. Az automatikus mérőkocsi 2 fő (gépkocsivezető és mérőtechnikus) személyzettel mintegy 4 m-enként méri a pályaszerkezet alakváltozását, miközben rögzíti a szelvényezési értékeket is. Mód van arra is, hogy mérés közben az út egyes elemeinek (útcsatlakozás, vasúti átjáró, híd stb.) szelvényezési értékeit is rögzítsék. Az adatok adathordozóra kerülnek, amelyeket számítógép megadott program szerint értelmez. A mérőkocsi teljesítménye óránként 2,5 km, egy műszakban mintegy 20 km. A méréseket a közúti minőségellenőrző laboratóriumok tudják elvégezni. Az egy forgalmi sávú utakon a mérés idejére a forgalmat le kell zárni, mert a mintegy 16 t tömegű, az alvázra függesztett mérőberendezés miatt alacsony szabad magasságú nagy értékű tehergépkocsi a keskeny és puha padkára, vagy terepre a meghibásodás komoly veszélye nélkül nem tud lemenni.

A kézi behajlasmérő (Benkelmann-tartó) egy állványra elhelyezett kétkarú emelő, amelynek egyik karja tapogatócsúcsban végződik, másik karjának végén pedig egy mérőóra található. A mérőóra segítségével a kar elmozdulása mérhető. Vékony pályaszerkezeteken az 1:1 arányú mérőkarokkal bíró kézi behajlasmérővel végzett behajlasméréseknél az a probléma, hogy a berendezés állványának lábai a pályaszerkezet deformálódó szakaszára eshetnek. A hazai viszonylatban is megerősített tapasztalatok alapján vékony pályaszerkezetnél az ebből származó hiba jelentős lehet. Azért, hogy a behajlasmérő talpai a tehergépkocsitól távolabb kerüljenek, a tapogatócsúcs felé eső mérőkart 2-szeresére kellett megnyújtani, tehát a mérőkarok aránya így 2:1 lett. Ez a túlnyújtás általában elég ahhoz, hogy a lábak deformációmentes helyre kerüljenek, a műszer hossza pedig még ne befolyásolja

a kezelhetőséget. Kedvezőtlen ennél az elrendezésnél az, hogy a leolvasott értékből a valódi értéket kettővel való szorzás után nyerjük, ami az esetleges hiba nagyságát is ugyanígy növeli. Gondos méréssel azonban ez a hiba minimálisra csökkenthető és a várható végeredményt nem befolyásolja.



Módosított behajlásmérő

Kézi behajlásmérés

A kézi behajlásméréshez 1 db rakott tehergépkocsi vezetővel, 2 db kézi behajlásmérő és 3 fő mérőszemélyzet szükséges. Mivel az ikerabroncsok alatti maximális behajlás helyének pontos megítélése bizonytalan, az automata behajlásméréshez hasonlóan, az érzékelő csúcsot a kerékfelfekvés elé helyezzük. Méréskor az egyik behajlásmérőt a jobb, a másikat a bal ikerabroncs közé toljuk be hátulról úgy, hogy az érzékelő csúcs a kerékfelfekvés elé kerüljön. Ezután a tehergépkocsi legalább 3 m-t előre gördül, miközben a mérendő hajlékony pályaszerkezet benyomódik, amelyet mérőórával regisztrálunk. A behajlás értékét a mérőóra kétirányú kitérésének összege adja. A mért behajlásokat az összehasonlíthatóság miatt 50kN kerékterhelésre kell átszámítani lineáris összefüggést feltételezve a terhelés és a behajlás között:

$$s_b = s'_b \frac{50,0}{S}$$

ahol:

- s_b : behajlás az 50,0 kN kerékterhelés alatt (mm),
- s'_b : behajlás az S kerékterhelés alatt (mm),
- S: kerékterhelés (kN).

A kapott behajlás értékek a teherbírással fordítottan arányosak. A behajlásmérést mindig a tavaszi időszakban kell elvégezni, mert ekkor legkevésbé teherbíró az altalaj, tehát ezek tekinthetők a mértékadó behajlásoknak. A behajlásmérés előnye az, hogy sok mérést gyorsan tudunk végrehajtani. A behajlásméréseket 50, 100 m távolságokban szokták elvégezni, és az egyes szakaszok teherbírását hossz-szelvényyszerűen ábrázolni. (100 m-enként mérve naponta kb. 20 km utat lehet végigmérni.) A hibás szakaszok az ilyen ábrázolásban erősen kiugranak. A behajlásmérés eredményei ezért felhasználhatók építés közbeni ellenőrzésre és a pályaszerkezet megerősítésének tervezésére.



Módosított behajlásmérés

Könnyűejtősúlyos dinamikus teherbírás vizsgálat

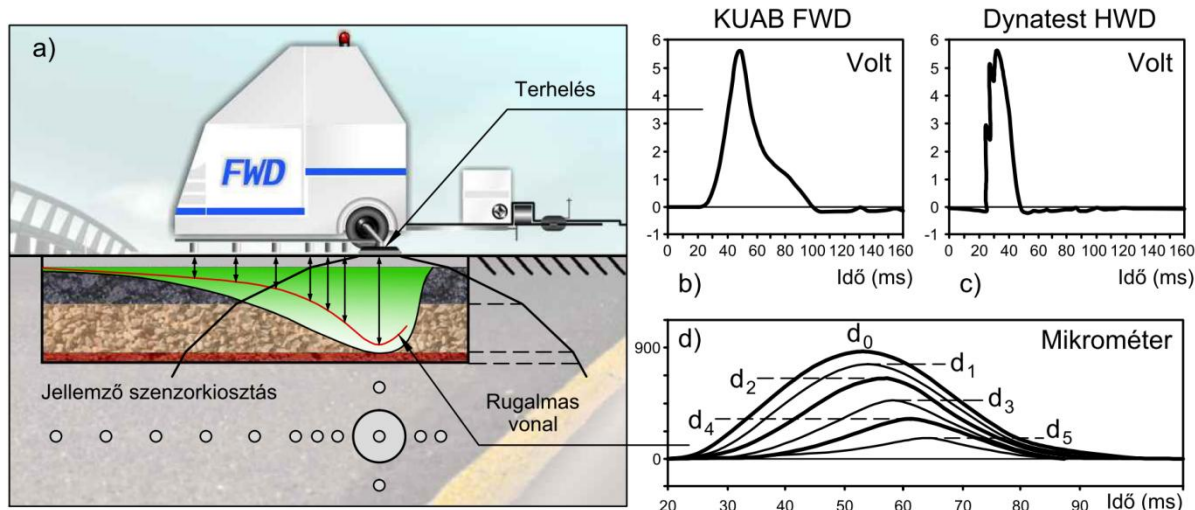
A vizsgálat lényege, hogy meghatározott tömeget adott magasságból vezető rúd közbeiktatásával ejtgetünk egy 300 mm (150 mm) átmérőjű tárcsára. Az ejtősúly a peremfeltételek ismeretében számítható terhelést ad át a tárcsának. Az eszköz a tárcsa dinamikus terhelésének következtében létrejött süllyedést méri, amelyből a dinamikus teherbírás modulus számíthatóvá válik. A vizsgálati eljárás legfeljebb 63 mm legnagyobb szemnagyságú, legfeljebb a tárcsaátmérő mintegy kétszeresének megfelelő vastagságú friss anyagréteg, vagy földműréteg vizsgálatára alkalmas. A kapott eredmények statikus tárcsás mérésrel való összevetése az eltérő modellalkotásnak köszönhetően nem minden talaj esetében oldható meg.



Könnyűejtősúlyos dinamikus teherbírás mérés

Nehézejtősúlyos teherbírás mérő berendezés

A berendezés egy adott magasságból leejtett súllyal szimulálja a mozgó kerék által okozott terhelést és így sokkal alkalmasabb a forgalom okozta ismétlődő, dinamikus terhelések szimulálására, mint a statikus, félig-statikus vagy a vibrációs terhelések. A terhelési idő csupán 25–30 ms, ami körülbelül egy 60–80 km/h sebességgel közlekedő tehergépkocsi igénybevételeivel egyenlő. A készülékkel végzett mérési sorozat lehetővé teszi a vizsgálatot végző mérnök számára a behajlási teknő meghatározását ellenőrzött terhelés mellett, amely megbízhatóbb és részletesebb minden más, jelenleg létező vizsgálati eljárásnál. A készüléket a pályaszerkezet függvényében (szerkezeti rétegek merevsége, felépítése) széles határok között változtatható terhelőerő (7–120 kN) jellemzi, ami így szinte bármilyen típusú burkolat esetében alkalmazható (makadám, hajlékony, illetve félmerev). A mérés megbízható és gyors, akár 60 mérési pont/óra. A 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.



Nehézejtűsúlyos teherbírásmérő mérés elvének vázlatos bemutatása

Útépités követelményei a földművel szemben

A pályaszerkezetet alátámasztó földmű állapota és teherbíró-képessége nagymértékben befolyásolja a pályaszerkezet élettartamát. A földművek állékonysága akkor biztosított, ha azokat megfelelően tömörítve építjük. Az út pályaszerkezetét alátámasztó földművel szemben további követelmény, hogy teherbíró legyen, tehát a ráhelyezett rétegeket úgy támassza alá, hogy megengedhetetlenül nagy, vagy maradó alakváltozások a forgalom terhelésének hatására ne alakulhasson ki. Ezt a feltételt csak úgy lehet kielégíteni, hogy a tömörítést célszerűen – a talajhoz legjobban alkalmazkodó tömörítő eszközzel, optimális tömörítési víztartalom mellett – végezzük el. Az így végzett tömörítés egyben a leggazdaságosabb is.

Tömörség jellemzése

A talaj tömörségének jellemzésére a talaj száraz halomsűrűségét használhatjuk fel. Ez lehetővé teszi, hogy a változó víztartalmú földből vett mintákat össze lehessen hasonlítani, kikapcsolva így a víz hatását. A száraz halomsűrűséget az alábbi összefüggéssel számíthatjuk:

$$\rho_d = \frac{m_d}{V}$$

ahol:

- m_d : kiszárított zavartalan minta tömege (kg),
- V : minta eredeti térfogata (m^3)

A minta nedves halomsűrűsége (ρ_n) és a víztartalom ($w\%$) ismeretében a száraz halomsűrűség közvetlenül is számítható:

$$\rho_d = \frac{\rho_n}{1 + \frac{w\%}{100}}$$

A száraz halomsűrűség a háromfázisú talaj $w\%$ víztartalma, $l\%$ levegőtartalma és ρ_s testsűrűsége alapján is számítható:

$$\rho_d = \left(1 - \frac{l\%}{100}\right) \cdot \frac{\rho_s}{1 + \frac{\rho_s \cdot w\%}{100}}$$

összefüggéssel. Ez a képlet jól szemlélteti, hogy a tömörített talaj száraz halomsűrűségét főként három tényező befolyásolja:

- a víztartalom nagysága ($w\%$),
- a talajfajta (ρ_s),
- a tömörítési munka ($l\%$).

A talajok tömörsége tehát nem írható elő egyetlen (ρ_{dmin}) minimális száraz halomsűrűséggel, hanem mindig meg kell állapítani laboratóriumban, hogy mekkora a talaj legnagyobb száraz halomsűrűsége, amelyet a tömörítő gépek hatásának megfelelő tömörítési munkával, egy adott kedvező víztartalomnál állítunk elő.

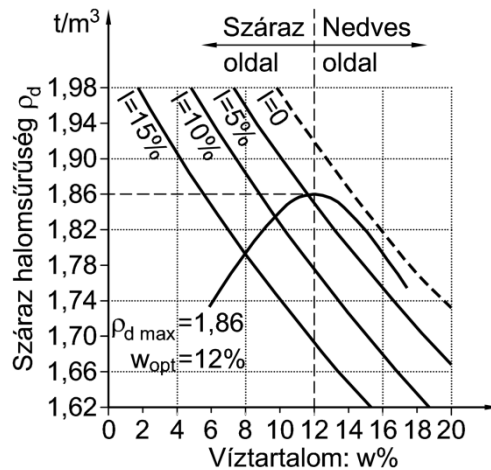
A földmű építése során a betömörített földműből kivett talajminta száraz halomsűrűségét (ρ_d) hasonlítjuk ezután a fent értelmezett legnagyobb száraz halomsűrűséghez (ρ_{dmax}) amelyet százalékban kifejezve tömörségi foknak, vagy relatív Proctor tömörségnek nevezünk:

$$T_{r\rho} = \frac{\rho_d}{\rho_{dmax}} \cdot 100$$

A ρ_{dmax} legnagyobb száraz halomsűrűséget, amelyet 100%-os tömörségnek fogadunk el, Proctor-vizsgálattal határozhatjuk meg. A hazai előírás a tömörség vizsgálatát módosított Proctor-vizsgálattal írja elő, amely abban tér el az eredeti standard Proctor-vizsgálattól, hogy 4,5-ször nagyobb fajlagos tömörítő munkával tömöríti be a talajt, ezért nagyobb száraz halomsűrűséget (viszonyítási alapot) kapunk, kisebb optimális tömörítési víztartalom mellett. A Proctor-görbék mellé felrajzolhatók a különböző telítettségek megfelelő vonalak az alábbi képlet felhasználásával:

$$\rho_d = \frac{\rho_s}{1 + \frac{w \cdot \rho_s}{S \cdot \rho_v}}$$

A Proctor-görbét így elemezve a következőket tapasztaljuk: a víztartalom növekedésével egy ideig a száraz halomsűrűség is nő egy maximumig, ρ_{dmax} maximális száraz halomsűrűség eléréséig, amelyhez tartozó víztartalom az optimális tömörítési víztartalom (w_{opt}). Eddig a pontig tart a görbe száraz oldala, amelyen túl növelve a víztartalmat a száraz halomsűrűség folyamatosan csökkenni kezd. A nedves oldalon a görbe leszálló ága az $S=1,00$ ($l=0\%$) telítettségi vonalhoz közelít, de azt sohasem éri el. Ennek oka, hogy a talaj $S=0,90$ telítettség után már nem mutatja a háromfázisú rendszer tulajdonságait a levegő szabad áramlásának nagyfokú akadályoztatása miatt, hanem ún. látszólagos kétfázisú rendszert alkot. A talajba szorult néhány százalék levegő ilyenkor már csak jelentős többletmunkával űzhető ki.

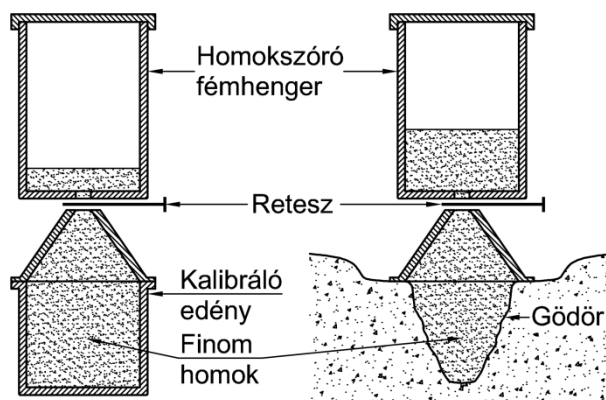


Víztartalom-változás hatása a száraz halomsűrűsége

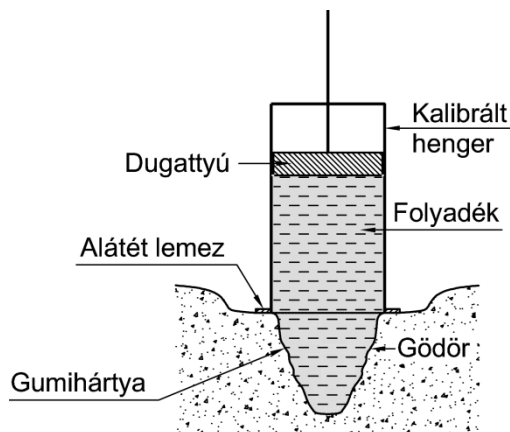
Tömörség ellenőrzése

A tömörségi előírások betartása és betartatása rendszeres tömörség-ellenőrzéssel hajtható végre. A tömörített rétegből legalább három helyen (felül, közepén, alul) kell mintát venni, hogy a réteg tömörségéről kellő képet alkothassunk. A tömörség ellenőrzési módjai a következők:

- *Kötött talajok esetében, kiszúróhengerrel* ismert térfogatú zavartalan talajmintát kell venni, melynek kiszáritása után a - száraz halomsűrűsége közvetlenül meghatározhatjuk.
- *Homokszórásos térfogatmérést főként szemcsés talajok esetében* alkalmazhatunk. Ennek lényege az, hogy a talajból kivett 13-15 cm mély gödör térfogatát a töltőrekeszes homokszóró berendezés segítségével határozzuk meg. A gödör térfogatát a homokszóróból kiengedett finom homok tömegéből és a kalibráláskor meghatározott halomsűrűség segítségével tömegmérésekkel tudjuk meghatározni. Ennek és a minta száraz tömegének ismeretében a száraz halomsűrűség számítható.
- A szabálytalan alakú gödör térfogatát *gumimembrános készülékkel* is meghatározhatjuk. A 13-15 cm mély gödörből kivett talaj száraz tömegét itt is gondosan meghatározzuk. Ez után a készülék gumimembrános részét a gödörre állítjuk, és egy dugattyú nyomásával a gödört vízzel töltjük ki. A dugattyú két szélső helyzetének leolvasásából a térfogat megállapítható, tehát ρ_d számítható.
- A tömörséget *radioizotópos készülékkel* is meg lehet határozni. Ennek nagy előnye, hogy az eredményeket a helyszínen szolgáltatják, így azonnali beavatkozásokra nyílik lehetőség.



Homokszórásos térfogatmérés

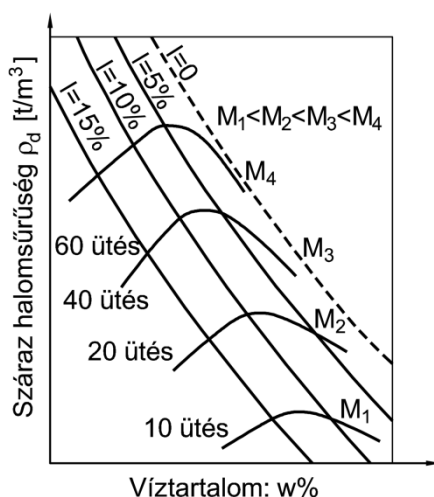


Gumimembrános térfogatmérés

Tömörséget befolyásoló tényezők

Változó tömörítő munka hatása azonos talajra

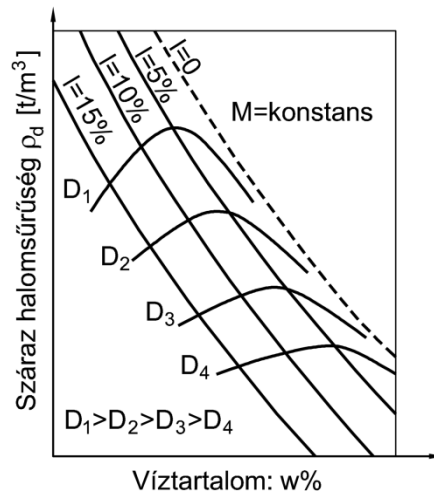
Azonos talajfajtán sorozatonként különböző tömörítő munkát alkalmazva azt tapasztaljuk, hogy a ρ_d száraz halomsűrűség nagysága az M tömörítő munka és a w víztartalom függvényében változik. Az M tömörítő munka növekedésével nő az elérhető ρ_{dmax} érték, miközben a w_{opt} értéke csökken.



Változó tömörítő munka hatása azonos talajra

Különböző talajok Proctor-görbéi

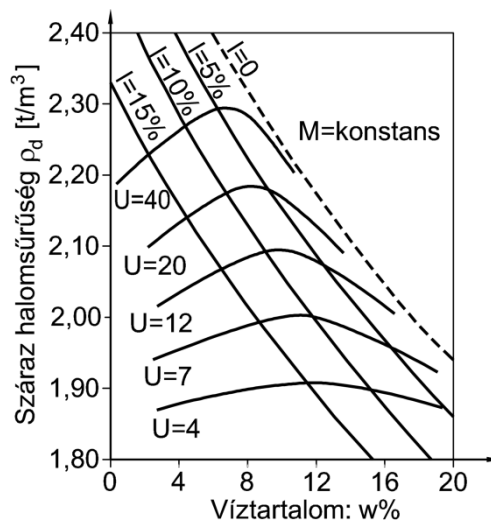
Azonos tömörítő munka mellett vizsgálva a különböző talajok száraz halomsűrűségét azt tapasztaljuk, hogy minél nagyobb szemcsékből áll a talaj (kavics, homokos kavics, homok) annál nagyobb a ρ_{dmax} értéke, annál alacsonyabb az optimális tömörítési víztartalom, és annál érzékenyebb a talaj a víztartalom változására tömörítéskor. A durva szemcsés talajoktól haladva a finomabb szemcséjű talajok felé, a ρ_{dmax} értéke egyre jobban csökken, emelkedik a w_{opt} értéke, a Proctor-görbe alakja pedig ellaposodik, ami azt jelenti, hogy a talaj érzéketlenebb a tömörítési víztartalom változására.



Különböző talajok Proctor-görbéi

Az egyenlőtlenégi együttható hatása a tömöríthetőségre

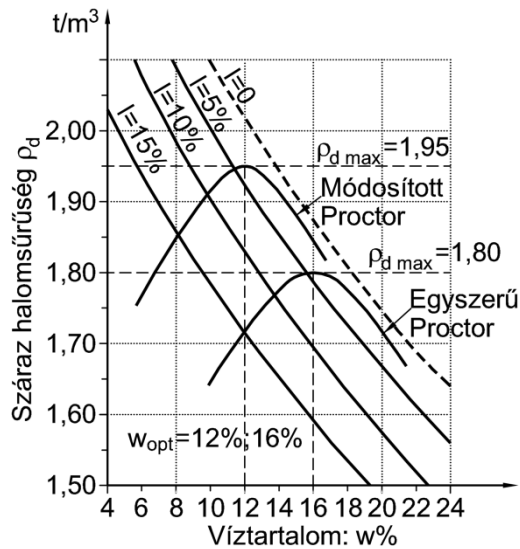
A szemcsés talajok közül a nagy egyenlőtlenégi együtthatójú, jól graduált talajok ρ_{dmax} értéke magasabb, w_{opt} értéke alacsonyabb, érzékenysége a tömörítési víztartalomra nagyobb, mint az azonos szemcséjű, kis egyenlőtlenégi együtthatójú szemcsés talajoké.



Az egyenlőtlenégi együttható hatása a tömöríthetőségre

Egyszerű és módosított Proctor-vizsgálat tömörítési görbéi

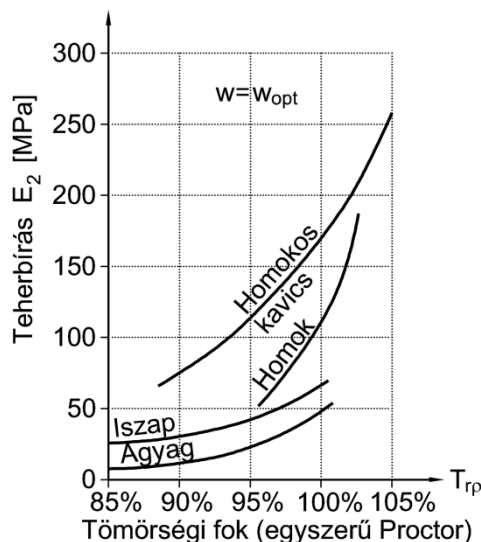
A különböző hatótényezők közül legegyszerűbben a tömörítő munka nagysága változtatható. Az eredeti standard Proctor-vizsgálat és a szabvány szerint előírt módosított Proctor-vizsgálat, valamint a különböző tömörítő eszközök között, a tömörítő munka nagyságában van különbség. A munkahelyi tömörítési tapasztalatokat összevetve a laboratóriumi Proctor-vizsgálatokkal azt tapasztaljuk, hogy a munkahelyen létrehozható legnagyobb száraz halomsűrűség nagysága a standard és módosított Proctor-érték közé esik, többnyire közelebb a standard Proctor-értékhez. Ebből következően a tömörség ellenőrzéséhez a módosított Proctor-vizsgálat eredményeként kapott nagyobb ρ_{dmax} száraz halomsűrűséget célszerű alkalmazni, mert így a jó tömörítést 90-95% relatív tömörséggel írhatjuk elő.



Egyszerű és módosított Proctor-vizsgálat tömörítési görbéi

Földművek tömörsége és teherbíró képessége közötti összefüggés

Az utak földműveinek felső rétegében fokozott tömörséget kell biztosítani azért, hogy a földmű teherbírása megfelelő legyen. Általánosságban kimondható, hogy nem túl nedves talajok teherbírása annál nagyobb minél nagyobb a tömörsége. A tömörség és a teherbírás fogalma mégis élesen elválasztandó, mert a különböző talajok teherbírása azonos tömörségi foknál nagyon eltérő lehet. A tömörítést optimális tömörítési víztartalom mellett végezve és a tömörségi fok függvényében a teherbírást ábrázolva megállapítható, hogy a szemcsés talajok teherbírása általában magas, amely a tömörség csökkenésével rohamosan csökken. Kötött talajok teherbírása jóval kisebb, mint a szemcsés talajoké, ezért a tömörségcsökkenés hatására bekövetkező teherbírás csökkenés is kisebb mértékű.

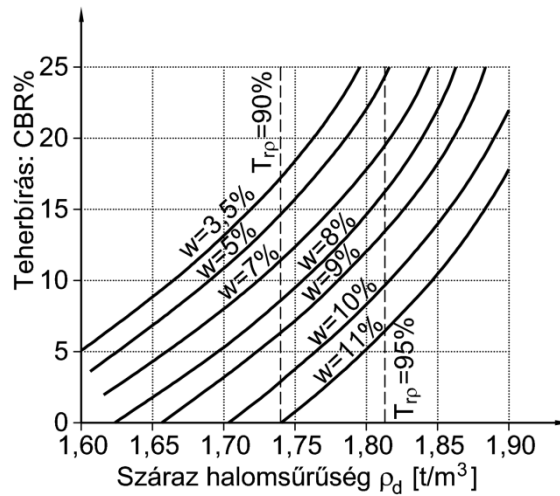


Tömörítés és teherbírás összefüggése különböző talajoknál

Teherbírás, tömörség és víztartalom összefüggése szemcsés talajoknál

A földmű teherbírása azonos tömörség mellett is csökkenhet, ha a víztartalom növekszik. A szemcsés talajokon végzett CBR vizsgálatok eredményéből látható, hogy amennyiben a víztartalom növekszik,

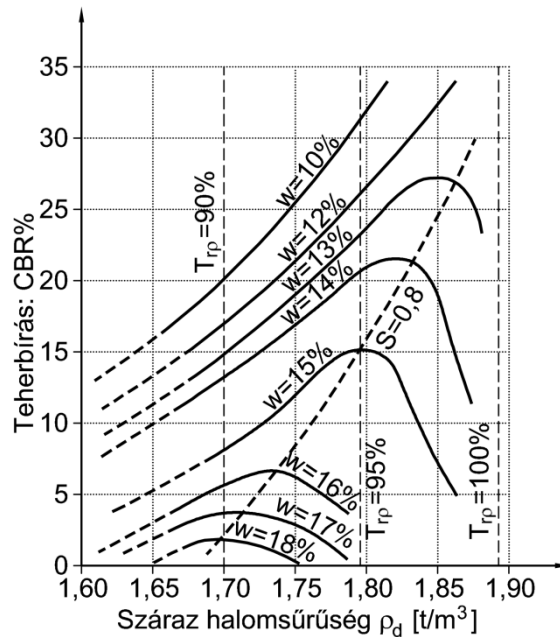
akkor azonos száraz halomsűrűség esetén a $CBR\%$ csökken. Nagyobb tömörítő munkát alkalmazva és így növelve a száraz halomsűrűséget a teherbírást jellemző $CBR\%$ értéke növekedni fog. Tehát az elnedvesedett szemcsés talajok teherbírása nagyobb tömörítő munkával növelhető.



Teherbírás, tömörség és víztartalom összefüggése szemcsés talajoknál

Teherbírás, tömörség és víztartalom összefüggése kötött talajoknál

Kötött talajok esetében az $S=0,75-0,80$ körüli telítettséget elérve a ρ_d száraz halomsűrűség növekedése esetén, a fellépő semleges feszültségek miatt a teherbírás csökkenni kezd. *Elnedvesedett kötött talajok esetében tehát a számszerűen nagy tömörség a nyírószilárdság csökkenése miatt nem biztosít megfelelő teherbírást. Kötött talajú földművek tömörítésekor tehát gondosan kell ügyelnünk arra, hogy a földmű ne ázzon, ne nedvesedjen el, mert a szükséges teherbírás nagy tömörítő munkával sem biztosítható.*



Teherbírás, tömörség és víztartalom összefüggése kötött talajoknál

Tömörégi előírások utak földműveire

Az utak földműveivel kapcsolatos hazai tömörégi előírások a módosított Proctor-vizsgálatot veszik alapul a következőképpen:

- az útpályaszerkezet alatt 0,50 m vastag talajréteget különös gonddal tömörítendő:
 - hajlékony pályaszerkezet (aszfalt) alatt 90 %,
 - merev pályaszerkezet (beton) alatt 95 % tömörégi fokig.
- A földmű alsóbb rétegében megkövetelendő a 85 % tömörégi fok.

Az útpályaszerkezet szempontjából lényeges, hogy a tömörség közel egyenletes legyen (a tömörégi fok változása 5 %-on belül maradjon). Kedvezőtlen az a földmunka, amely magasabb tömörségű, de a tömörégi fok ingadozik, mert a burkolat hullámossá, később repedezetté válik, és elveszti vízzáróságát.

Rendkívül lényeges, hogy a bevágások felső 50 cm vastag rétegét is tömörítsük, mert a termett talaj eredeti tömörsége általában nem kielégítő.

A tömörítést az optimális tömörítési víztartalom körül kell elvégezni. Száraz időben ezt locsolással, nedves időben átkeveréssel (szellőztetéssel), vagy vízelvonó anyag bekeverésével lehet a kellő víztartalmat biztosítani. Hatékonyan alkalmazható ekkor az égetett vagy porrá oltott mész, esetenként jól kiégetett szénalak bekeverése.

Mivel az optimális víztartalmon történő gondos tömörítés célja az, hogy a földmű kellő teherbírású legyen, ezért a tömörégi fok mellett a teherbíró-képesség értékét is előírják. A földmű nem kielégítő teherbírásából általában arra következtethetünk, hogy a földmű tömörítése elégtelen, az előírt tömörégi fokot nem éri el. Amennyiben a tömörégi fok eléri az előírt értéket, de a teherbírás nem megfelelő, akkor a földmű elázott állapotban van, tehát gondoskodni kell kiszáritásáról.

Földművek építéséhez felhasználható talajok

A földmű anyagát lehetőleg a helyi talaj képezze. A talajok felhasználhatóságának szempontjai a következők:

a.) *Földmű építéshez nem használható talajok:*

- puha agyag és iszap-talaj,
- szerves, vagy szerves szennyeződésű talaj,
- salak, építési törmelék,
- szikes talaj,
- fagyott talaj,
- mállott kőzet - csak főzési vizsgálat után,
- túl kis testsűrűségű talajok ($\rho_s < 1,65 \text{ t/m}^3$).

A fenti talajfajták víz hatására gyorsan elvesztik teherbírásukat, nehezen tömöríthetők, olvadási és fagykára érzékenyek, ezért beépítésük veszélyes.

b) *A földmű felső 50 cm vastag rétegébe beépíthető talajok*

A földmű felső 50 cm vastag rétege a pályaszerkezet teherbírását döntően befolyásolja, ezért ide a következő anyagokat célszerű beépíteni:

- homokos kavics, kavicsos homok,
- iszapos murva,
- iszapos kavics,
- durva élesszemű, jól graduált homok.

Ezek az anyagok jól tömöríthetők, kellő teherbírásúak lehetnek. Az olvadási és fagykárak ellen esetenként külön kell védekezni.

c) A földmű felső 50 cm vastag rétegébe kerülendő talajok:

- homokliszt,
- lösz, márga,
- egyenletes közel egyforma szemcséjű csillámos folyami homok.

Ezek az anyagok érzékenyek az elnedvesedésre vagy nehezen tömöríthetők. A futóhomokot és a lösz - az országban elfoglalt nagy területarányuk miatt - kénytelenek vagyunk beépíteni, ilyenkor azonban a kellő víztelenítésről gondoskodni kell.

A talajok felhasználhatóságát befolyásolja még a tömöríthetőségük és vízérzékenységük. Nehezen tömöríthetők általában a meredek lefutású szemeloszlási görbével rendelkező szemcsés talajok, ezért földmű építésre célszerűbb jól graduált talajokat felhasználni. A tömöríthetőség megítélése ezeknél a talajoknál az egyenlőtlenégi együttható segítségével történhet:

- $U < 3-4$, rosszul tömöríthető talajok,
- $U > 7$ jól tömöríthető talajok.

A vízérzékeny talajok átázva hamar elvesztik teherbírásukat. Ide tartoznak a kis plasztikus indexű iszaptalajok, mert ezek kis víztartalom növekedés hatására a folyás állapotába kerülnek. A pályaszerkezet alatt tehát kerülni kell az $I_p=0-10\%$ plasztikus indexszel rendelkező talajokat, vagy a vízzárásról gondoskodni kell.

Tömörítő gépek kiválasztása

A hatékony és gazdaságos tömörítés megkívánja, hogy a tömörítést a talajnemnek legjobban megfelelő tömörítő eszközzel végezzük el. Általános irányelveként elfogadható, hogy:

- kötött talajokat gyúró tömörítéssel,
- szemcsés talajokat vibrációs tömörítéssel,
- köves sziklás talajokat döngölő tömörítéssel célszerű tömöríteni.

Az egyes tömörítő eszközöket a következőképpen jellemezhetjük:

- *Gumiabroncsos hengerek* a legáltalánosabban használható, leghatékonyabb tömörítő eszközök. Tömegük 10-40 t között változik. Fajlagos tömörítő-képessége, gyúróhatása és sebessége nagy. Optimálisan iszapos homok talajokon alkalmazható.
- *Vibrohenger* elsősorban a homokos kavics, durva homok, esetleg iszapos talajok tömörítésére alkalmas. Finom futóhomokok tömörítésére nem alkalmas.
- *Juhláb vagy fogashenger* kizárólag erősen kötött agyagos talajok tömörítésére alkalmazható. 5-20 t tömegűek, nagy fajlagos tömörítő munkával dolgoznak, miközben a száradást elősegítik.
- *Vibrációs juhlábhenger*, amely 5-25 t-ás kombinált működésű henger. Vibrálva az iszapos homok és kavicsos homok, vibráció nélkül a kötött talajok tömörítésére alkalmas.

- *Sima acélpalástú hengerek* 8-14 t tömegűek. Önsúlyukkal tömörítenek, főként felületi hatásuk nagy, ezért simításra alkalmazható. A kis terítési vastagság miatt teljesítményük csak közepes.
- *Vibrólapokkal* általában kis felületeket, vagy szűk munkagödrökben célszerű tömöríteni a futóhomok jellegű talajokat. Tömegük 0,2-2,0 t fajlagos teljesítményük kicsi.

Nagyobb földmunkák esetén a tömörítő gépek kiválasztására próbatömörítést végeznek. A próbatömörítést elvégezve meghatározható a terítési vastagság és a szóba jövő víztartalomhoz tartozó járatszám. Figyelembe véve a tömörítő gépek gépóra költségét, ki lehet választani azt a tömörítő gépet és tömörítési eljárást, amellyel leggazdaságosabban lehet a tömörítést végrehajtani.

Télvégi burkolatkárok

Olvadási kár feltételei:

- elnedvesedésre hajlamos talaj (iszapos talaj),
- vékony kis teherbírású repedezett pályaszerkezet,
- nehéz forgalom az olvadási időszakban.

Fagyási kár feltételei:

- jéglenccsés fagyásra hajlamos talaj (homokliszt, iszap),
- mély és tartós fagybehatolás,
- kapilláris vízutánpótlás a talajvízből.

Olvadási kár

A talaj felső 60-70 cm-es rétege átfagy. A havat a padkára és az árokba tolják. Az átfagyott talaj felülről lefelé kezd felengedni. A felolvadt réteg alatt egy átfagyott vizet át nem eresztő réteg marad. A felolvadt talajrétegben megnövekszik a víztartalom. Az olvadt hó a hóval telítődött árokba nem tud befolyani, illetve onnan elfolyani. A víz a pályaszerkezet alá szivárog, amely a teherbírását elveszti

Károk megelőzése

- Legelső alaprétégként Homokos kavics réteget kell tervezni, amely kivezeti a pályaszerkezet alá beszivárgott vizet és a terhelést lecsökkentve adja át a földműnek;
- A földmű felső rétegét stabilizáljuk;
- A havat a padkáról (ha lehet az árokból is) eltávolítjuk;
- Víztelenítési hibák megszüntetése;
- Felborult pályaszerkezet cseréje;
- Kisebb károk esetén a tavaszi behajlasmérések alapján a pályaszerkezet megerősítése.

FÖLDMŰVEK TERVEZÉSE

Földművek részei

A földművek a műtárgyakkal együtt az utak alépítményéhez tartoznak.

Az útépítésben a földmű részükkel határolt tömörített talajtömeg, amely bevágásban vagy töltésben helyezkedik el.

A műtárgyak az alépítmény nem földből készült részei (támasztófalak, csőáteresztők, hidak stb.)

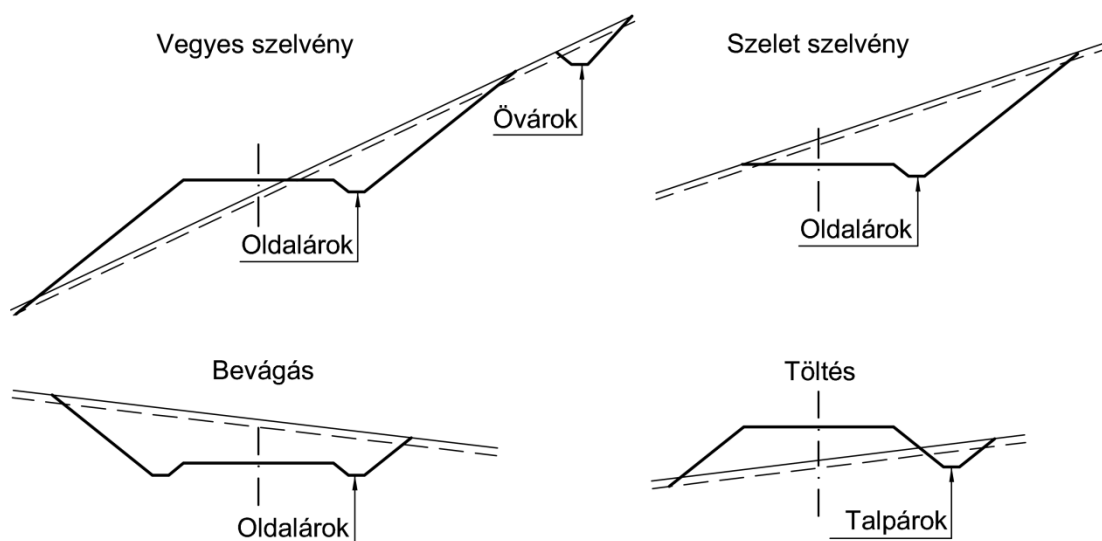
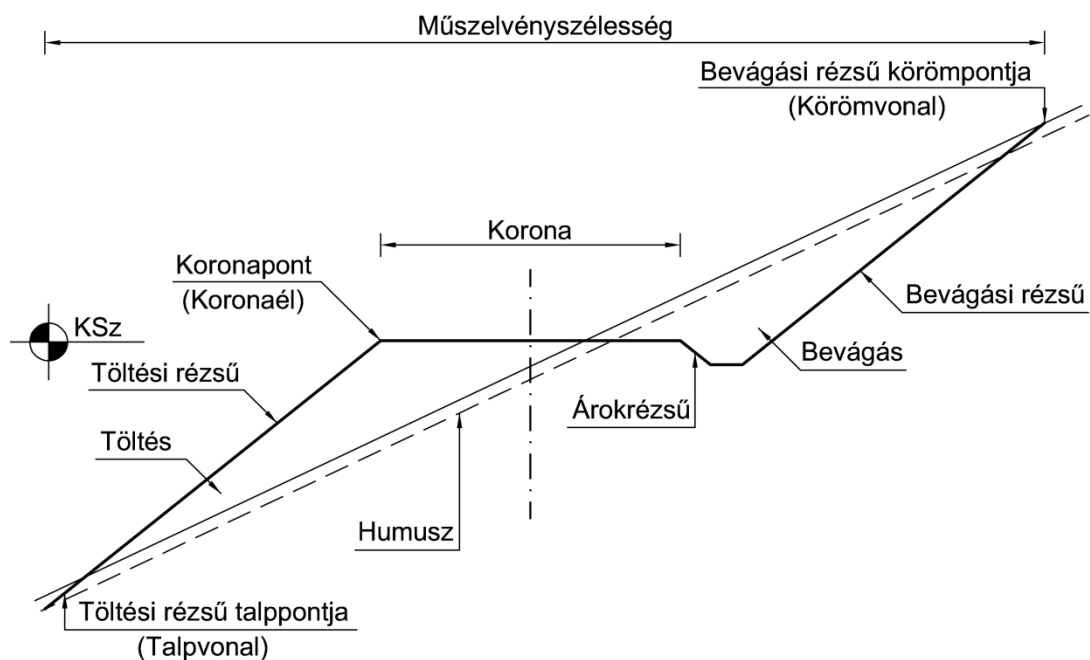
A földművek részei:

- a földmű koronája, amelyet a koronaszélesség jellemez;
- a földmű koronaszintje, a korona tengelyében mért szintmagasság;
- a földmű részüi, amelyek lehetnek töltési részük, bevágási részük és árok részük;
- a töltési részük talppontja, illetve talpvonala;
- a bevágási részük 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 talaj-nak, vagy nőtt földnek nevezzük.



A 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 fagnak 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 ($w \approx w_{opt}$);
- Kapilláris vízelelés: rövid idő alatt magasra emelik a vizet;
- Plasztikus indexük (I_p) kicsi, könnyen eléri a folyási határt \Rightarrow gyors teherbírás-csökkenés;
- Gondos víztelenítést kívánnak;
- Fagyveszélyesek;
- Erózióveszélyesek (pl. lösz).

Kötött talajok

- Tömörítésük nehéz (nehezen morzsolható szét, nedvesen ragad)
- Vízrel szemben ellenállóak
- 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 utak töltéseinek rézsűhajlását akkor határozhatjuk meg táblázatból ha:

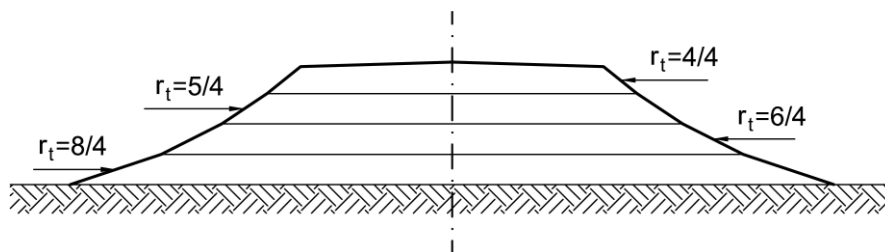
- a töltés alatti altalaj teherbíró,
- a töltésbe épített anyag jó minőségű és közel azonos tulajdonságú,
- a töltést előírás szerint tömörítik.

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:

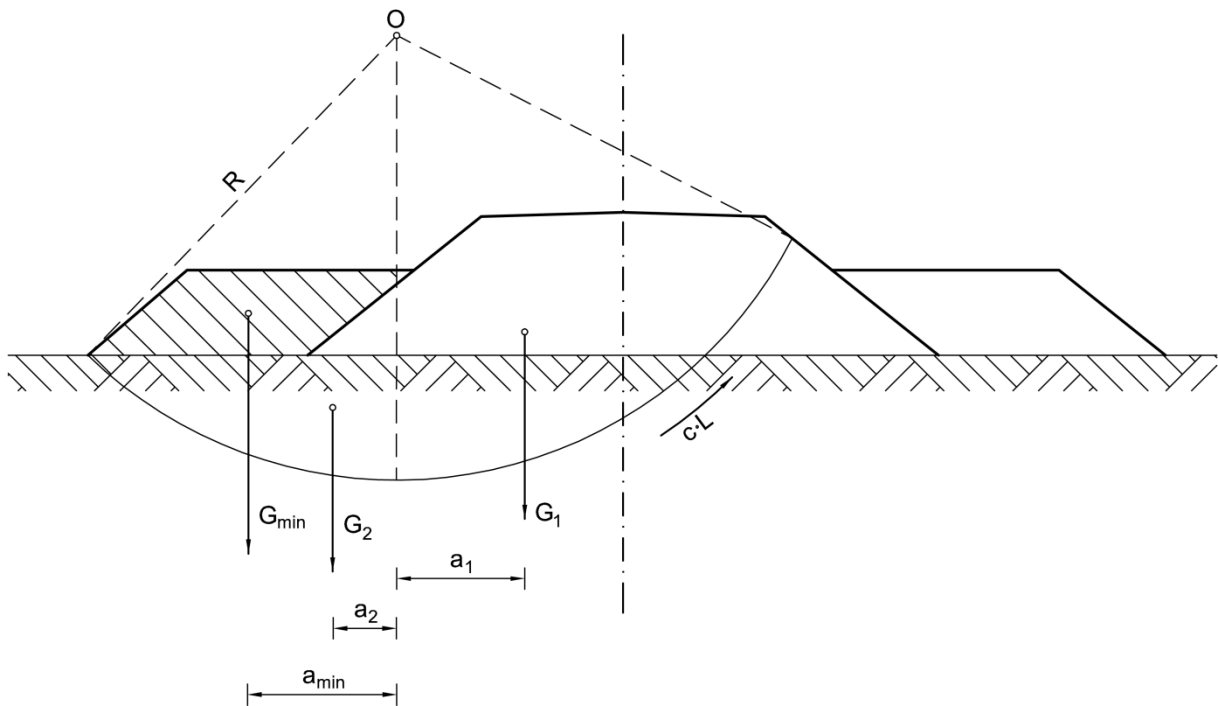
- c = a kohézió [kN/m] (egy méterre vonatkoztatva)
- L = a csúszólap hossza [m]
- R = a csúszólap sugara [m]
- G = súlyerő [kN]

- a = erőkar [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, amely a töltés tengelyétől kifelé mutat:

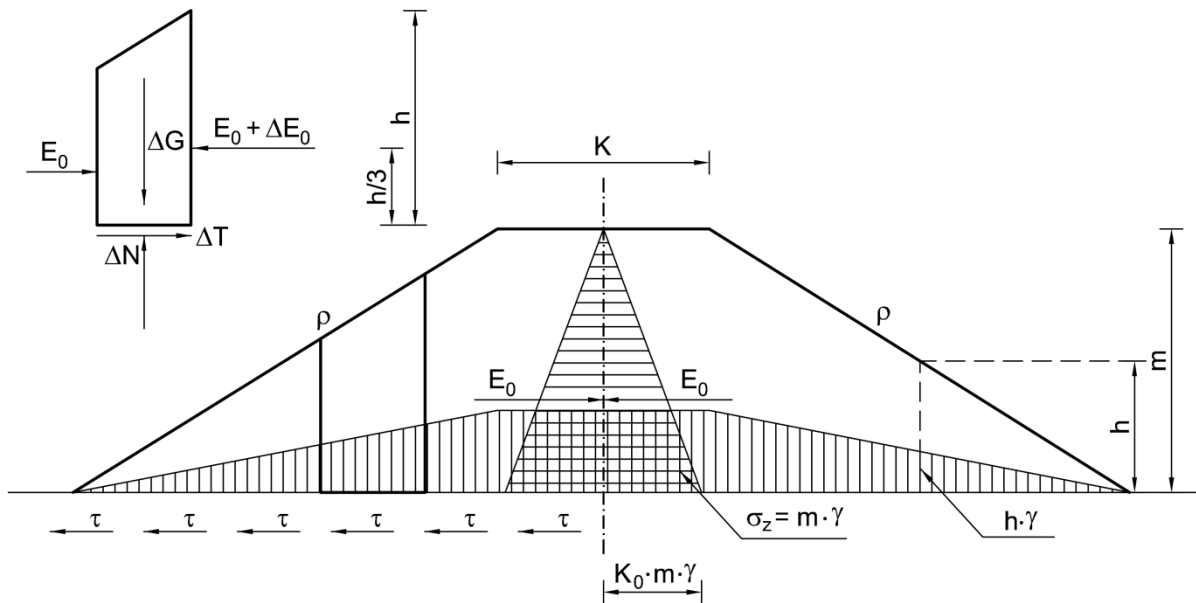
$$\tau = \frac{3 \cdot E_0}{k + 2 \cdot \rho \cdot m}$$

ahol:

- k = korona [m]
- E_0 = fellépő nyugalmi földnyomás [kN]

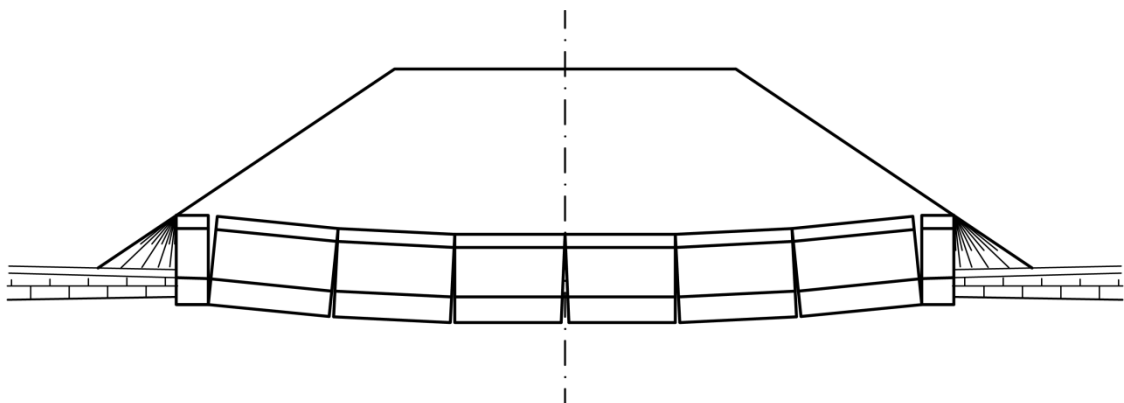
$$E_0 = K_0 \cdot m^2 \cdot \frac{\gamma}{2}$$

- ρ = rézsűhajlás
- m = töltés magassága [m]
- γ = térfogatsúly [kN/m³/m] (egy méterre vonatkoztatva)
- G = súlyerő [kN]
- K_0 = a 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.

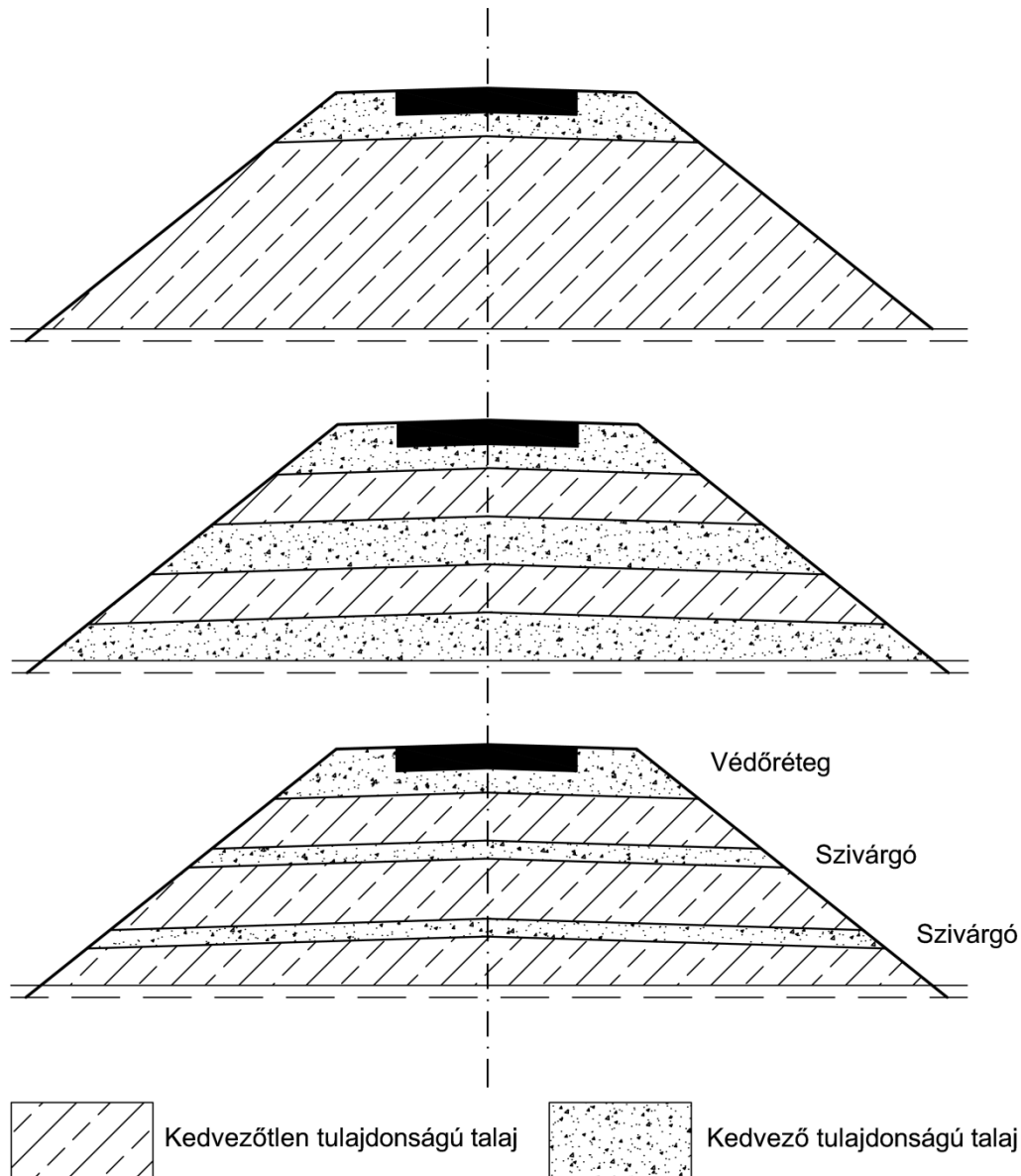


Töltések alá épített csőáteresztő szétnyílása

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 keresztmetszése

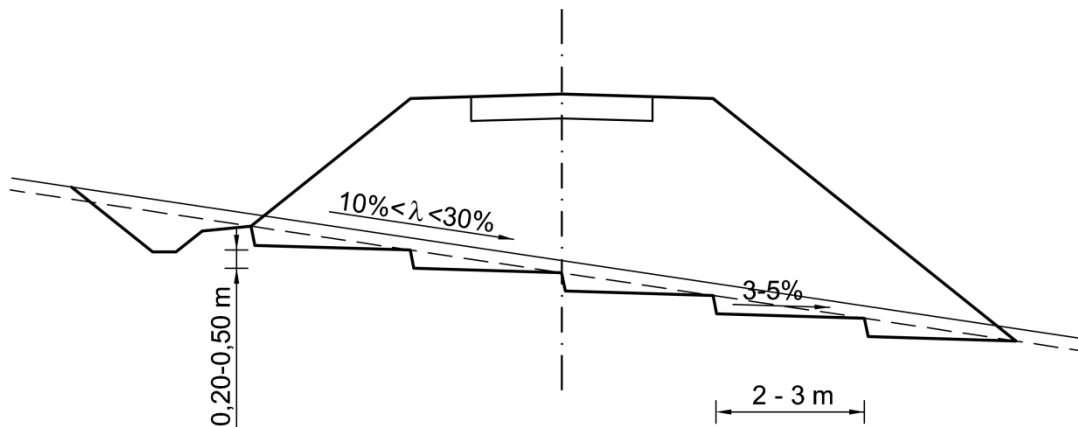
határozza meg.

Töltések alapozása teherbíró talajon

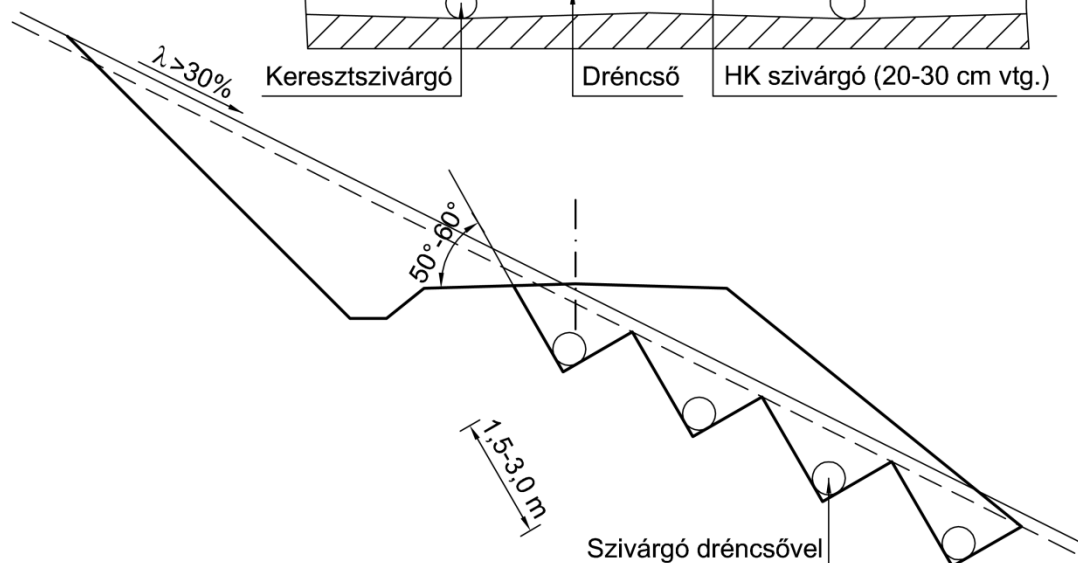
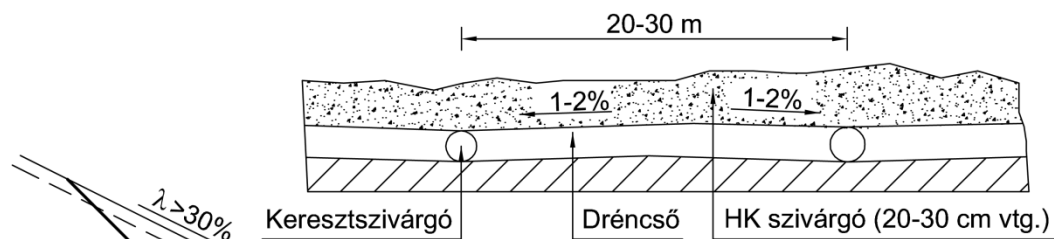
Teherbíró talajon a töltésalapozás módját elsősorban a terep keresztmetszése alapján lehet eldönteni. Közel vízszintes terepen, ha a humuszlefejtés után nagyon sima felület alakult ki a felszín célszerű talajszaggatóval, vagy más módon érdesíteni. Ezzel kialakul az altalaj és a töltés megfelelő kapcsolata, egyben ellensúlyozzuk a töltés alján fellépő vízszintes erőket is. A meredekebb keresztmetszésű terepen a felszín 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

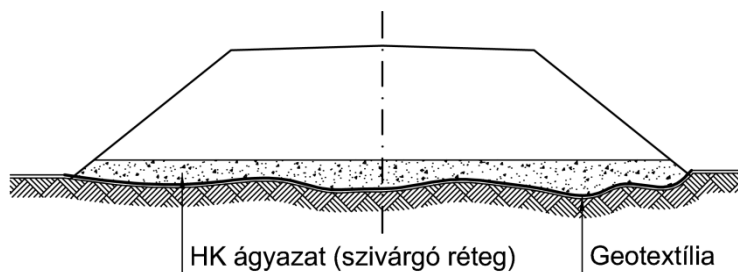
Általában megfelelő biztonságot nyújtanak az alábbi helyettesítő megoldások:

- 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 szövessel 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:

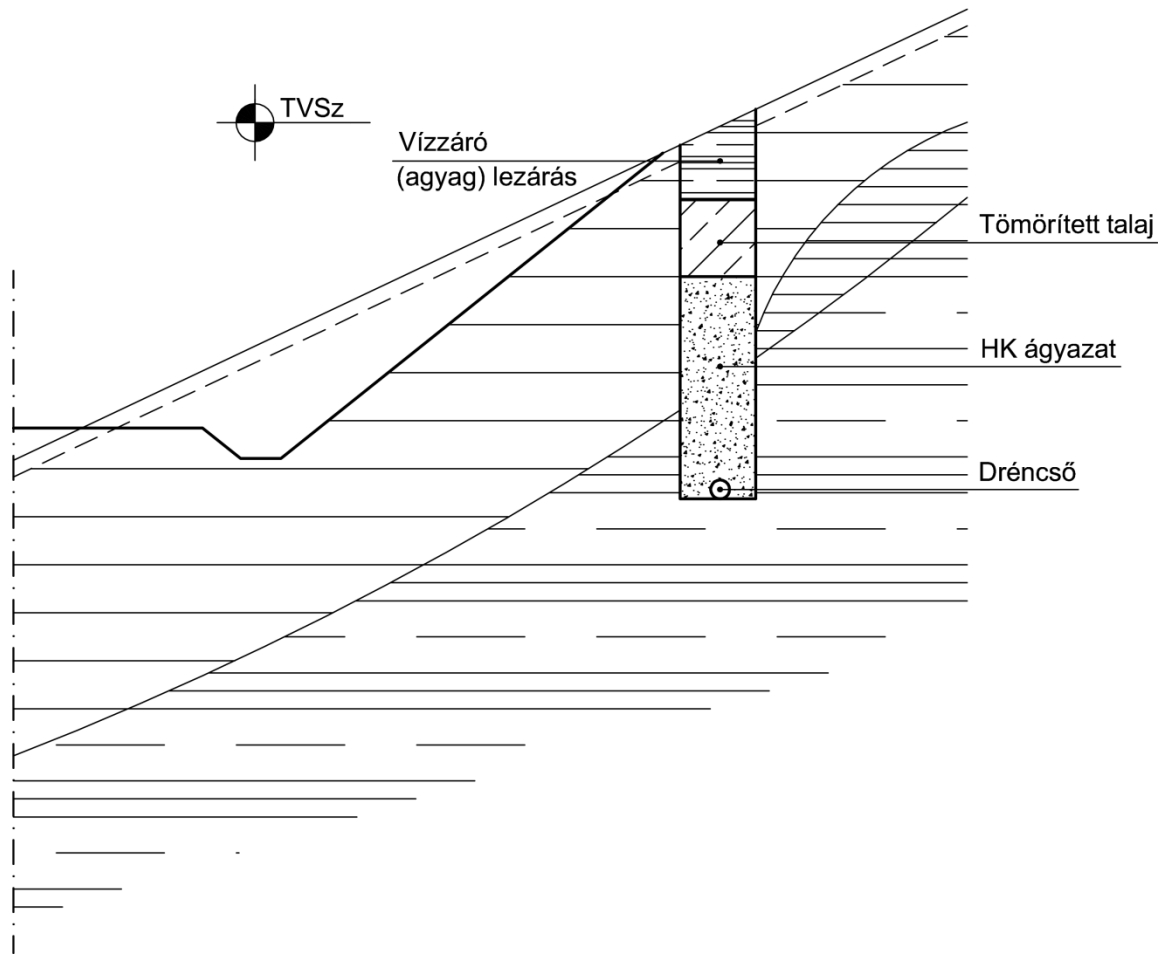
- Fák, cserjék eltávolítása, hogy ne maradjon rajta olyan növényi rész, amely a textíliát átlyukaszthatja;
- Geotextília kiterítése: a földmű alsó szélességét mindkét oldalon min. 0,50 m-rel meghaladó szélességben, a hossz- és keresztirányú toldásoknál 0,20 m átfedéssel.
- Geotextília ragasztása vagy 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% hosszésű dréncsővekkel 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, vagy a vonalvezetést módosítani és a csúszásra hajlamos területet elkerülni.



Rétegvíz felfogása szivárgóval

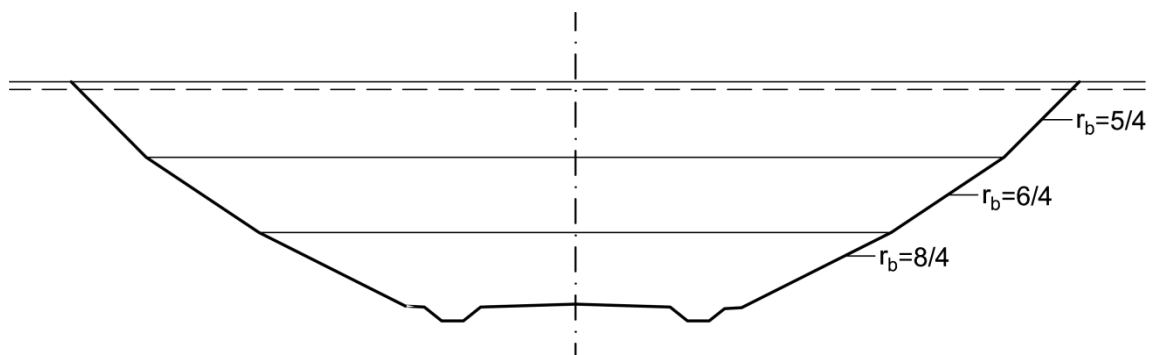
Bevágások tervezésének szempontjai

Bevágások tervezésekor a helyi talajjal, mint adottsággal kell számolni. Tervezéskor a talaj fejthetőségét (fejtési osztályát), valamint az állékony rézsúhajlásokat kell meghatározni. A talajok fejthetési osztályát és a rézsú hajlását a rézsúmagasság függvényében táblázatból választjuk ki.

Meredekobb rézsúket választva, vagy különleges rétegződésben, illetve a talajvíz várható kedvezőtlen járulékos hatásakor a biztonságot állékonysági vizsgálattal kell igazolni.

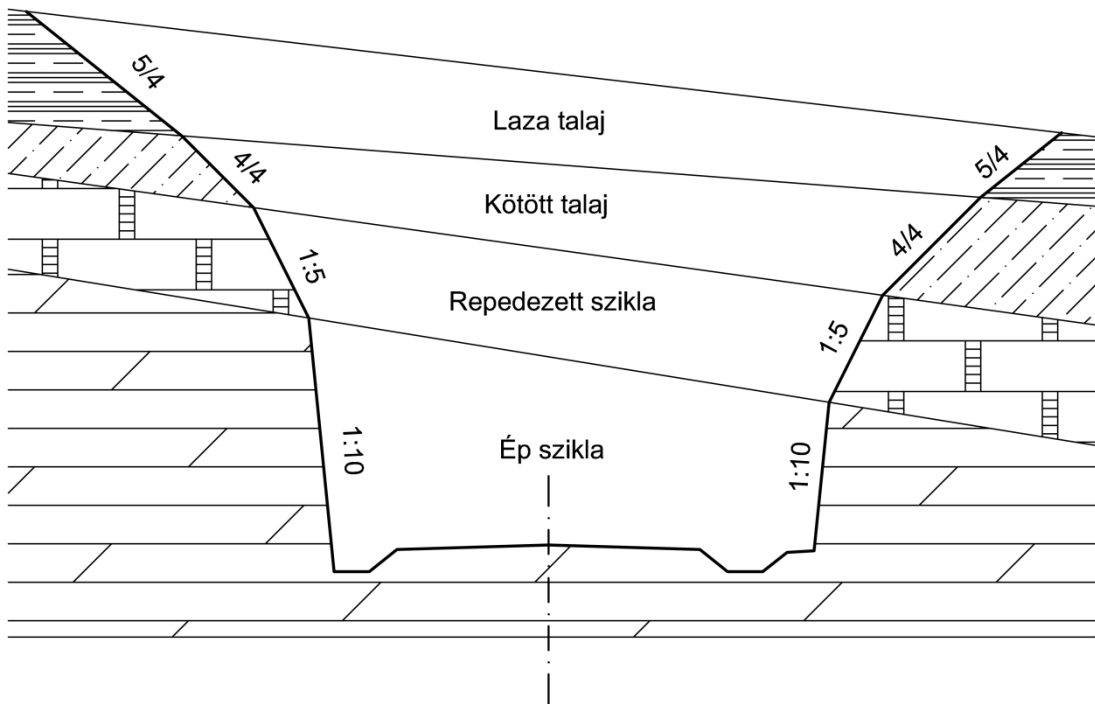
Mély bevágás kialakítása

Közel egyenletes állékonyságú talajban kialakított mély bevágások magas rézsúit is célszerű – a töltési rézsúkhöz hasonlóan – összetett rézsúvel ún. csésze szelvénnel megtervezni.



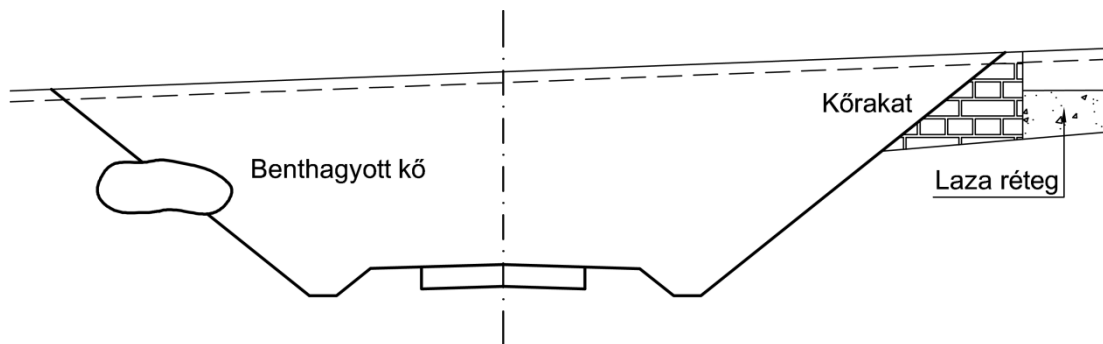
Bevágás kialakítása rétegzett talajban

Különböző állékonyságú rétegződésben célszerű a rézsű hajlását változtatni. Összefüggő sziklában 1/5-ös hajlásnál meredekebb – 1/10–1/20 hajlású – rézsű is kialakítható, vagy a bevágás függőleges fallal is határolható. Ilyen meredek rézsűk 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 rézsű között kialakított vendégpadka megóvja 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.



Bevágási rézsűk kialakítása különböző állékonyságú rétegekben

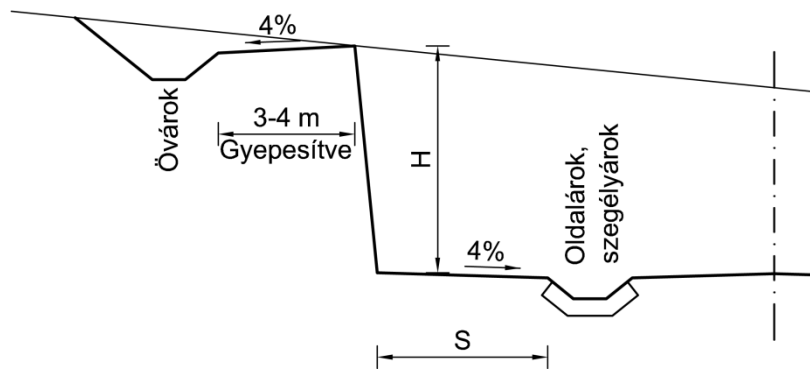
Az állékonyabb rétegek közé beékelődött laza réteget kőrakattal biztosítani kell



Laza réteg biztosítása

Löszben nyitott bevágás

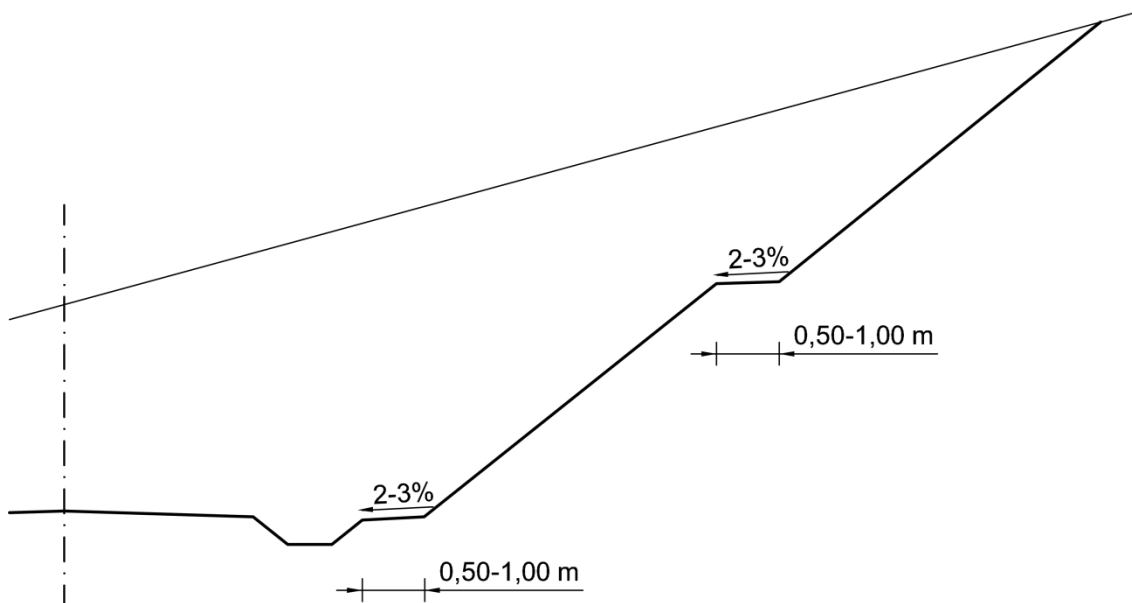
Az erózióra veszélyes, függőleges rétegek mentén elváló löszben a függőlegeshez közelítő rézsút kell kialakítani, amit övárokkal védünk a felszíni vizek erodáló hatásától. A lepergő talajt a rézsú talpvonala és az árok között kialakított vendépadka fogja fel, amivel megóvható az árok a feltöltődéstől.



Löszben kialakított bevágás

Magas bevágási rézsút lépcsős kialakítása

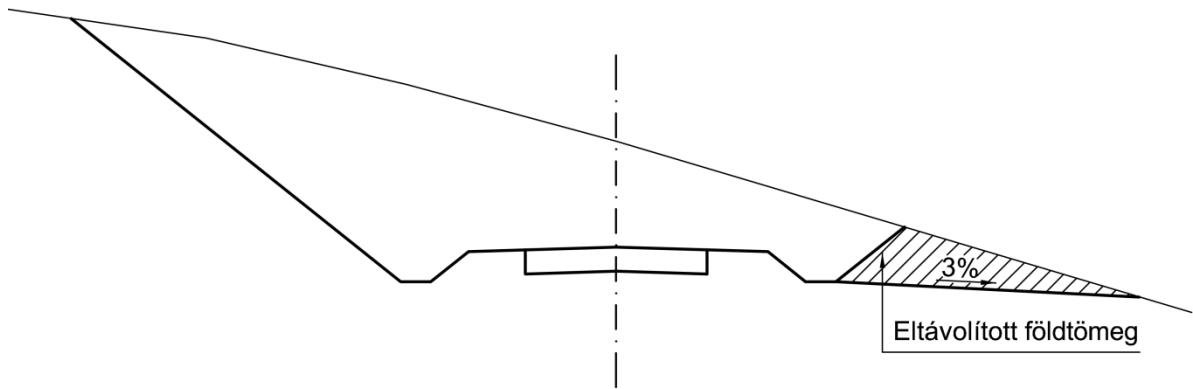
A magas bevágások rézsút lépcsőzik. Ezek felfogják a rézsú felületéről leváló rögöket és az árok feltöltődésének lehetőségét csökkentik.



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 előidézheti 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:

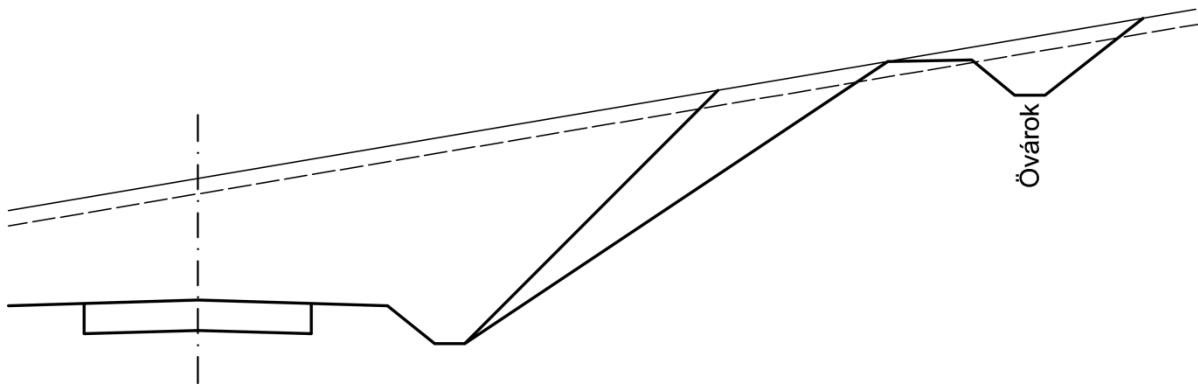
- hámlás,
- kagylósodás,
- rézsűszakadás,
- töltésrozkadás,
- mállás,
- szétcsúszás.

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.



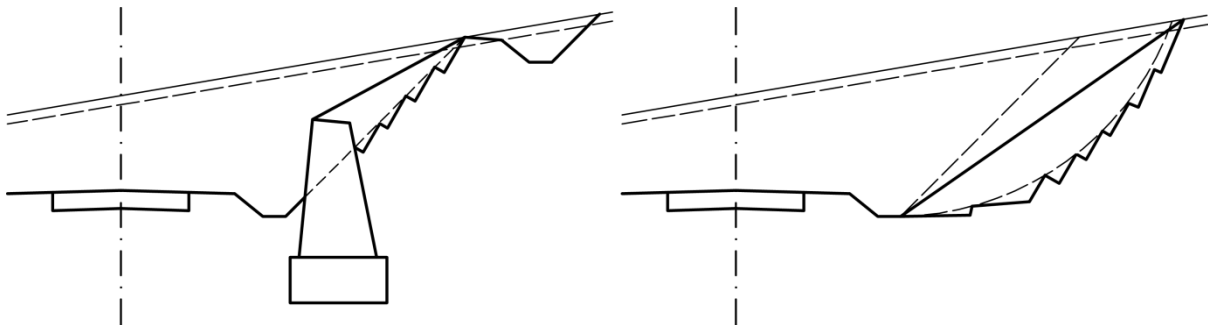
Bevágási rézsű hajlásának csökkentése

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.

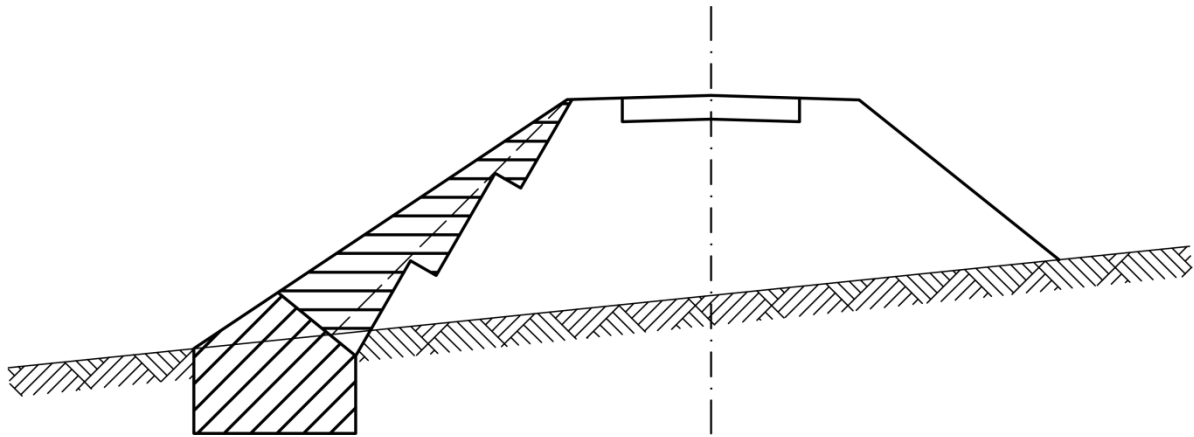


Bevágási rézsű csúszásának helyreállítása

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.

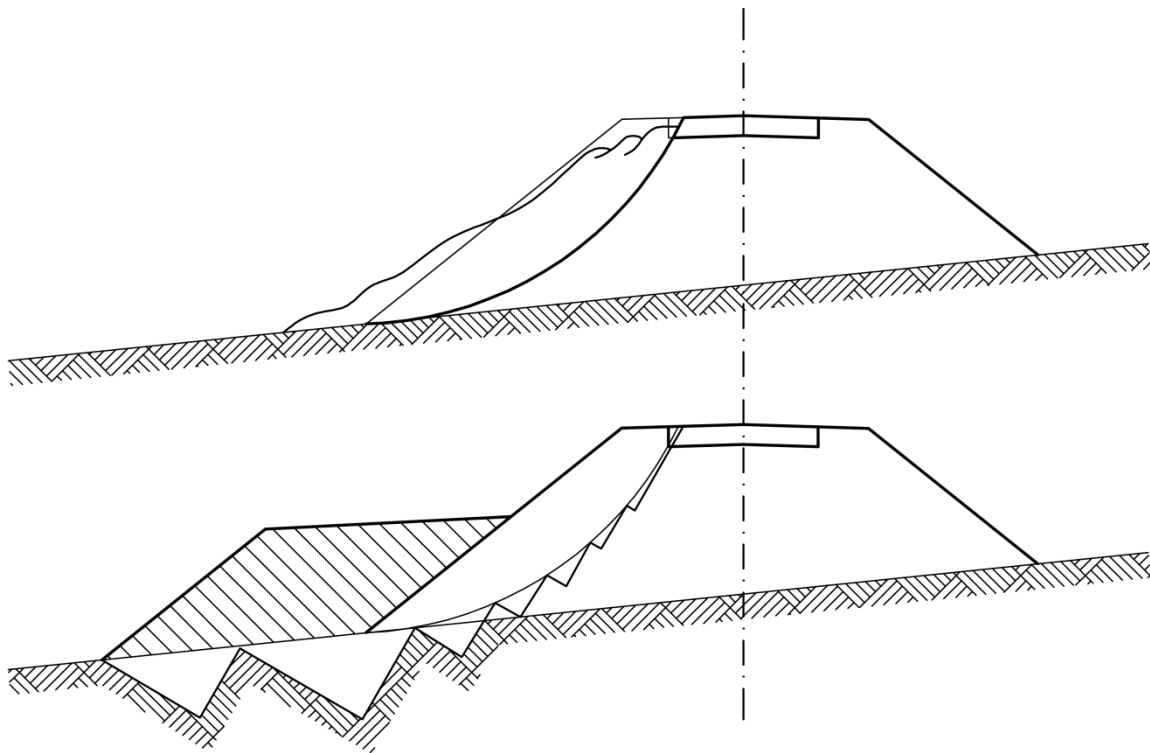


Töltés hámlásának és kagylósodásának helyreállítása

Töltési rézsűk szakadása

Rézsűszakadáskor a töltés jelentős része talpponti csúszólap mentén mozdul el. Oka a tömörítetlenség, majd átázás.

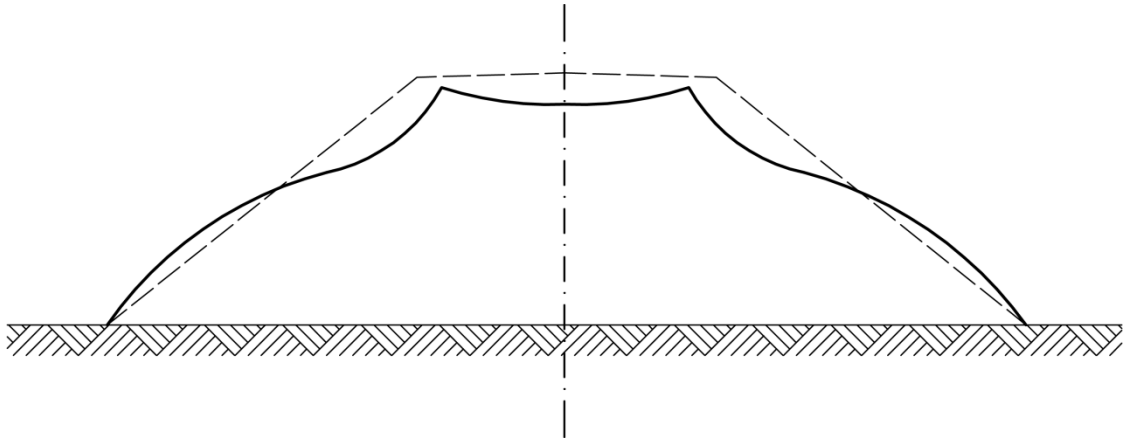
A lecsúszott földtömeg eltávolítása után a töltés megmaradt részét lépcsőzni vagy fogazni kell, majd az új töltést gondosan tömörítve kell megépíteni. Az állékonyságot fióktöltéssel fokozhatjuk.



Töltési rézsűszakadás helyreállítása

Töltések mállása

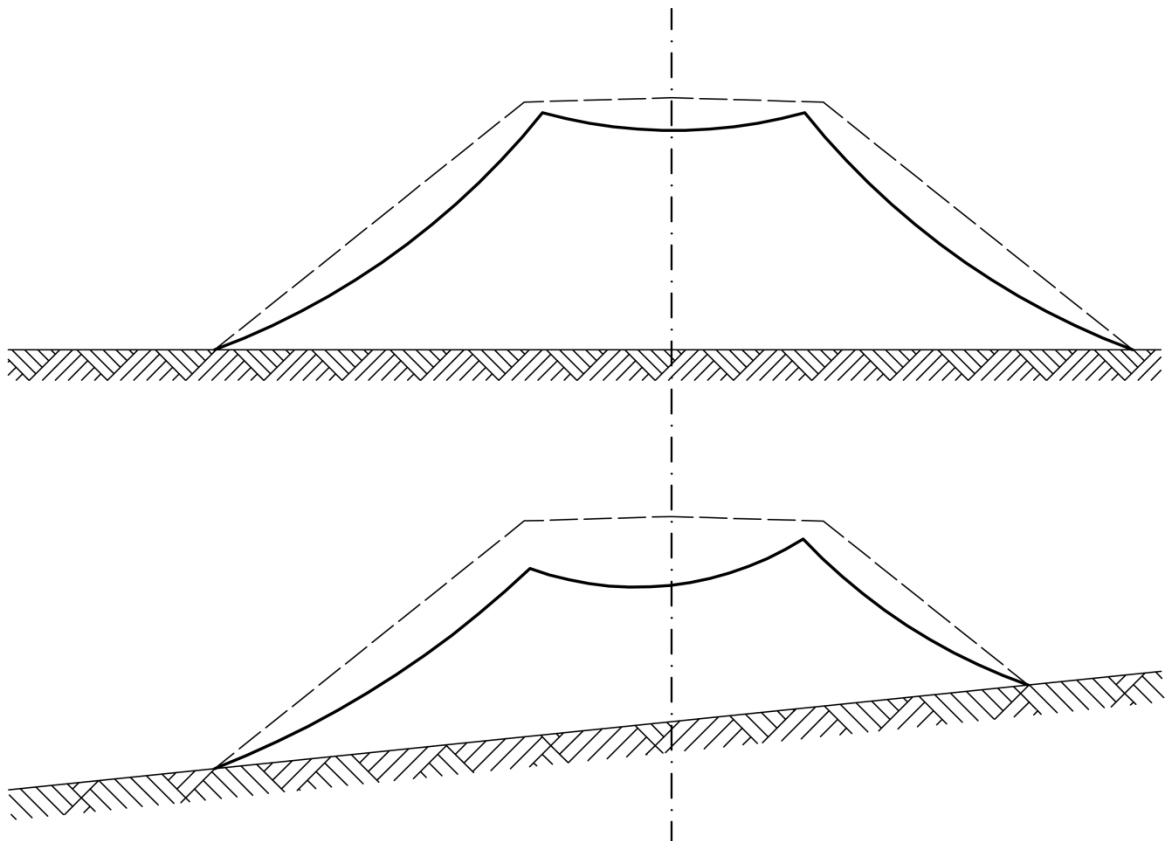
Töltések mállásának kialakulásában is jelentős szerepet játszik a tömörítetlenség. A tömörítetlen töltésbe építés közben beszivárgó jelentős mennyiségű víz hatására a kötött talajból épülő töltések anyaga felpuhul és önsúlya hatására deformálódik. Javítani csak teljes talajcserével lehet, mert a kötött talajból épített töltés anyagát gravitációs úton nem lehet vízteleníteni.



Töltések mállása

Töltések roskadása

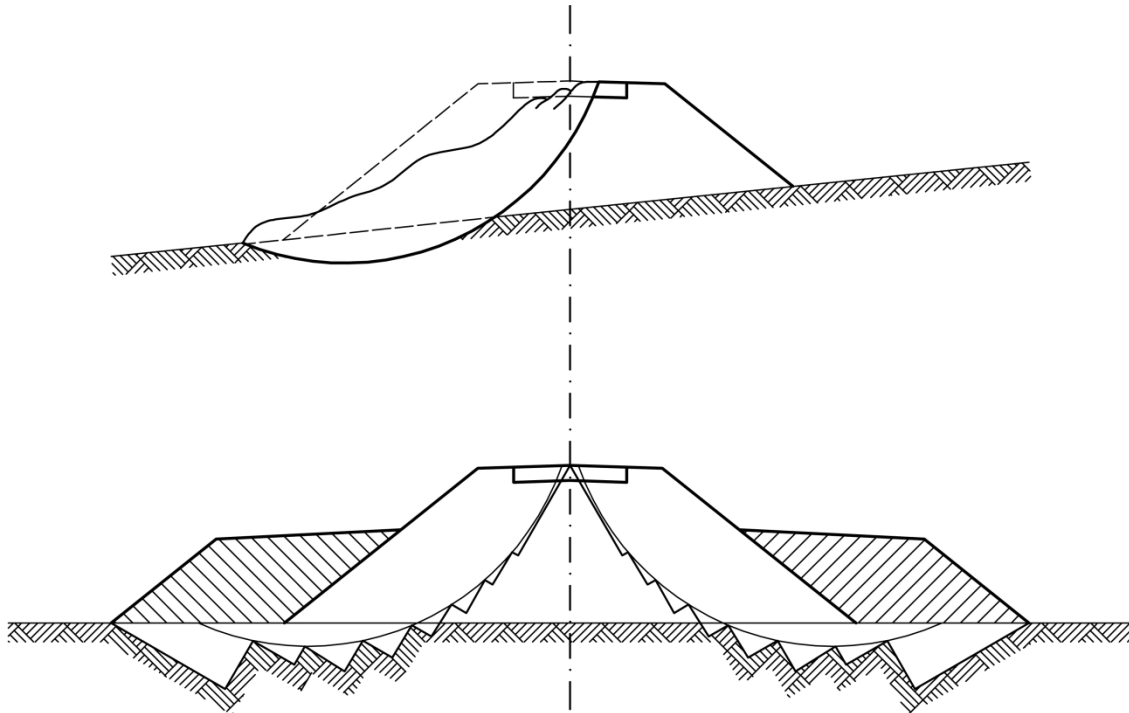
Töltésrozkadásnál a töltés keresztmetszete torzul, amit előidézhethet a hiányos tömörítés, vagy az el nem távolított humuszréteg. A jelenség építés után már néhány hónappal, maximum egy évvel később kialakul. A folyamat nem állítható meg, mert az utólagos tömörítés a töltés mélyebb rétegeiben hatástalan. 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

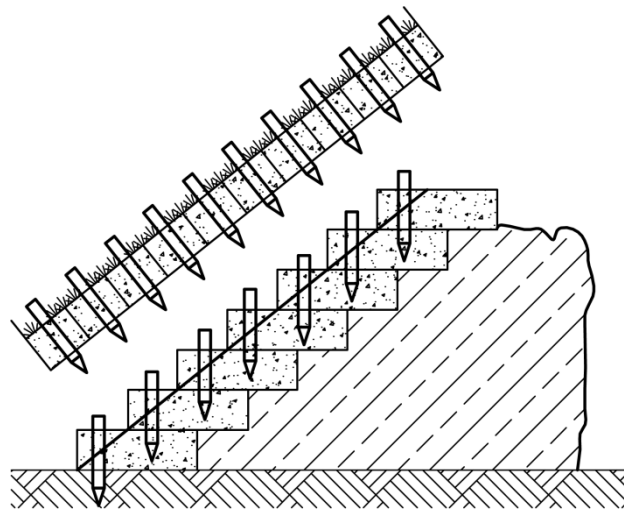
Az idő múlásával megváltozott – általában megnövekedett – mechanikai igénybevételek, és az éghajlati tényezők együttes hatására a földművek romlása megindulhat. Ezek a rongálódások a rézsűkből indulnak ki, tehát a hangsúlyt a rézsű védelmére kell helyezni. A tájba harmonikusan illeszkedő, természetes anyagokat célszerű felhasználni, de a nehezen kezelhető területeken jól beválnak a különböző kialakítású műanyaghálók is.

Rézsűvédelem gyepesítéssel

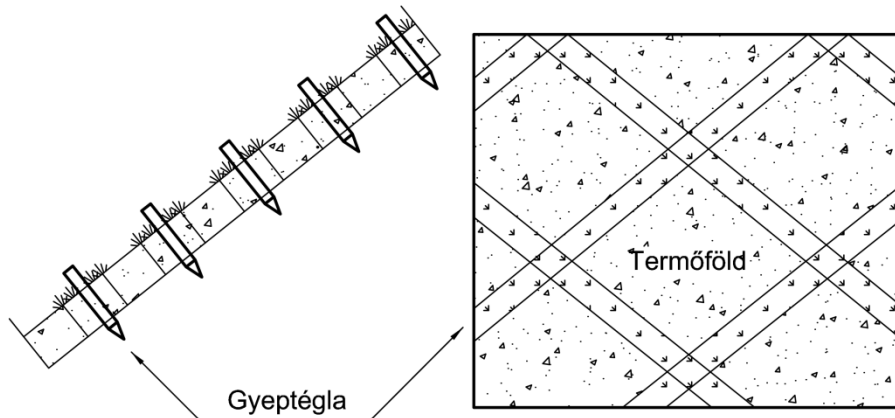
A gyepesítés a rézsűvédelem egyik legegyszerűbb módja. A rézsű felületére 15–20 cm humuszos talajt kell elteríteni, majd ebbe kézzel a fűmagot elvetni. Nyers rézsűfelületet vízugaras gyepesítéssel vethetünk be. A fűmagot, tápanyagot és valamilyen vízben oldódó ragasztóanyagot (Hydrosa Veridol, BIOSOL+HUMOFINA 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.



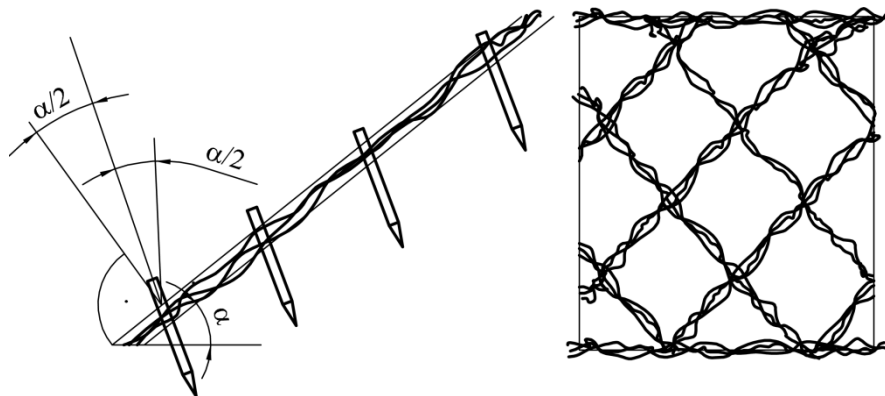
Gyeptéglák elhelyezése



Gyeptégla 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

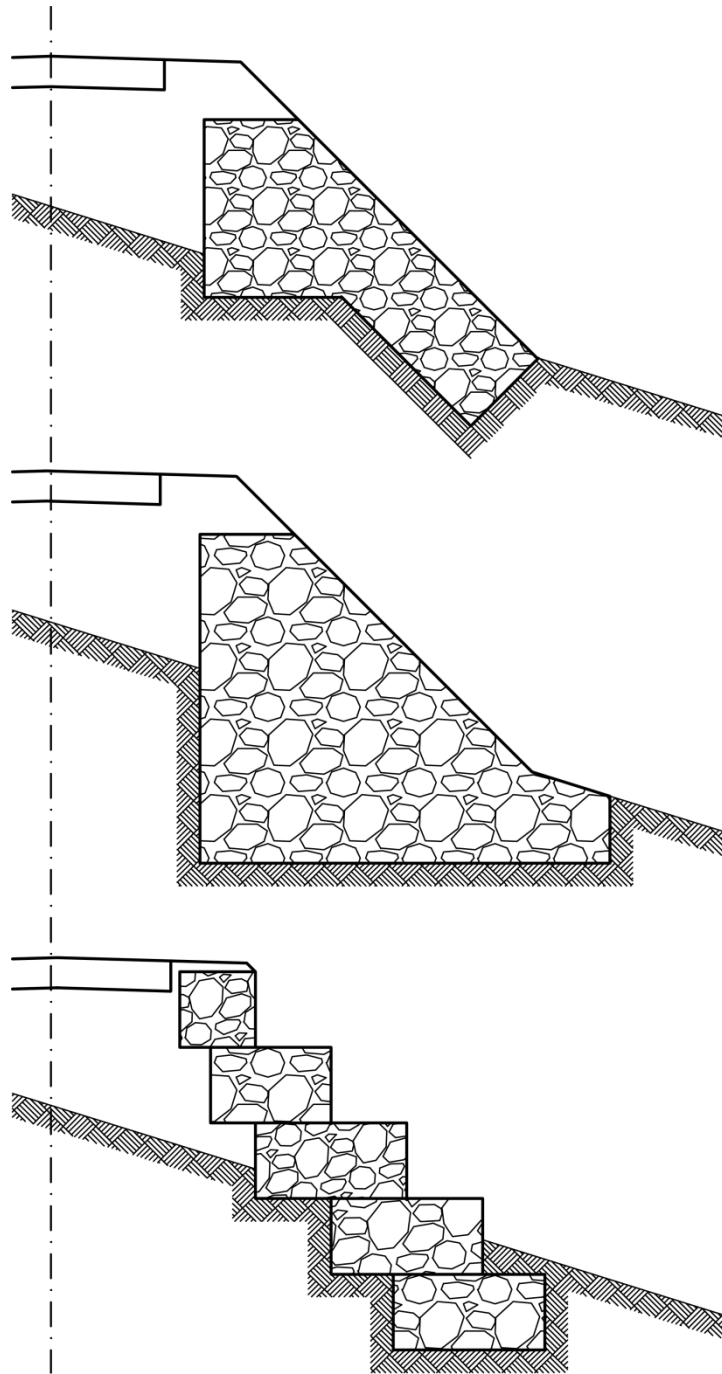
A nyers rézsű felületének védelmére használhatók a természetes alapanyagokból készített gyakorlatilag teljes egészében lebomló textíliák, amelyek anyaga kókusz, szalma, juta illetve ezek kombinációja. Szerkezetük szerint ezek rostmatracok, vagy szőtt hálók, textíliák. A rostmatracok megerősíthetők vékony 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 összehajtogatott 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.

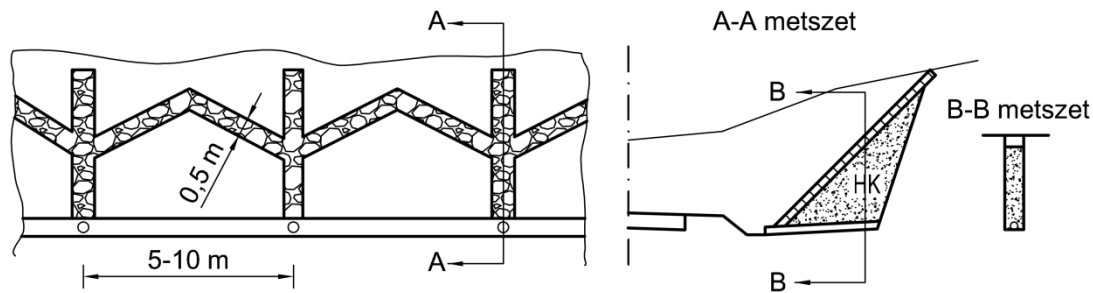
A falazatok mögött felgyűlő víz elvezetéséről gondoskodni kell a víznyomásból kialakuló többletterhelés csökkentése érdekében.



Kőfal, kőrész 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.



FÖLDMŰVEK ÉPÍTÉSE

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)
 - Földgyluk (gréderek)
 - Kotrós földmunka
- Földművek tömörítése
 - Tömörítőgépek munkája és az eszközök kiválasztása
 - Utak földműveire vonatkozó tömörségi előírások

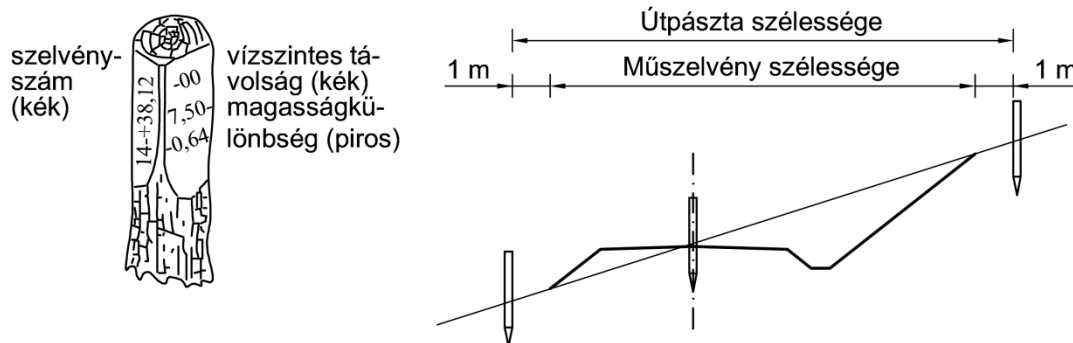
Tengelypontok helyreállítása kibiztosítása

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

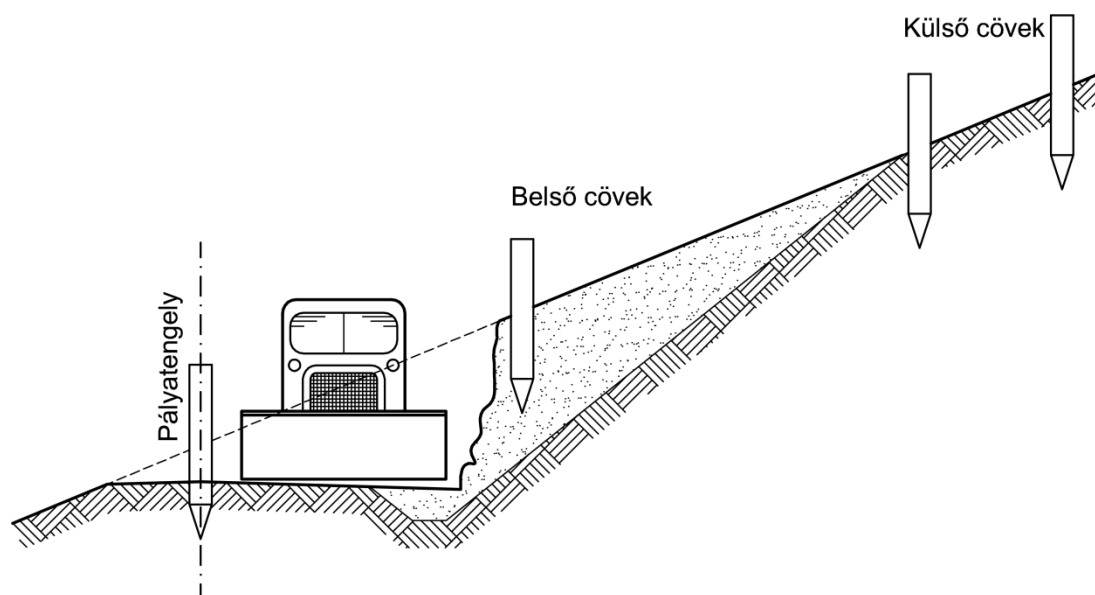
A tengelypontot jobbról, balról 1–1 karóval biztosítjuk ki, amelyek a ponttól a tengelyre merőlegesen mérve 10–15 m távolságra vannak, de mindenképpen műszelvényel nem érintett területen.



Tengelypontok kibiztosítása két oldalról

Tengelypontok kibiztosítása egy oldalon

A két cöveket a hegy felőli oldalon helyezük 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

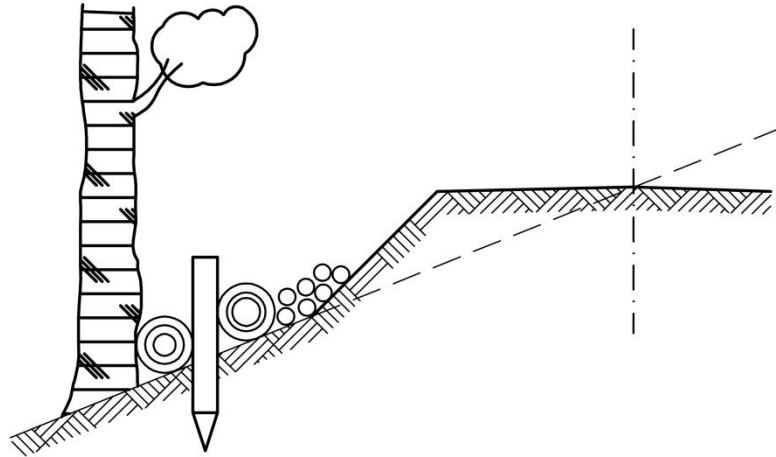
Kibiztosítás kísérő sokszögvonallal

A hagyományos kibiztosítás elmaradhat, ha a tervezés EOVB-ben történt és így ismerjük a tengelypontok koordinátáit. Ekkor kitűzhető egy olyan kísérő sokszög vonal, amelynek pontjai építés közben nem semmisülnek meg. A kísérő sokszög vonal pontjaiból mérő-állomással a tengely pontjai bármikor egyszerűen visszaállíthatók.

Útpászta faállományának kitermelése

A kitermelendő állomány határát a keresztmetszvények munkarészéből 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.

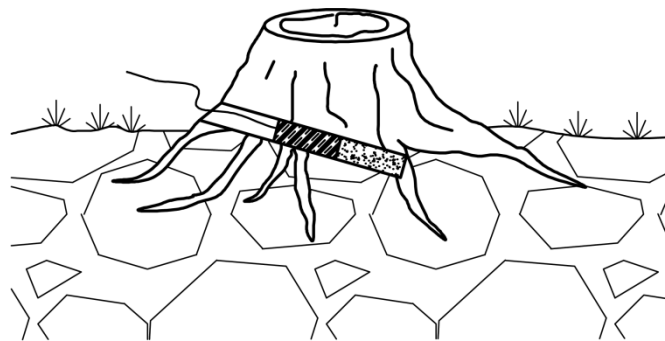
Bevágási rézsűk fölött az erősen megbontott gyökerű, balesetveszélyes fákat el kell távolítani. Meredek hegyoldalon a pászta völgy felőli oldalán álló értékes faállományt az útépités közben legördülő kövek ellen védeni kell. Védelemre használható a területen található ágfa, a tűzifa méretű vágástéri hulladék, amit karókkal, cövekekkel kell rögzíteni a védendő fák tövénél.



Fák védelme a legördülő talajtól, sziklától

Tuskózás

Fakitermelés után a pásztaból 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 útépités végén a nyers felületek humuszosására.

A 400m²-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 anyagárok 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 dömperek 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 felületén. A tömörítetlen 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. Munkaárok 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 rézsű hajlásának csökkentésével. Az így kialakított rézsűn 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

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 mozgatót.

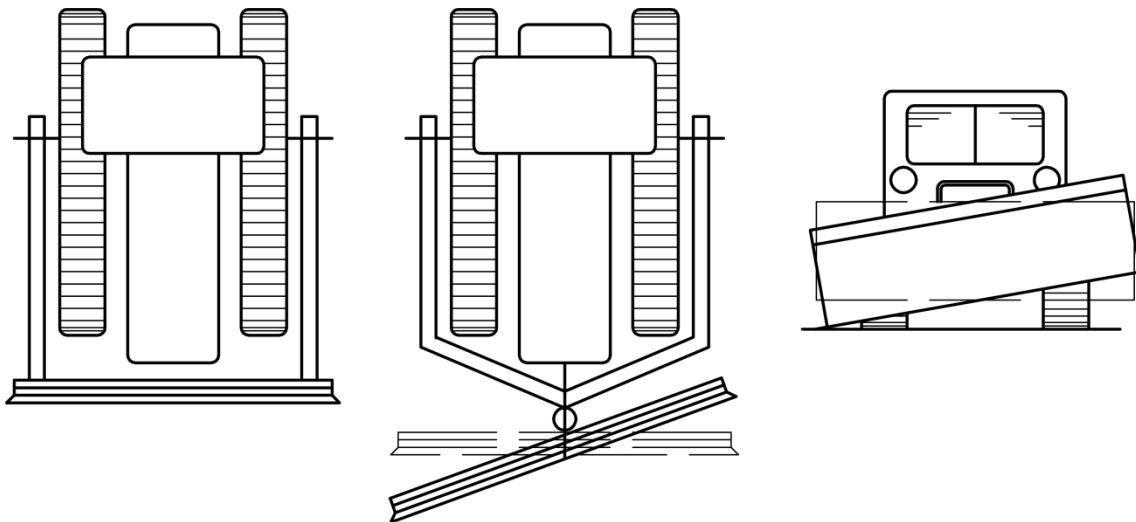
A hidraulikus vezérlésű dózer használata az elterjedt és előnyös, mert

- 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.

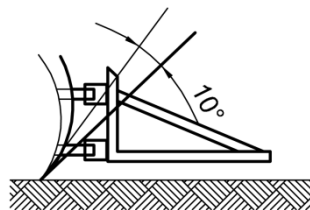
A tolólap keresztirányú mozgatása szerint a földtológépek három típusát különítjük el, amelyek a következők:

- buldózer: a tolólap mindig a gép hossz tengelyére merőlegesen áll,
- angledózer: a tolólap keresztirányban elfordítható,
- tilt dózer: a tolólap a földmű oldalesésének megfelelően állítható be.



Tolólap állítási lehetőségei különböző típusú földtológépeknél

Hazánkban a bulldózer és az angledózer használata terjedt el. A lap harmadik mozgási lehetősége a vágásszög beállítását teszi lehetővé, a talaj kötöttségének megfelelően.



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 felszíné 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:

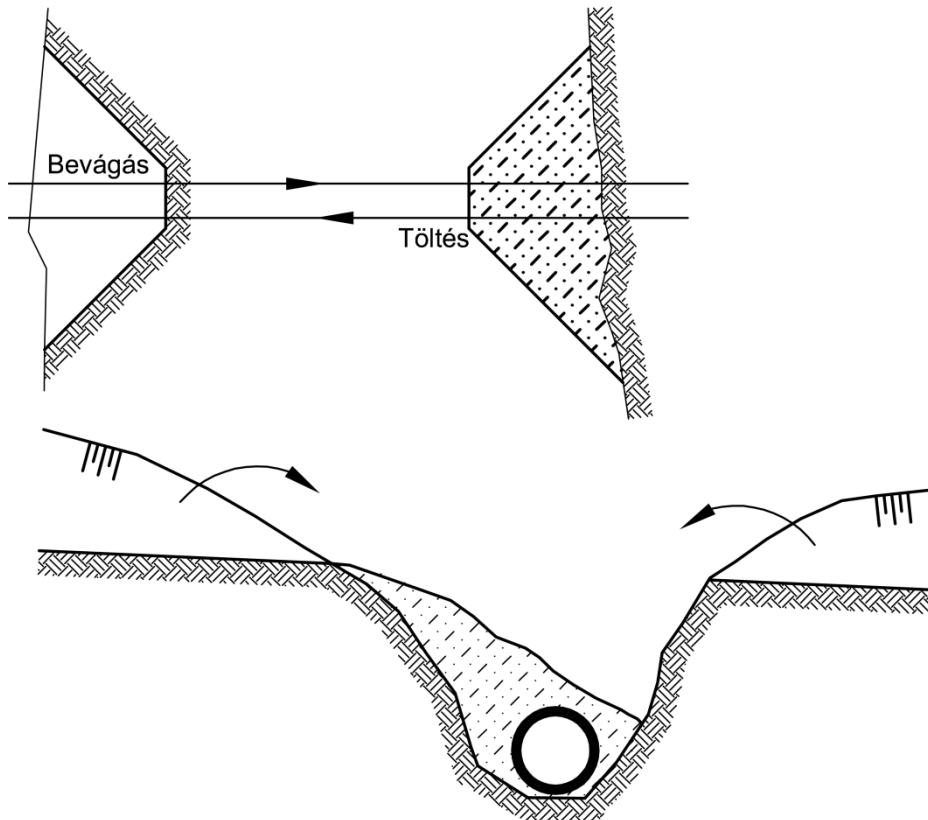
- a talaj fejtési osztályától;
- az emelkedőtől, ezért célszerű lejtő irányába dolgozni;
- a gépkezelő rátermettségétől, gyakorlatától;
- az időjárási viszonyoktól;
- a szállítási távolságtól.

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.

A dózerek általában háromféle munkamódszer szerint dolgoznak.

Ingamozgás

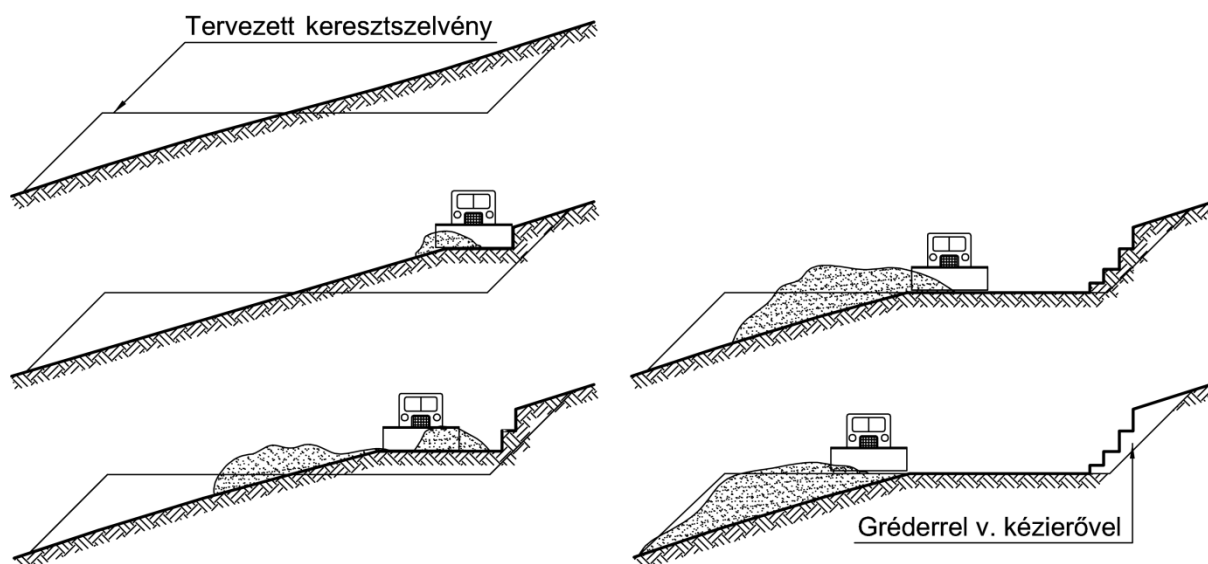
A dózer ingamozgást végez, ugyanazon a pályán halad előre és hátra, az úttengellyel párhuzamosan, így a bevágásból kitermelt talajt a töltésbe tolja. Ez a módszer a teljes bevágást követő teljes töltések építésére alkalmas, amikor pl. mélyebb mellékvölgyet kell betölteni egy teljes bevágás talajának 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

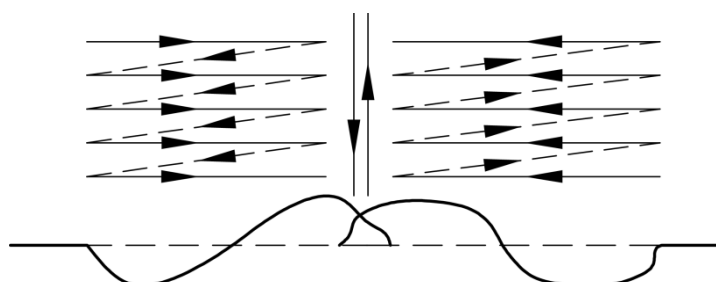
A domboldalban, vegyesszelvényben kialakított keresztmetszvények építésekor a bulldózer a bevágási oldalon a tengellyel közel párhuzamosan halad, majd a töltés felé kifordul, és a tolt talajt a töltésbe elteríti. A földmű építését a bevágás körömpontjától kell kezdeni és több menetben kell a végső szelvényt 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

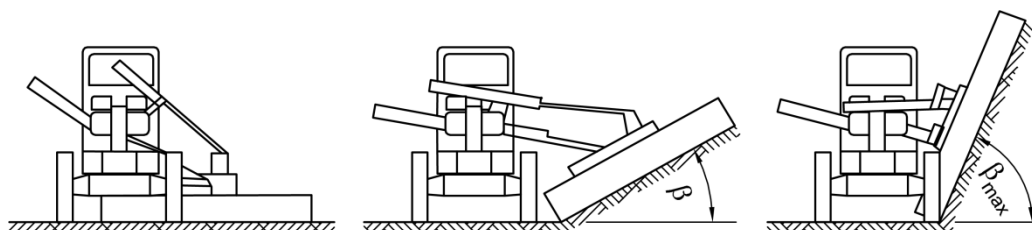


Síkvidéki utak kiemelése anyagárból nyert talajból

Földgyaluk vagy gréderek

A finom földmunka eszközei a földgyaluk, amelyeknél a kést a két tengely közé függesztik fel, így az egyenletlenséget arányosan csökkenti.

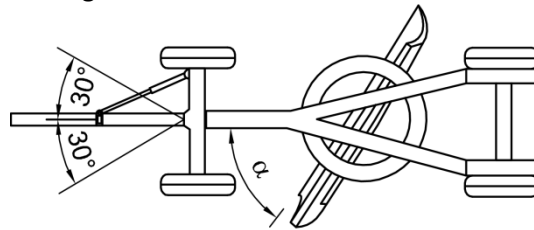
A földgyalu kése íves felületű, hossza 3–4 m, magassága 40–60 cm. Az egy menetben lefejtett talajréteg vastagsága (a fogás mélysége) 20–30 cm. A földgyalu kése keresztirányba mindkét oldalra elmozdítható és különböző tengelyek mentén elfordítható. Keresztirányba a gyalulemezt általában úgy ki lehet tolni annyira, hogy vele a keréknymon kívül eső felületek is megmunkálhatók.



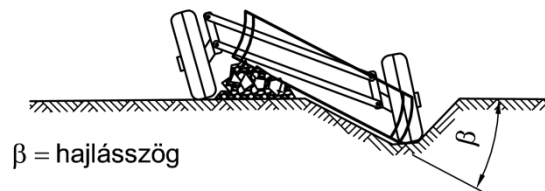
Földgyalu késének oldalirányú mozgása

A különféle tengelyek körüli elfordításokkal a kés helyzetének jellemzésére használt három szöget lehet beállítani a talaj típusának és a végzett munkának megfelelően:

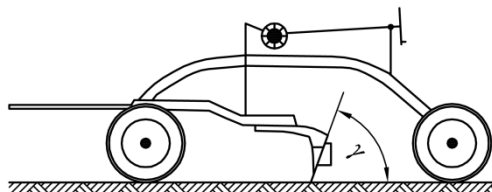
- a fogásszög vagy oldalszög (α) a kés vízszintes vetülete és a gréder hossz tengelye által bezárt szög,
- a hajlásszög vagy rézsűszög (β) a kés élének vízszintessel bezárt szöge,
- a vágószög vagy nyesőszög (γ) a kés függőleges metszetében az éltől húzott érintő és a vízszintes által bezárt szög.



α = fogásszög



β = hajlásszög



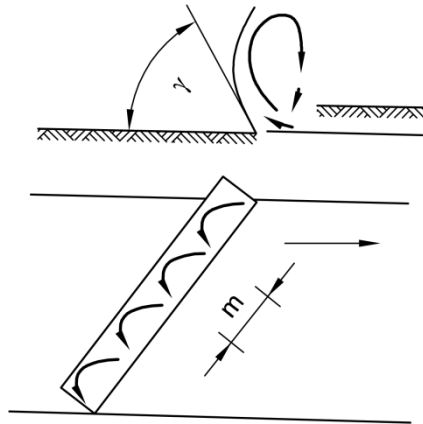
γ = nyeső szög

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.

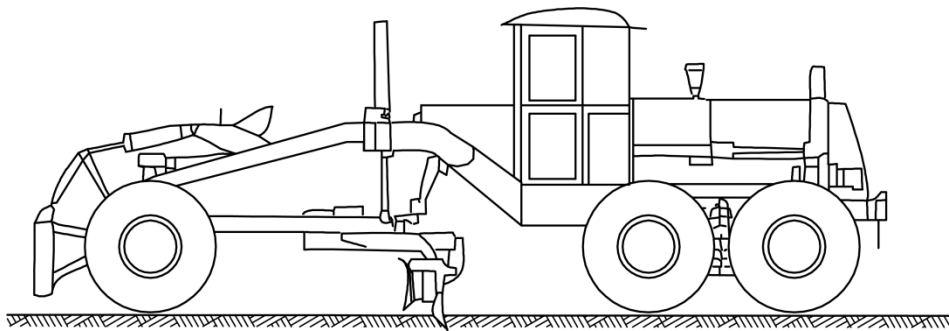
A földgyaluk talajszaggató adapterrel és tolólappal is felszerelhetők.



Talajszemcsék mozgása a földgyalu kése előtt

Önjáró földgyaluk

Az önjáró földgyaluk (más néven autó- vagy motorgréderek) 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.

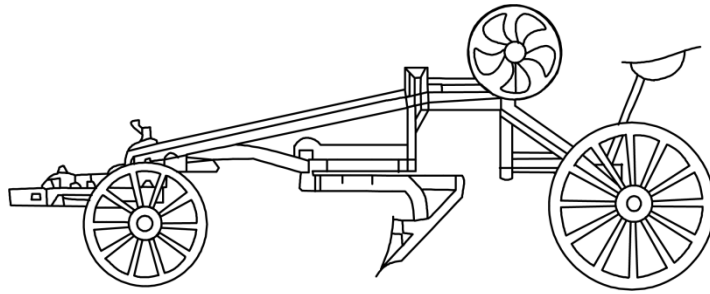


Önjáró földgyalu jellegrajza

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 árkok 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 (1.1-46. ábra). 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.



Vontatott földgyalu jellegrajza

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.

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,
- rézsűk 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 rézsű karbantartása,
- földutak és mechanikai stabilizációs burkolatok karbantartása, a felület kiegyenlítése (púpok lenyese 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 átfogatással 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 rézsűvel együtt készül. A trapézárak durva szelvényét a rézsű 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 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 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 munkagödrökben 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 E2 teherbíró-képesség ($T_{r2}=90\%$ és $w_{opt}=\pm 3\%$):

Szemcsés talajok: 55-60 MN/m²

Átmeneti talajok: 30-40 MN/m²

Kötött talajok: 30 MN/m²

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.

A fentiek közül a továbbiakban a támasztófalakkal a hidakkal, illetve az áteresztőkkel foglalkozunk. A műtárgyak létesítése erősen megnöveli az alépítmény költségeit, ezért törekedni kell arra, hogy a műtárgyak számát megfelelő vonalvezetéssel csökkentsük.

A műtárgyak létesítésénél fontos szempont, hogy azokat az 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.

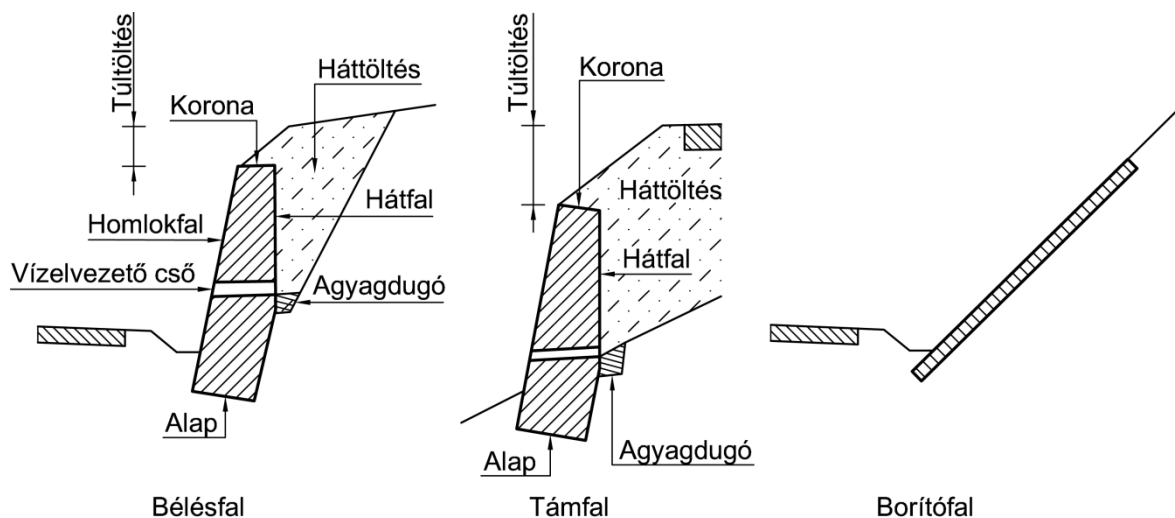
TÁMASZTÓFALAK

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.

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 homlokfal, talajjal érintkező felülete a hátfal. A támasztófalak hátfalához a háttöltés csatlakozik.



Támasztófalak

A támasztófalak szerkezeti kialakításuk szerint lehetnek:

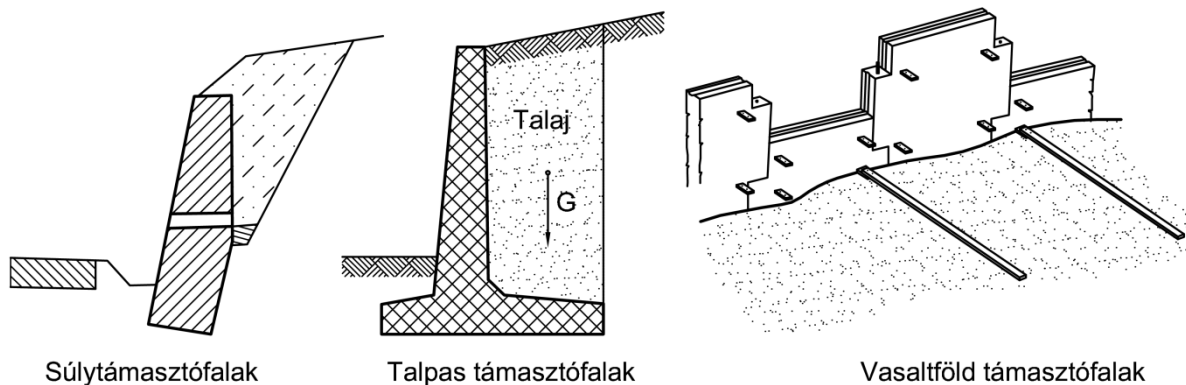
- súlytámasztófalak,
- talpas támasztófalak,
- vasalt földtámfalak.

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.

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.

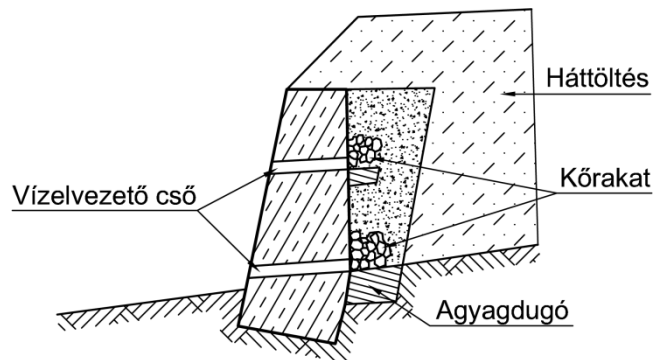
Vasaltföld támasztófal: a háttöltés anyagát teljes mértékben bevonja az állékonyság biztosításába. A háttöltés talajának anyagszerkezeti tulajdonságát ekkor – a vasbeton elvéhez hasonlóan – a talajba beépített, húzószilárdsággal rendelkező anyagból készült szalagokkal javítjuk meg. Ennek hatására a talaj 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 együtt dolgozó talajtömeg hagyományos töltésépítési módszerrel megépíthető.



Támasztófalak szerkezeti 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 agyag dugóra támaszkodik. A szivárgón leszivárgó és az agyag dugó felületén összegyűlő vizet a falba épített 10–15 cm átmérőjű 3–6% eséssel elhelyezett

acélcsövekkel kell elvezetni. A cső eltömődését a beömlési nyílásnál elhelyezett kőakat 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.

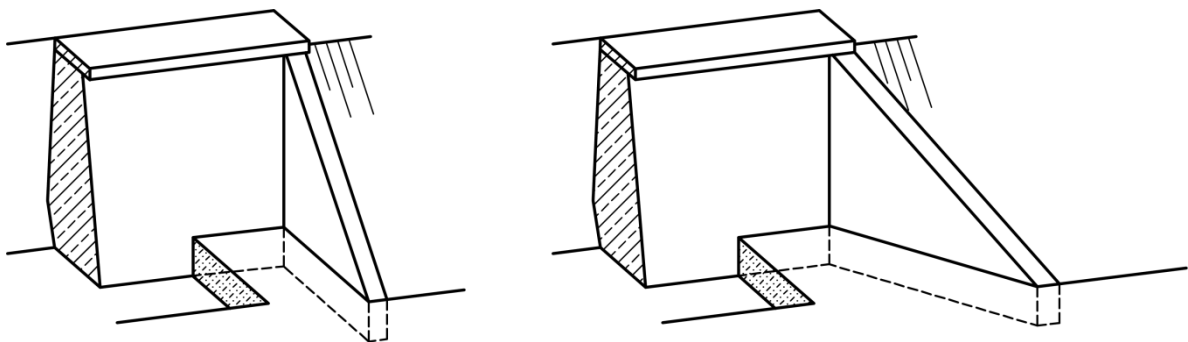


Háttöltés kialakítása

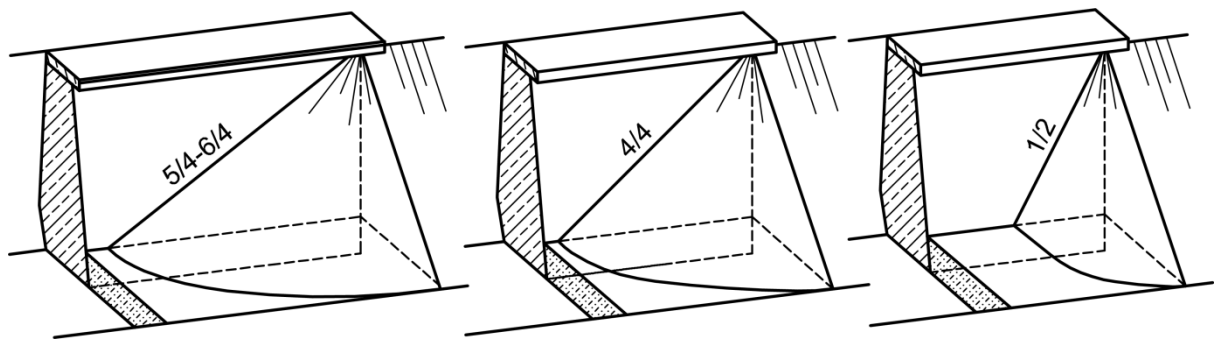
A támasztófalak végeinek csatlakoztatását a földműhöz a támfal magasságának fokozatos csökkentésével, vagy a földmű lezárásával oldhatjuk meg. A földmű lezárására szárnyfalat, vagy töltést lezáró kúpot kell építeni. A szárnyfal anyaga megegyezik a támfal anyagával.

A töltést lezáró kúpok kőből, földből és kővel burkolt földből készülhetnek. A földkúp rézsúje megegyezik a csatlakozó földmű rézsújével. A kőkúp rézsúje a támfalnál $1/2$, a burkolt földkúpé $4/4$, ami folyamatosan változik úgy, hogy a földmű rézsújéhez csatlakozzon.

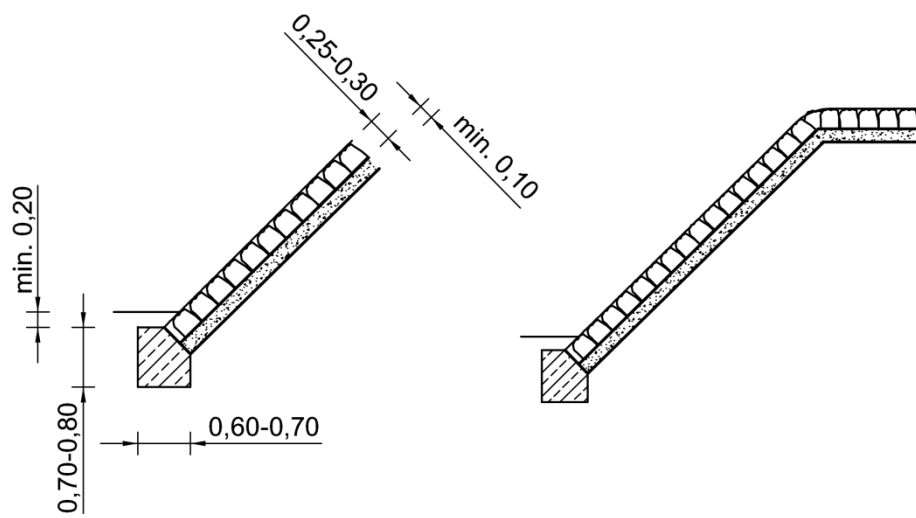
A földkúpot jól tömöríthető talajból kell készíteni, 20–25 cm-es rétegekben gondosan tömörítve. A kővel burkolt földkúp burkolata fagyálló kőből készül 25–30 cm vastagságban, 10–15 cm kavics vagy soványbeton ágyzatba rakva. A falazott kőburkolat betonlábazatra támaszkodik, amelyet úgy kell kialakítani, 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.

A 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.

A támasztófal méretei

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.

A 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:

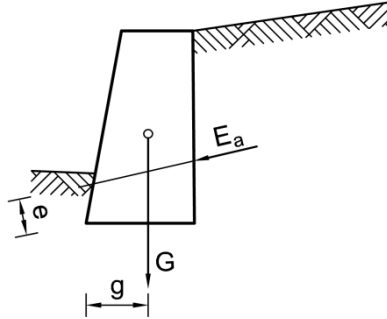
$$\beta = \frac{G \cdot g}{E_a \cdot e}$$

ahol:

- g = az önsúly erőkarja,
- e = az aktív földnyomás erőkarja,

- G = önsúly,
- E_a = aktív földnyomás.

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.

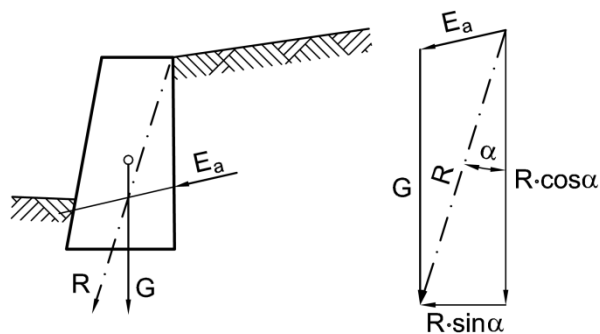
A biztonság:

$$\beta = \frac{R \cdot \cos \alpha \cdot f}{R \cdot \sin \alpha}$$

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.

$$\operatorname{tg} \varepsilon_{\max} = \frac{R_v}{R_f}$$

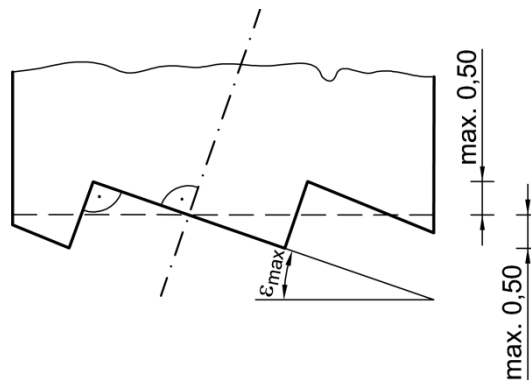
A fogazásból adódó új súrlódási együttható (μ'):

$$\mu' = \frac{\mu + \operatorname{tg} \varepsilon}{1 - \mu \cdot \operatorname{tg} \varepsilon} \text{ de max. } 1,0$$

ahol:

μ = az 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

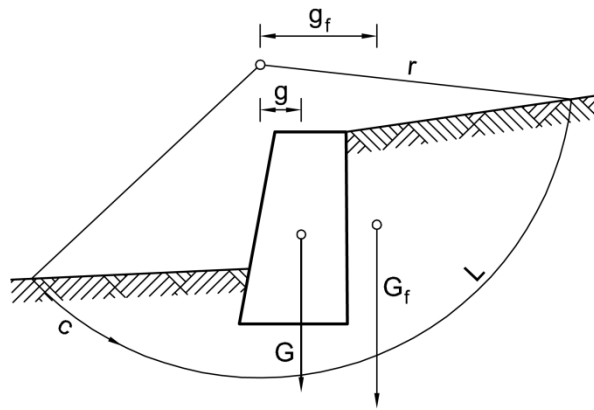
A támasztófal kifordulása akkor következik be, amikor a falazat a földmű egy részével együtt a falazat alatt kialakuló csúszólapon lecsúszik. Az egyensúly feltétele, hogy a csúszólap középpontjára számított nyomatékok összege zérus legyen. A biztonság:

$$\beta = \frac{c \cdot L \cdot r}{G \cdot g + G_f \cdot g_f}$$

ahol:

- c = a kohézió,
- L = a csúszólap hossza,
- r = a kör csúszólap sugara.

A biztonság megfelel, ha $\beta > 1,5$.

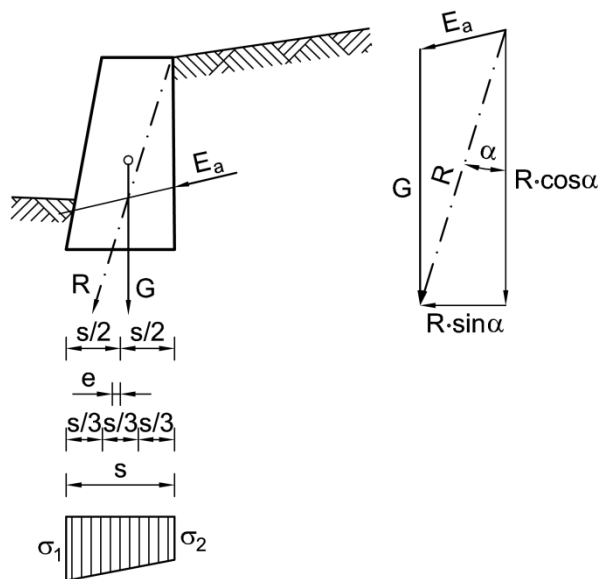


Stabilitási vizsgálat kifordításra

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.



Feszültségek ellenőrzése

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:

$$e_{\max} = \pm \frac{s}{6}$$

ami azt jelenti, hogy az eredő döféspontjának a belső harmadba, a magszelvénybe kell esni.

Vasalt talajtámfal tervezése

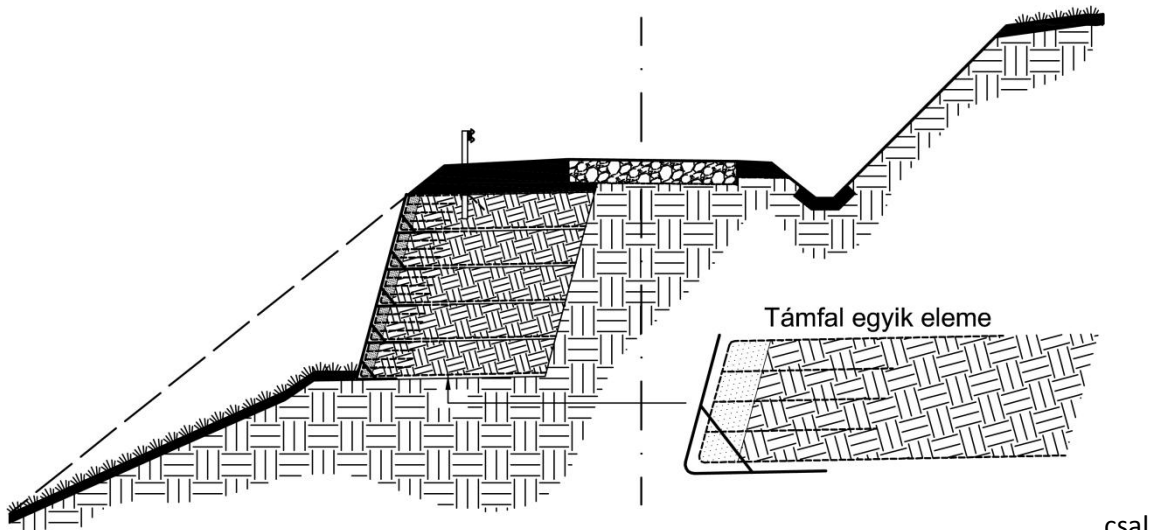
A vasalt talajtámfalakat az előregyártásból, az egyszerű építési módból és a rugalmasságból, valamint ebből adódóan a környezethez és a természethez való jó illeszthetőségből származó előnyök miatt, célszerűen lehet alkalmazni. A tervezés menete a súlytámfalaknál megismertekhez hasonló, mert ez a szerkezet 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

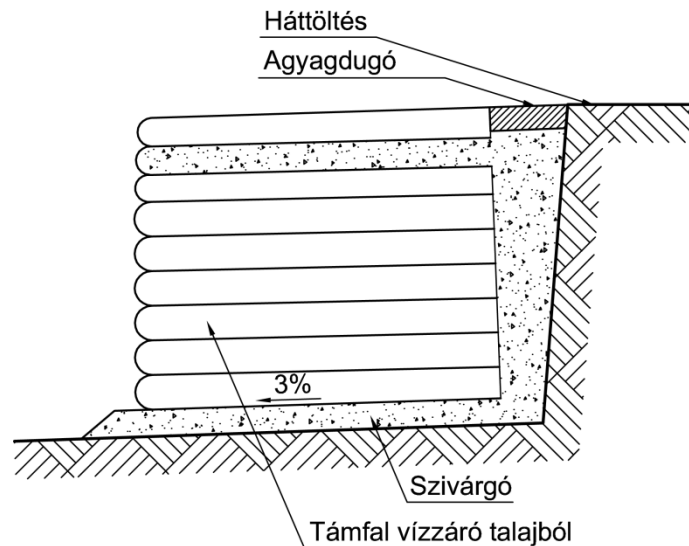
A természetbe jól illeszkedő, növényzettel könnyen betelepíthető felületeket kapunk, ha a támasztófalat georáccsal erősített falazatként alakítjuk ki. A szerkezet homlokfalának váza egy 60°–80°-ban felhajlított 0,80–1,00 m magas és ugyanilyen széles acélháló, amelyhez georácsot rögzítenek. A georács 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

A 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.



Szivárgó kialakítása

A vasalt talajtámfal építéséhez azok a talajok használhatók fel, melyek töltés építésére is megfelelnek.

A 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: $l=1,2 \cdot H$.

$$l=1,2H$$

ahol:

- l = a betét hossza
- H = a homlokfal magassága

A vasalt talajtámfal állékonyságának ellenőrzése

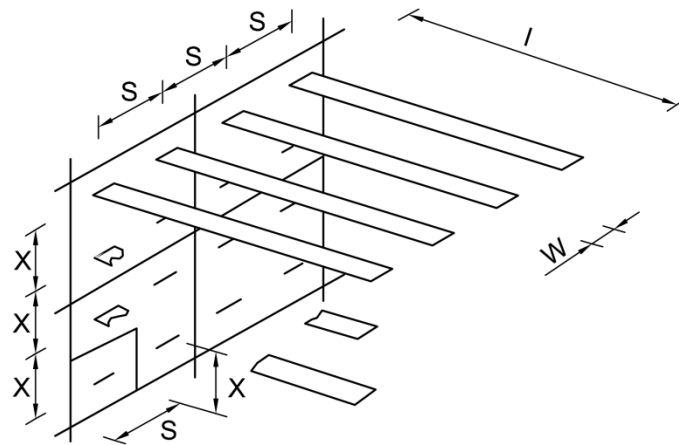
A vasalt talajtámfalra ható erőket és a külső állékonysági vizsgálatokat a súlytámasztófalaknál leírtak szerint kell figyelembe venni és meghatározni.

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 = az aktív földnyomás tényezője,
- H = a támfal magassága,
- γ = a háttöltés anyagának térfogatsúlya,
- x, s = a vasbetétek távolsága ($x \cdot s$ az egy betéthez tartozó homloklap felület).



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:

- $\mu_f = 1,2$ a kihúzódnak elleni biztonsági tényező
- f = az acél és a talaj közötti súrlódási tényező

A betétek vastagságát (d) szakadásra méretezzük:

$$d = \mu_a \cdot \frac{P}{w \delta_{aH}}$$

ahol:

- $\mu_a = 1,2$ a szakadás elleni biztonsági tényező
- δ_{aH} = a betét anyagára megadott határfeszültség

Nem korrózióálló anyag esetében az így kapott vastagságot korróziós taggal kell növelni. A szükséges betét vastagságát így:

$$d_{sz} = d + t \cdot d_t$$

ahol:

- t = a támfal élettartama (általában 50 évre tehető),
- d_t = az évenkénti korróziós veszteség, amely acélnál 0,15–0,20 mm/év, alumíniumnál 0,003–0,005 mm/év
- d_{sz} = a betétek szükséges vastagsága

HIDAK

Kishidak csoportosítása és fő szerkezeti egységei

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.

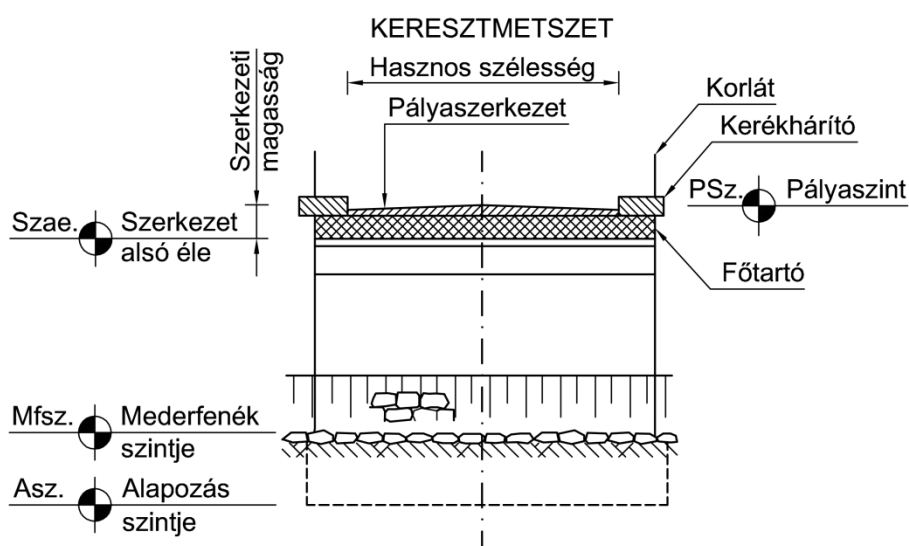
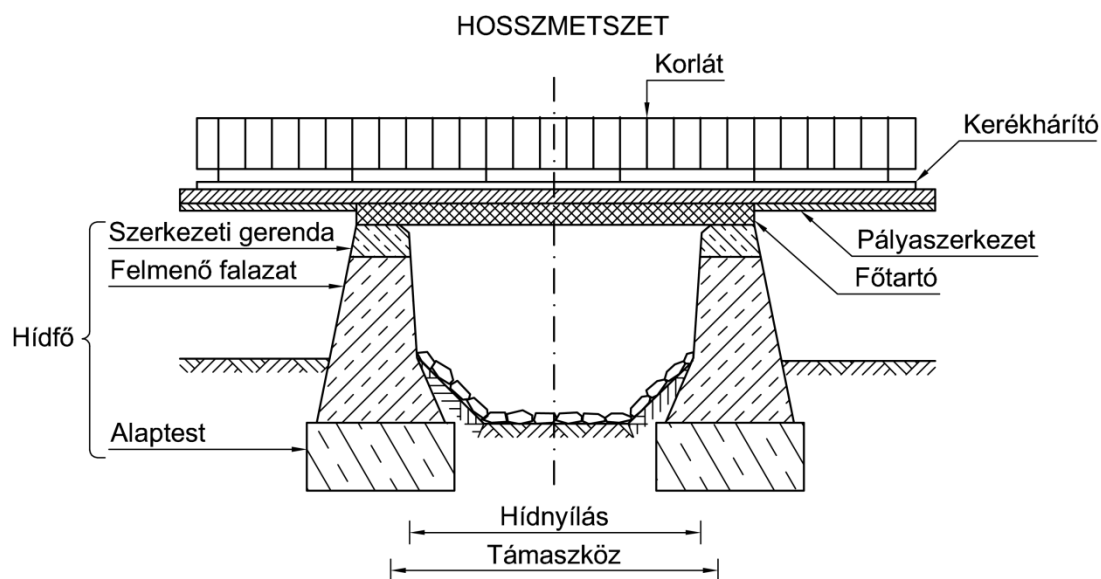
Hidak csoportosítása:

- 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

- Alépítmény: 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 felépítményekkel 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 alépítményre 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.



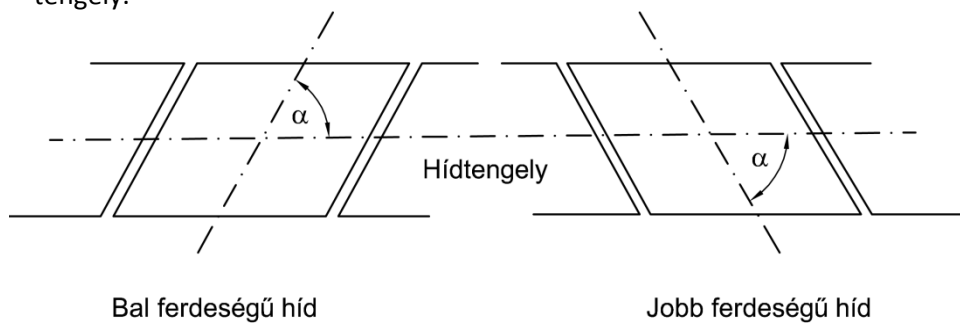
Monolit vasbeton hidak szerkezeti részei és jellemző adatai

A híd jellemző adatai

- A hídnyílás vagy szabad nyílás (l) a hídfők homloklapjai, illetve a pillérek oldalfelületei között, közvetlenül az alátámasztások alatt mért hossz;
 - A 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;
 - A hasznos szélesség (l_n) 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;
 - A pályaszint: a hídpálya tengelyének hídközépen mért abszolút magassága;
 - A szerkezeti magasság az a függőleges távolság, amelyet a pályaszint és a szerkezet alsó éle között mérhetünk;
- A hídtengely és az áthidalt akadály tengelye által bezárt szög (α), amelynek 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.
- A híd neve: község, útnév, a híd középpontjának szelvényezési értéke és az áthidalt akadály neve.
- A híd tengelyei közül az átvezetett létesítmény tengelyével egybeeső az x, a másik az y tengely.



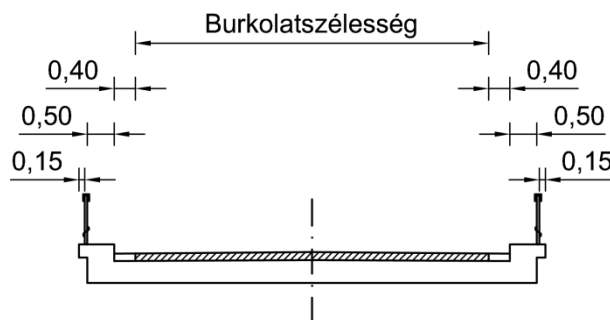
Ferde hidak értelmezése

Hídpályák kialakítása

A hídpályák méretei és vonalvezetése alkalmazkodjon a csatlakozó út méreteihez, magassági és vízszintes vonalvezetéséhez.

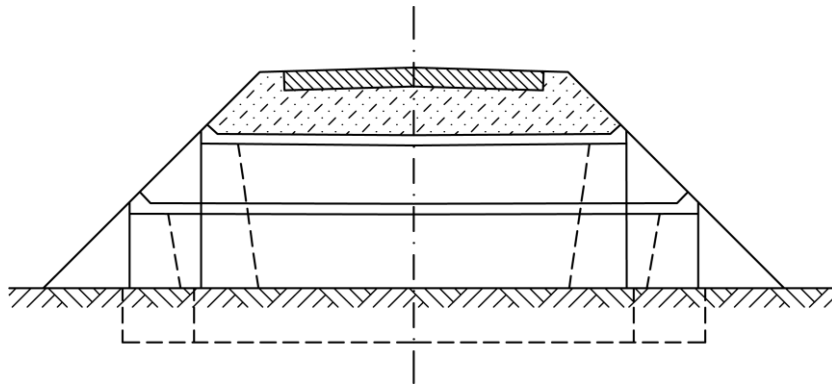
A hídpálya szélességét a csatlakozó út szélessége határozza meg. Arra kell törekedni, hogy a híd kocsipálya szélessége a csatlakozó út burkolatszélességénél nagyobb legyen (0,40-0,40m). A főtartó szélessége minimálisan a csatlakozó út koronaszélességével egyezzen meg.

$$l_{y\min} = K$$



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 hozzunk létre. A két megoldás közül azt célszerű megvalósítani, amelyik kisebb falazatmennyiséggel biztosítja a szükséges vízártó keresztmetszetet.



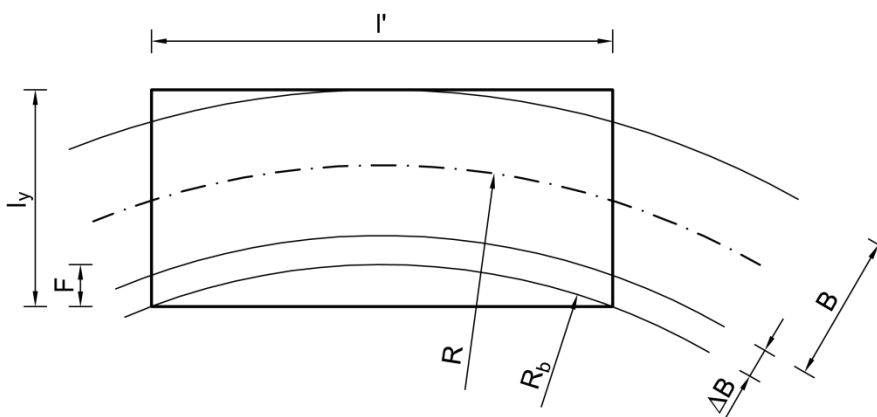
Túltöltés

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. Az ívben fekvő híd minimális hasznos szélessége ekkor:

$$l_h = B + \Delta B + 2 \cdot k + F$$

ahol:

- B = az út burkolatszélessége egyenesben
- ΔB = szélesítés
- k = a kiegészítő sáv szélessége (pl.: 0,40 m)
- $F = R_b - \sqrt{R_b^2 - 0,25 \cdot l'^2}$
- $l' = l + 2K_0$
- l = hídnívás
- K_0 = hídfő koronaszélessége



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 hosszesését 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

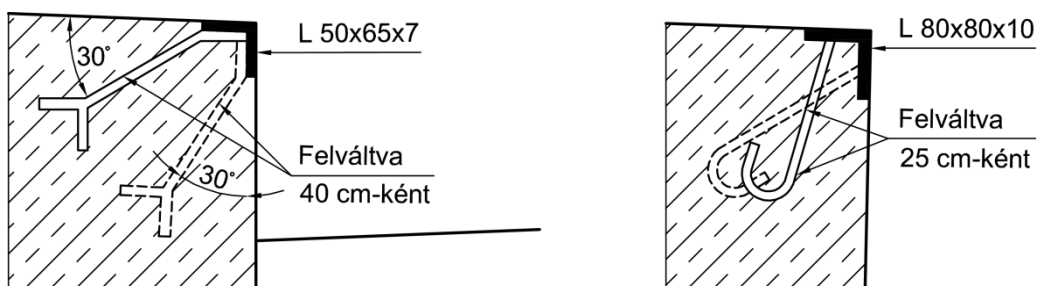
A hídtartozékok védelmi, lezárási és szegélyezési feladatokat látnak el. Ezek közé tartoznak:

- 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, 50×65×7 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 élén 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

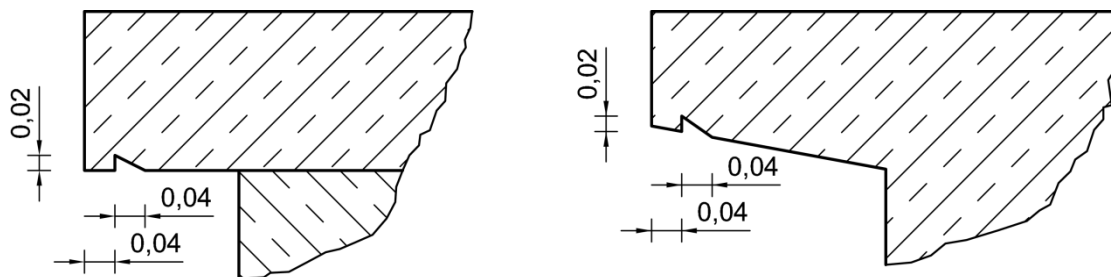
A híd szerkezeti elemeit a víz káros hatásától meg kell védeni. A víz egyrészt az acél korrózióját idézi elő, másrészt a repedésekben megfagyva repesztő hatást fejt ki. Ezek a káros jelenségek a híd élettartamát csökkentik. A nedves felületeken kialakuló mészkiválások, rozsdafoltok esztétikai hatása 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.

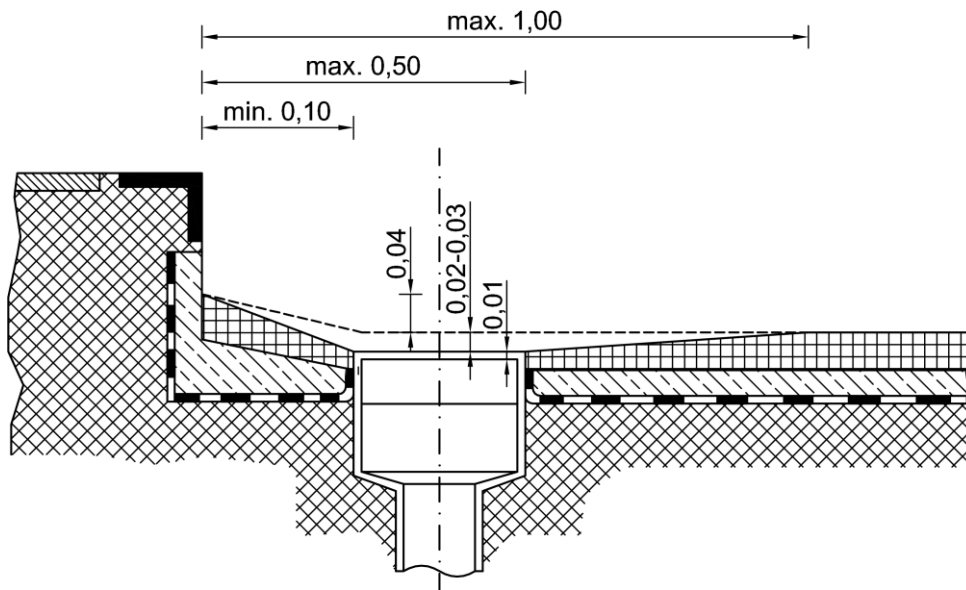


Csepegő vagy vízorr

Víznyelő

Közel vízszintes hosszsesésű 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 m^2 -re $1,5\text{ cm}^2$ hasznos rácsfelület jusson. A víznyelő tengelyének iránya függőleges vagy ferde, alakja a könnyű tisztíthatóság érdekében lehetőleg mindig egyenes.

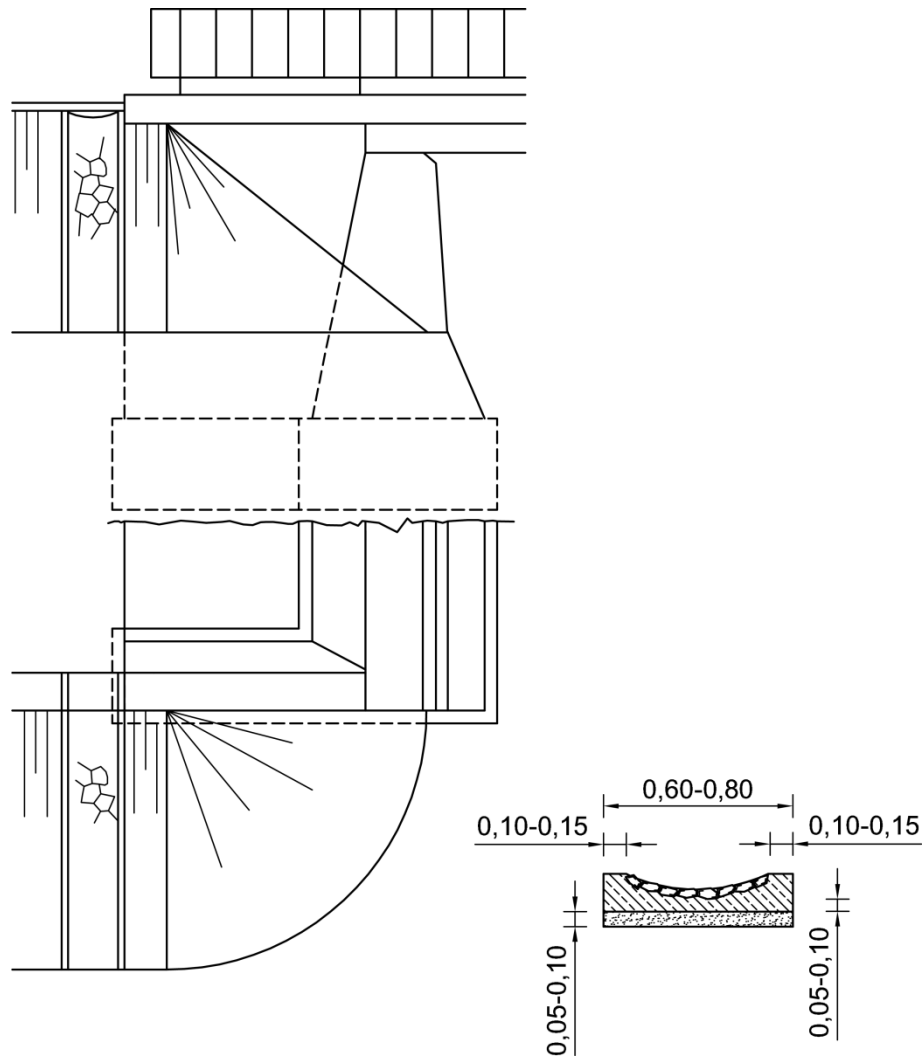


Víznyelőkhelyezése és kialakítása

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 kőrákat 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. Mázas szigetelésnél a hideg alapmázra két réteg forró fedőmáz kerül (0,5 mm). A ragasztott lemezszigetelésnél a hideg alap-mázra 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.

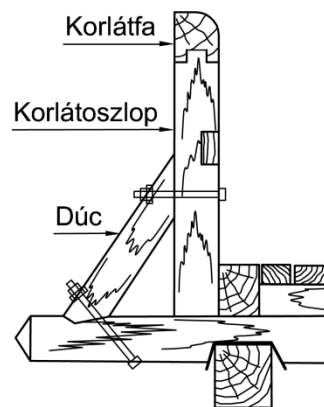
Korlátok

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 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.

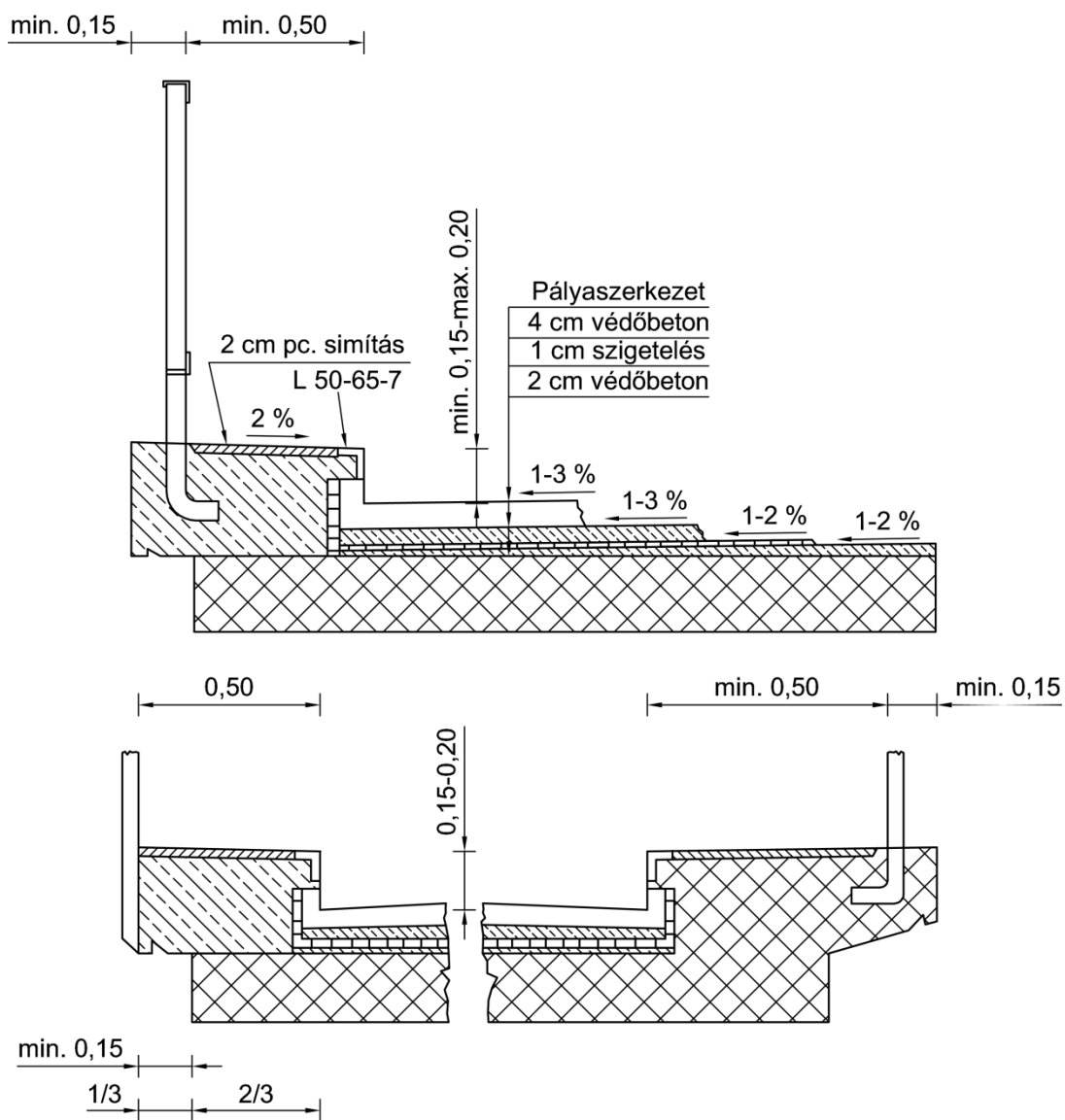


Fakorlát részei

Kerékhárítók, gyalogjárdák

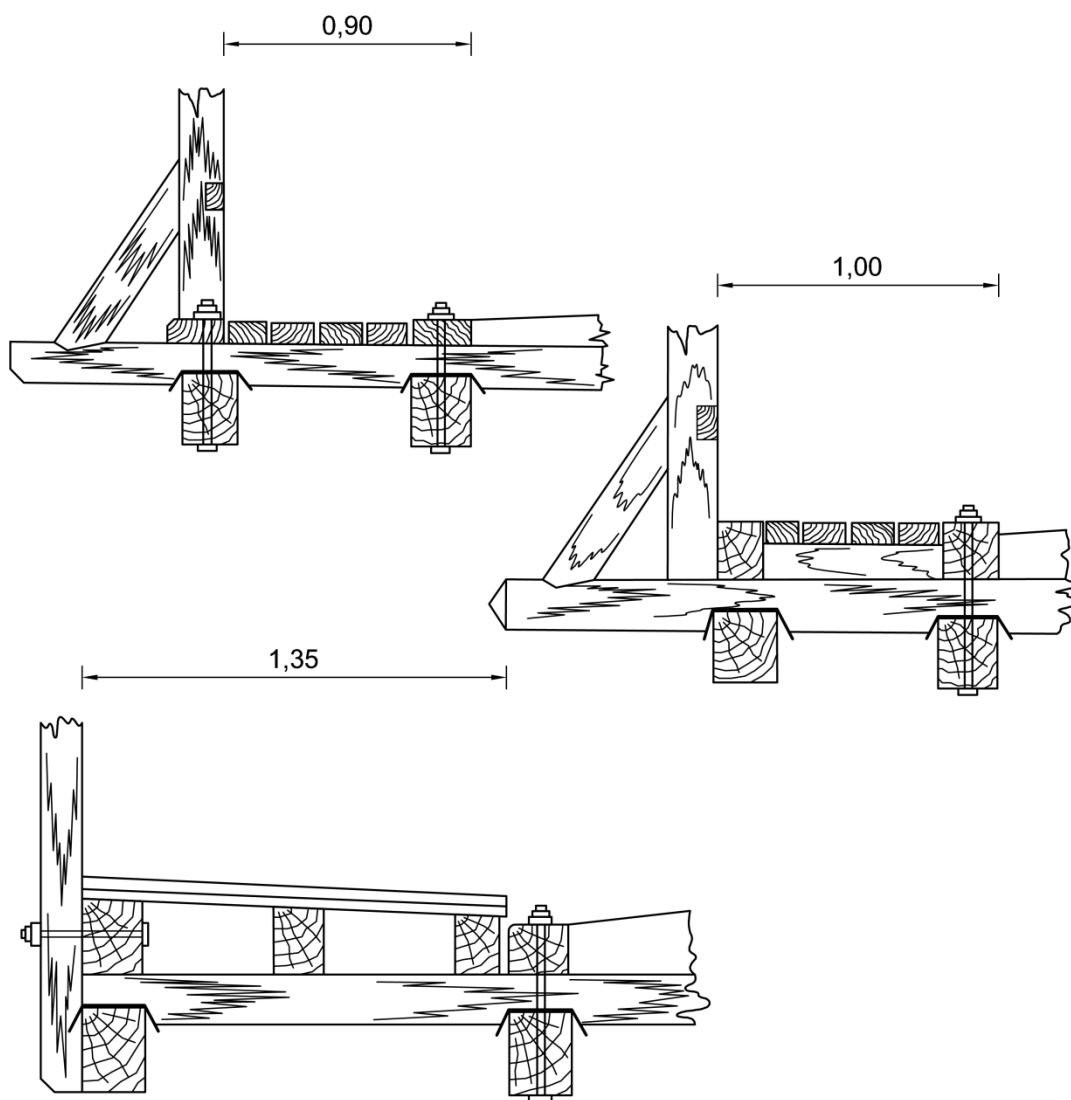
Állandó jellegű hidakon a korlát belső élétől mérve min. 0,50 m széles kerékhárítót kell elhelyezni. A kerékhárító magassága a kocspálya felső szintjétől legalább 0,15 m, legfeljebb 0,20 m legyen. A kerékhárító végigfut a felszerkezeten, a párhuzamos szárnyfalakon a szárnyfal végéig tart.

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 gumibroncsát a sérüléstől megvédjük.



Vasbeton lemez hídon 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

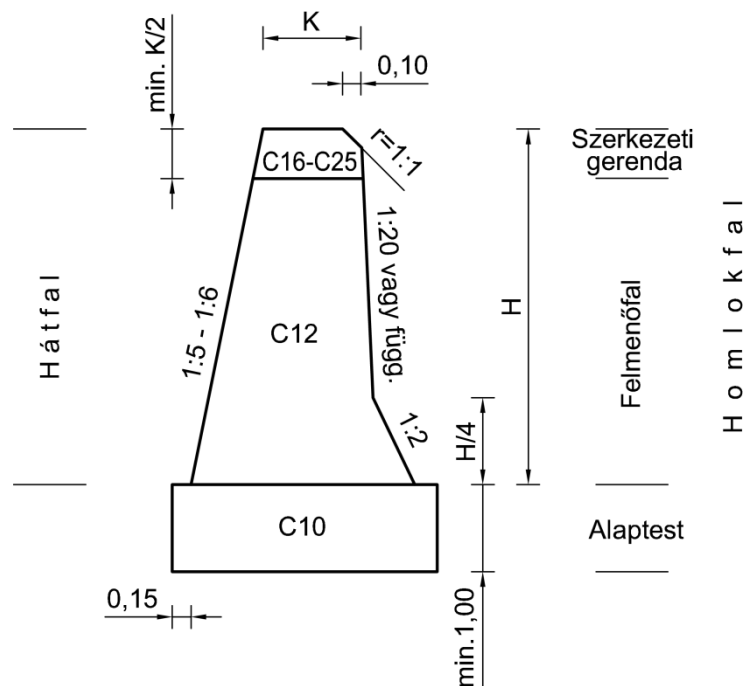
A hídfő feladata a tartószerkezet alátámasztása és a csatlakozó töltés megtámasztása. Ezeket a feladatokat a hídfő a szárnyfalakkal együtt látja el. A monolit vasbeton lemezhidaknál a súlytámfalszerű elrendezéssel kialakított hídfők terjedtek el, amelyek anyaga beton vagy vasbeton.

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.

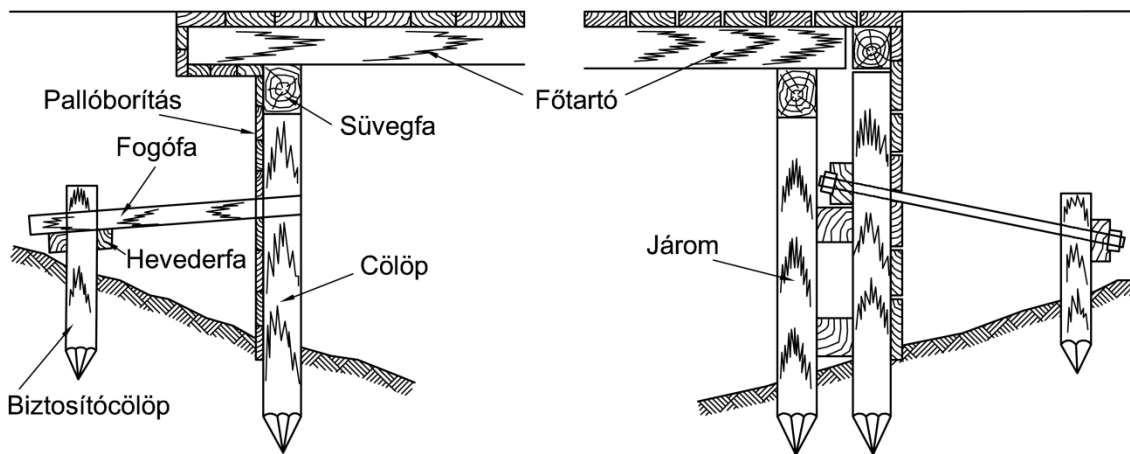


Súlytámfalszerűen kialakított hídfő

Fahidak hídfői

Ideiglenes jelleggel épülő fahidak hídfői fából is készülhetnek. A hídfő ekkor egyszerű függőleges helyzetű földbe vert cölöpsorból áll, amelyet felül sűvegfa 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 együttdolgozás 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.

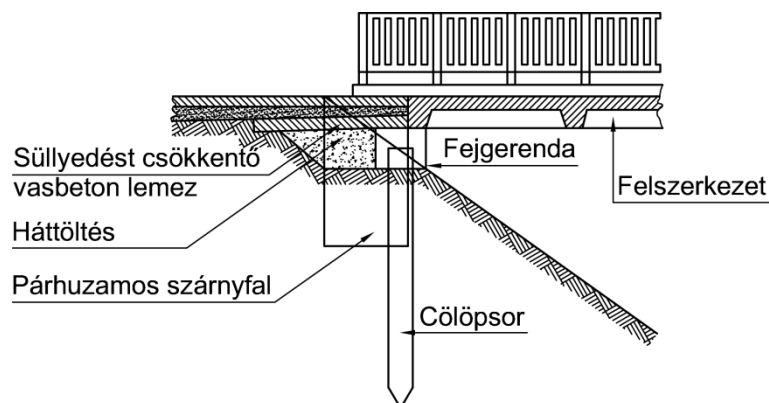


Fahidak hídfői

Rejtett hídfő

A hídfők töltést lezáró szerepétől eltekinthetünk, amikor a csatlakozó pályát homlokrézszűvel 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 hídfőihez. 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.

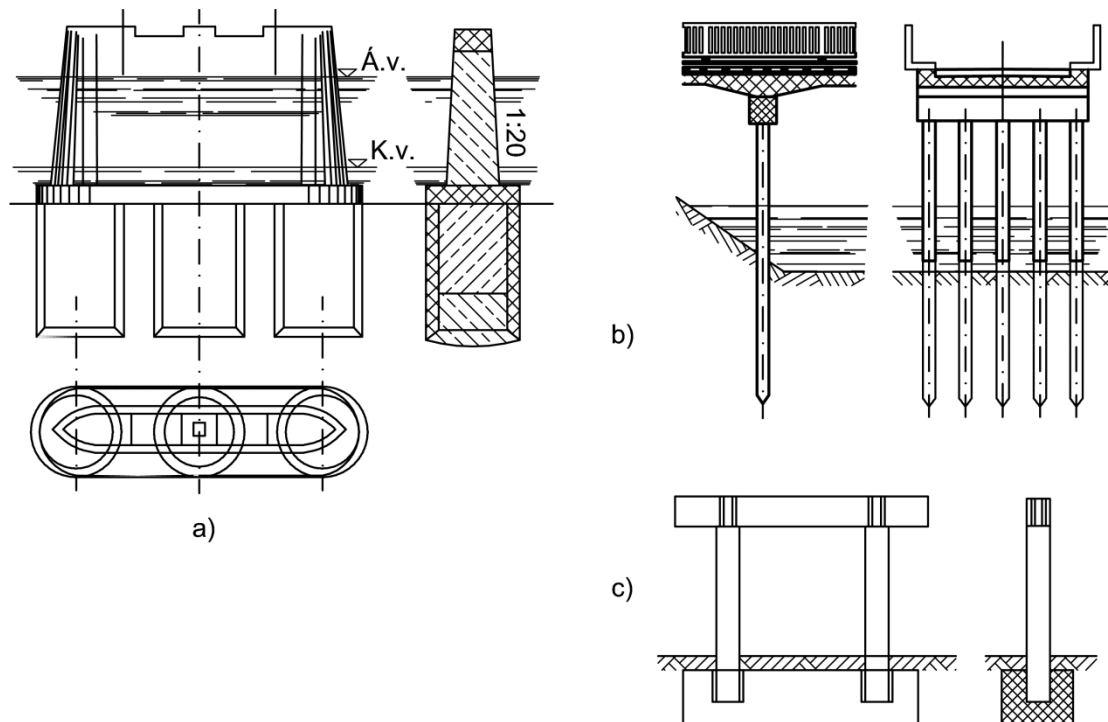


Rejtett hídfő

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 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 pilléreket építeni. Ezek a mederbe levert cölöpök, vagy talpgerendába befogott előregyártott oszlopok, amelyek felső végét előregyártott vagy monolit fejgerenda zárja le.



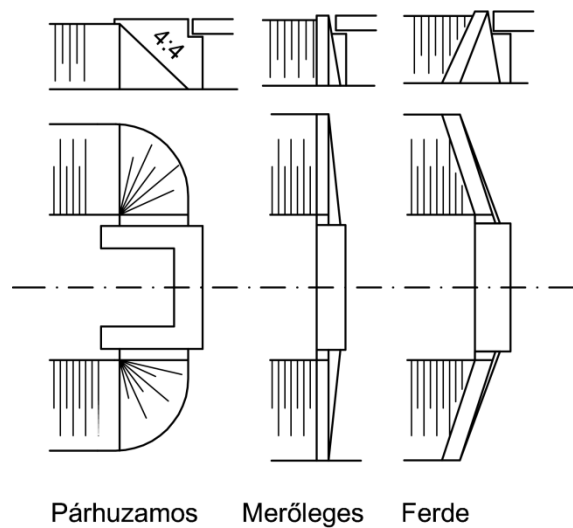
Pillérek: a) masszív pillér, b) cölöpjármos pillér, c) előregyártott vasbeton pillér

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.

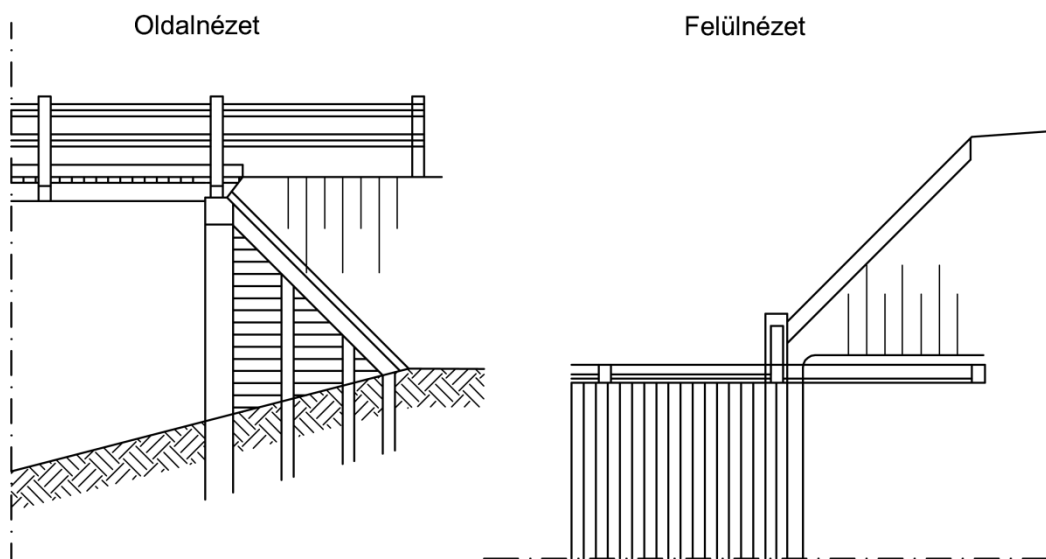
A párhuzamos szárnyfalak a töltést közrefogják, koronájuk az út tengelyével párhuzamos. A töltési részsűt önállóan nem támasztják meg, ezért külön lezáró kúpokkal kell kiegészíteni. A párhuzamos szárnyfalak jól hangsúlyozzák a hídfő jellegét és esztétikai szempontból is megfelelőbbek, mint a ferde vagy 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.



Szárnyfalak

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 hídnylásba. 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.

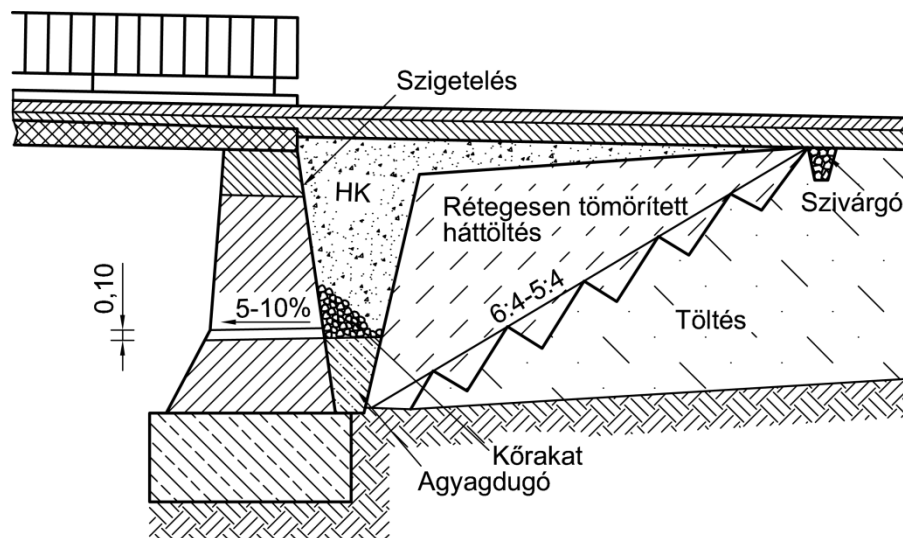


Fahidak ferde szárnyfala

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 (víznyelő, 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

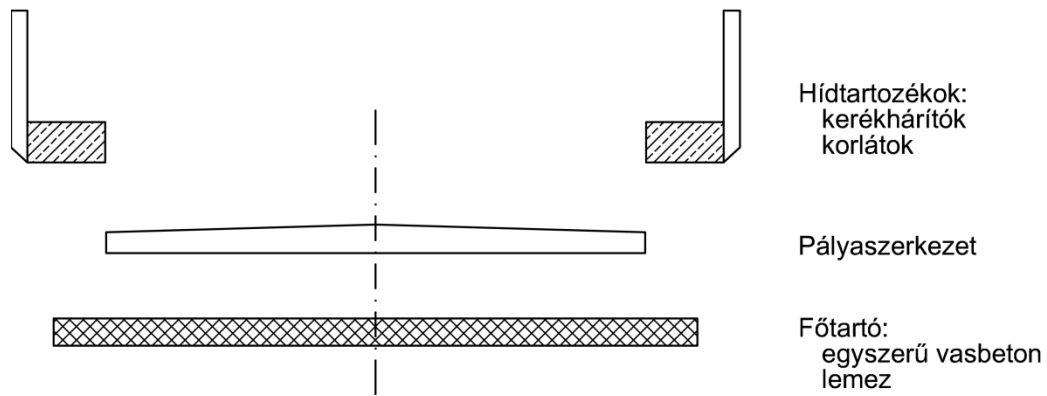
Vasbeton lemezhidak

A vasbeton lemezhidak főtartója egyszerű vagy szegélybordás vasbeton lemez, amely kishidaknál a szerkezeti gerendán nyugszik.

A hídszerkezet hosszváltozásainak megkönnyítésére az alépítmény és a felszerkezet lesimított érintkező felületeit súrlódást csökkentő grafit bevonattal, vagy a meder felé növelhető vastagságú bitumenes papírlémezzel 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

Az egyszerű vasbeton lemez minimális szélességét a következő két méret közül a nagyobb határozza meg:

$$l_{ymin} = l_h + 2 \cdot t$$

illetve:

$$l_{ymin} = K$$

ahol:

- l_{ymin} = a vasbeton lemez minimális szélessége
- l_h = a hasznos szélesség
- t = a hídtartozékok elhelyezésére szolgáló többlet szélesség
- K = az út koronaszélessége

A vasbeton lemez a hídfő koronaszélességére végig felfekszik, ezért teljes hossza egyenlő a hídníálás és a két hídfő koronaszélességének összegével.

A lemez minimális vastagsága:

$$v = \frac{l_x}{30}$$

de legalább 12 cm.

Az ajánlott lemezvastagság:

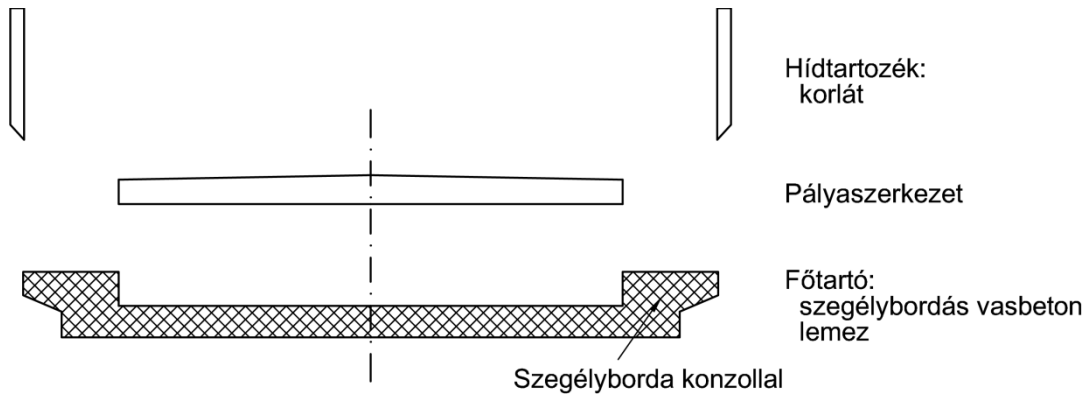
$$\frac{l_x}{11} > v > \frac{l_x}{17}$$

Szegélybordás vasbeton lemezhid

A szegélybordás vasbeton lemezhidak hídtén-gellyel 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 híd tengellyel 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.



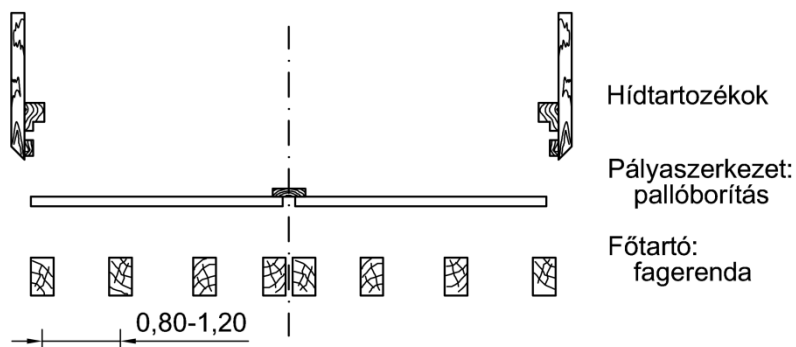
Szegélybordás vasbeton lemezhid felszerkezete

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 0,80-1,20m távolságra helyeznek el egymástól.

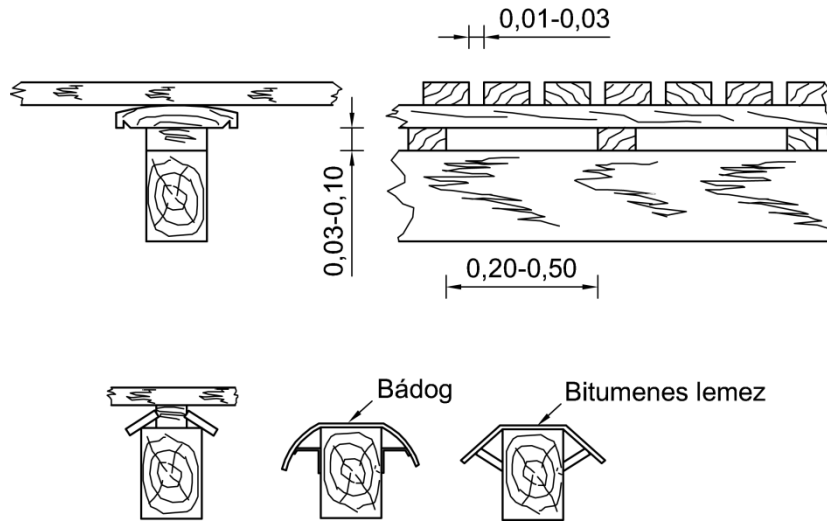
Cölöpözött hídfőknél a gerendák süvegfákon nyugszanak. Ezeket célszerű úgy kialakítani, hogy magasságuk középtől a szélek felé csökkenjen. A hídpálya 2–3%-os esése így könnyen kialakítható, biztosítva a gyors vízvezetést. A tartógerendák bütüjére léceket szegezünk, ezekre pallóborítás kerül. A pallóborítás 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 bádog 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.

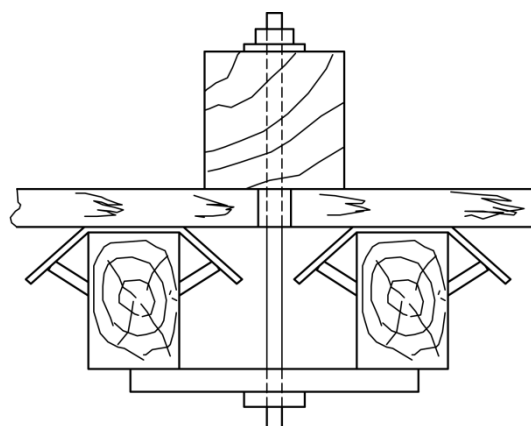


Fatartók védelme víz ellen

Egyszerű gerendatartós fahidak pályája

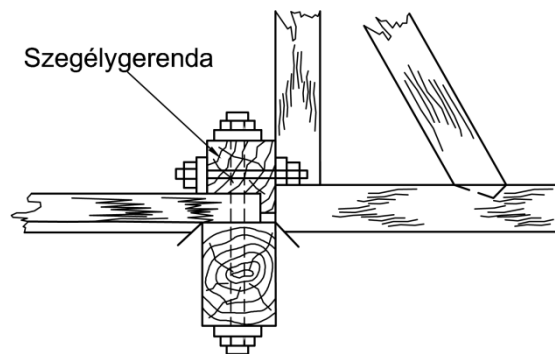
Az egyszerű gerendatartós fahidak pályája dobogóból és borításból áll. A dobogó fekszik fel a tartószerkezeten és viseli a terheket, a borítás a kopórétegnek felel meg.

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 lefogóval rögzítjük úgy, hogy a gerendák között lenyúló csavarokat acéllemezzel erősítjük a gerendákhoz.



Lefogófa

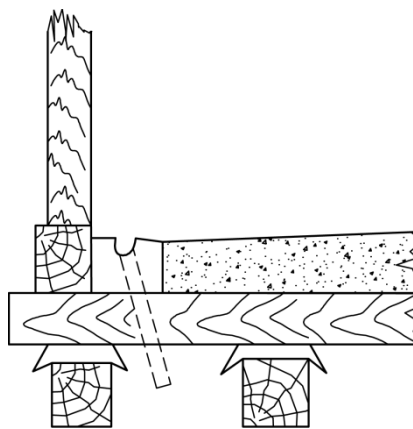
A hídpálya szélén a pallókat szegélygerenda fogja le, amely a palló bütűjének egy részét is letakarhatja. A gyalogjárót a szegélygerenda felső élével egy magasságban helyezzük el.



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 vájt csatornát kell kialakítani.



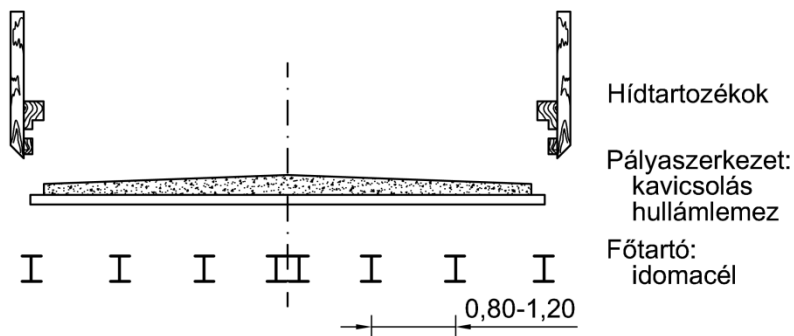
Kavicsolt pálya

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.

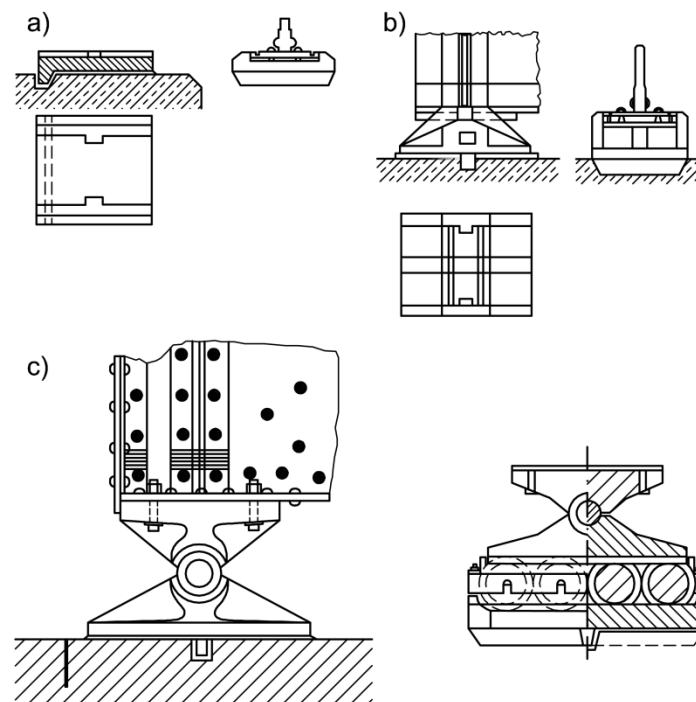
Kis terhelésnél a főtartók közvetlenül a hídfőre fekkhetnek fel, ekkor a hídfőre ólom- vagy vaslemez alátéteket kell elhelyezni, amelyek vastagsága 15–30 mm. A felfekvés hossza a tartómagasság másfélszerese. A főtartók ászokgerendára is felfekhetnek. A főtartók keresztirányú elmozdulását közbefalazással 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

Nagyobb tartók felfekvésénél a pontosan meghatározott helyen történő alátámasztást, a hó 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 hó 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

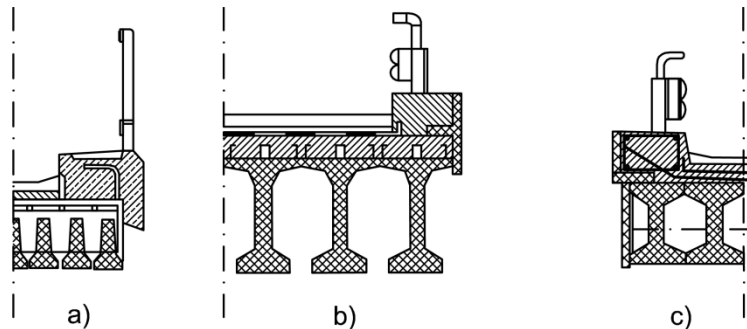
A gyakorlatban előforduló kis hídnívások áthidalására az előregyártott gerendák felhasználásával készülő lemezhidak felelnek meg. Ezeknél az egymás mellé elhelyezett gerendák a helyszíni vasalással és betonozással együttesen alkotják a felszerkezetet. A gerendák szerepe kettős:

- 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:

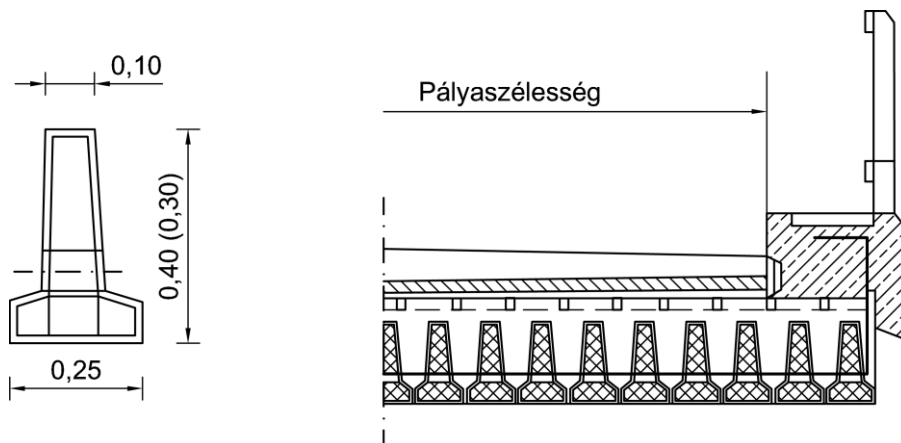
- *gerendabetétes lemez*híd: a szorosan egymás mellé helyezett gerendák közeit kibetonozzuk
- *együttműködő szerkezet*: a gerendák fölé együttműködő vasbeton lemezt készítünk
- *keresztirányú feszítés*: a szorosan egymás mellé helyezett gerendákat keresztirányba összefeszítjük.



Előregyártott gerendás hídszerkezetek: a) gerendabetétes, b) együttműködő, c) keresztirányú feszítéssel

Gerendabetétes lemez

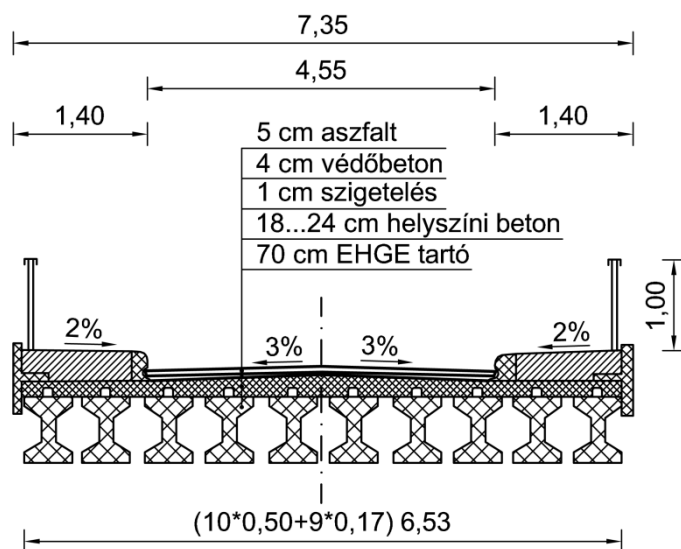
A gerendabetétes lemez kialakításához előregyártott fordított T keresztmetszetű gerendát használunk. Ezek a 2–10 m-es nyílástartományban használhatók célszerűen. Az alépitményre közvetlenül felfekvő, szorosan egymás mellé fektetett gerendákat kereszt irányba acélbetétrel kötjük össze. A gerendák anyaga 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. A feszített gerendával együttdolgozó monolit vasbetonlemez célszerű a 10–30 m nyílástartományban beépíteni. Ezeknél az együttdolgozást a gerendák fejlemezeiből kiálló tuskék 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.

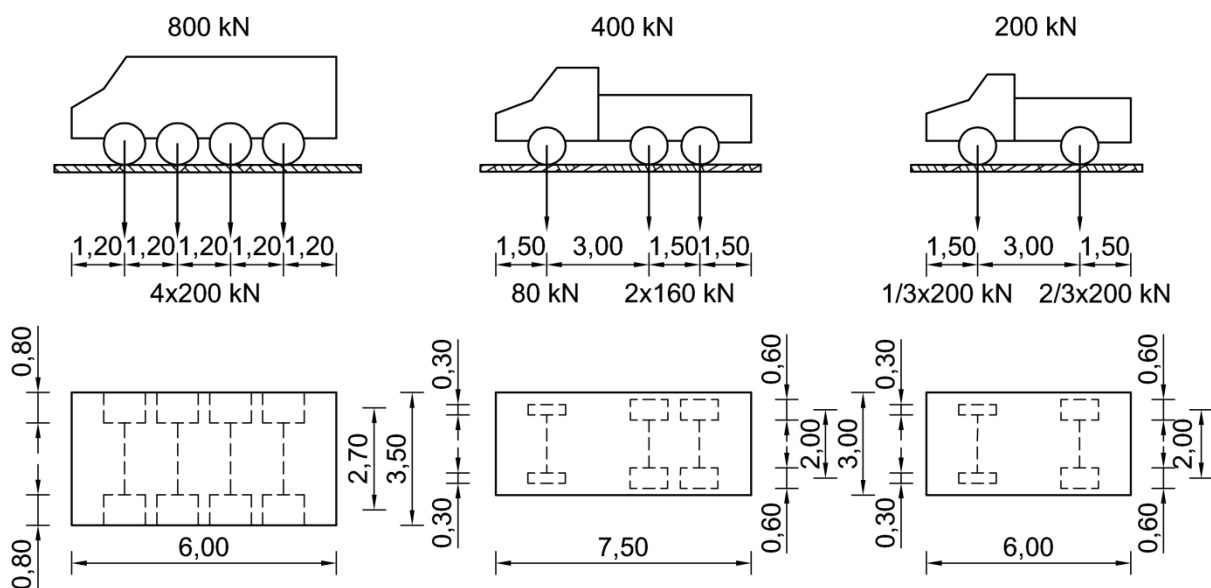
Az állandó, illetve tartós jellegű terhelőerők és mozgások közé soroljuk:

- 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:

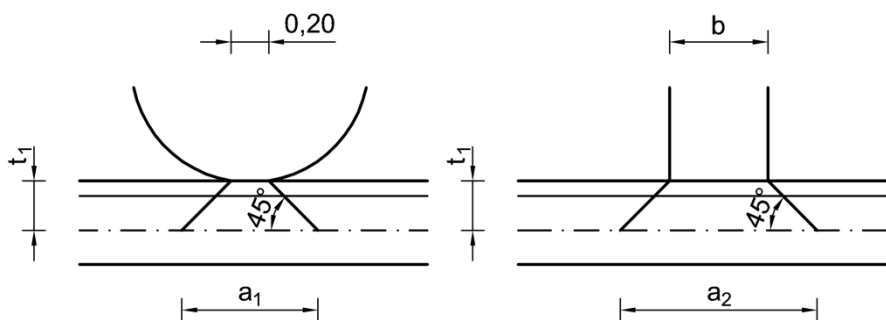
$$a_1 = 0,20 + 2 \cdot t_1$$

erre merőlegesen pedig:

$$a_2 = b + 2 \cdot t_1$$

ahol:

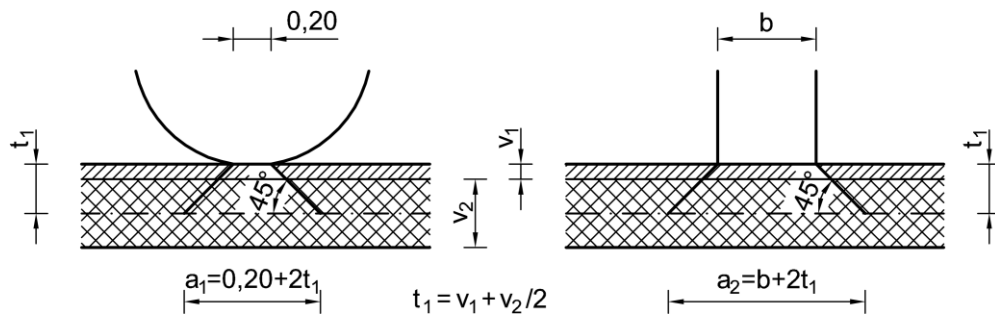
- b = a kerék felfekvési szélessége (m),
- t_1 = a teherelosztó réteg számításba vehető vastagsága (m).



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.



Tehereosztó négyszög méretei vasbeton lemeznél

A járda és kiemelt szegélyszávok terheit 5 kN/m^2 egyenletesen megosztó 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 megosztó járműterhet helyettesítő terhelést kell alkalmazni. A híd ilyenkor terheletlen, vagy rajta csak a 4 kN/m^2 egyenletesen megosztó terhelés található attól függően, hogy melyik a kedvezőtlenebb.

A dinamikus hatást a kocsi pályá terheinél, valamint a kiemelt szegélyszáv terheinél a dinamikus tényezővel való szorzással kell figyelembe venni. A dinamikus tényező értéke:

$$\mu = 1,05 + \frac{5}{L + 5}$$

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 terhe 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 képletben:

- $\gamma_g = 0,9$ 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 erőtani 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 aléptmény 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. (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

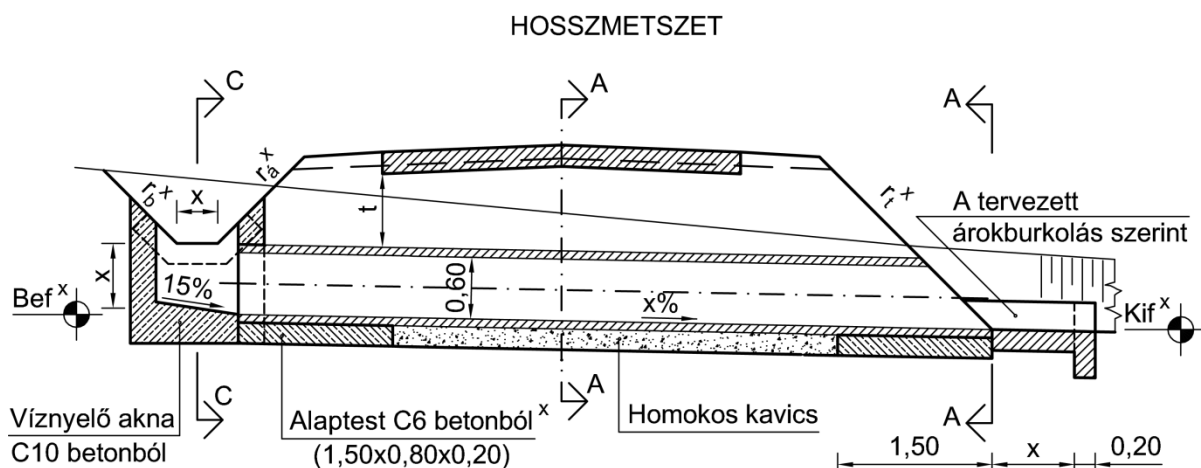
Mellékvölgyek időszakos vízfolyásait, valamint az oldalárkok vízének pálya alatti keresztirányú átvezetésére előregyártott elemekből készülő csőáteresztőket építünk.

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.

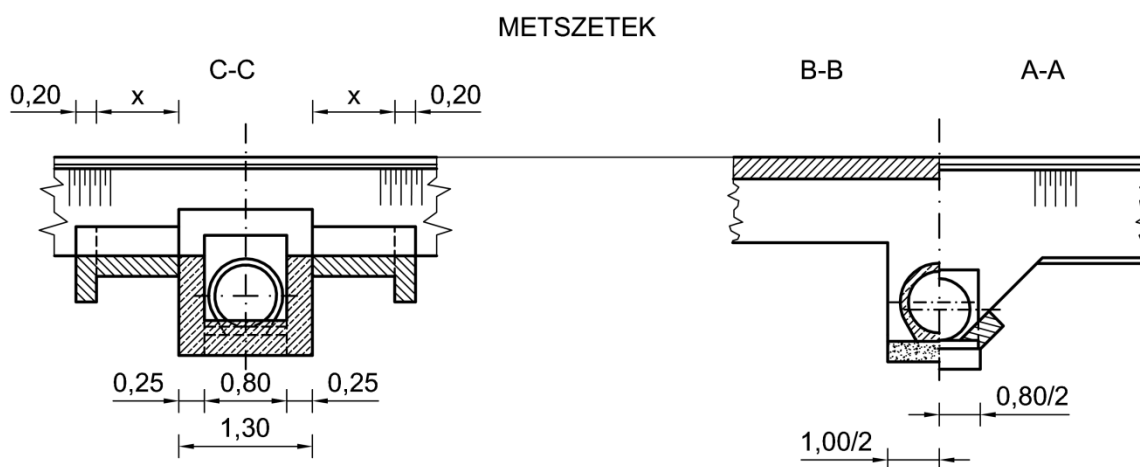
Betoncső áteresztők

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 betonból 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.



Az x-szel jelzett értékek a Mintakeresztszelvények és a Keresztszelvények című munkarészek szerint.



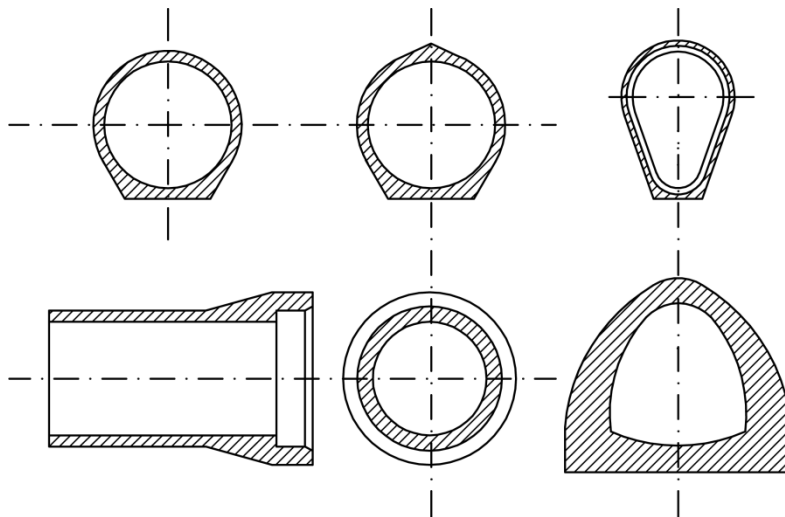
Talpas betoncső átteresztő

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% hosszeséssel kell elhelyezni. A cső beömlőnyílás felőli vége az árokhoz előfejjel vagy aknával csatlakozik. A cső kiömlőnyílása utófejjel, párhuzamos vagy ferde szárnyfallal csatlakoztatható a töltéshez.

A csőátteresztők építésénél a talpas kör-szelvényű betoncsövek helyett használható más kialakítású betoncső is:

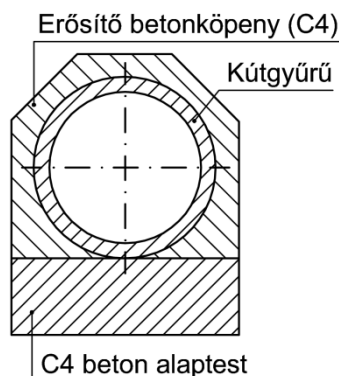
- a megerősített köpenyű, körszelvényű, talpas betoncső, amely minimális takarással is beépíthető,
- a nagyobb vízemésztő képességű tojás-szelvényű, talpas betoncső,
- békaszáj nyílású betoncső,
- tokos betoncső.



Különbéle kis átmérőjű betoncsövek

Kútgyűrűkből kialakított csőáteresztő

A 0,80–1,00m belső átmérőjű kútgyűrűket 0,50m vastag C4 minőségű beton alaptestre helyezük és 0,10 m vastag betonból 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.



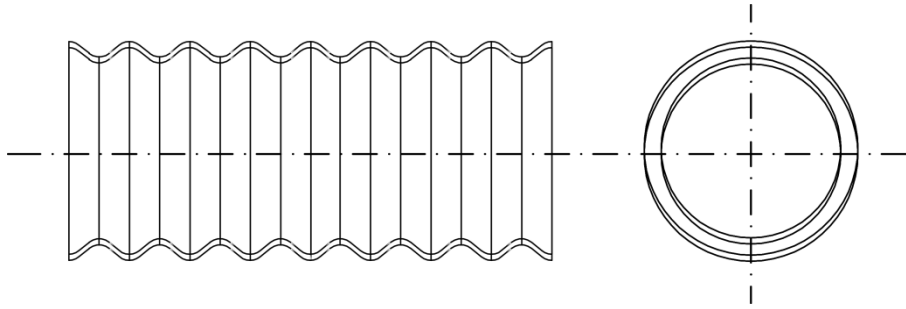
Kútgyűrűkből kialakított csőáteresztő

Nagy szilárdságú vasbeton csövek

A Rocla márkanéven forgalmazott 100–300 cm névleges átmérőjű C40 minőségű porgetett betonból, kétrétegű vasalással készülő csövek hengeres és tokos kialakítással készülnek. A csöveket szemcsés talajra, homokos-kavics ágyazatra vagy sovány beton alagra kell építeni. A csőbe kerülő acélmennyiséget a cső ágyazásának, túltöltésének és a fellépő egyéb terheléseknek megfelelően számításal a gyártó határozza meg.

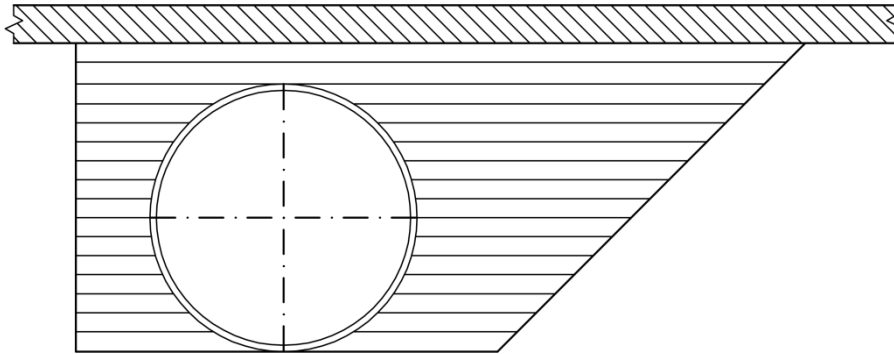
Hullámlemez csőáteresztő

Egyszerű építést és tervezést tesz lehetővé a hullámosított acéllemezéből 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 236,0cm) megfelelő dongásítással kialakított elemekből csavarozással szerelhetők össze.



Hullámlemez csőáteresztő

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 rézsű síkjával azonos esésű ferde síkkal kell levágni.



Hullámlemez csőáteresztő beépítése