A száraz termikus modifikáció a technikai faanyagvédelem szolgálatában

egyetemi tankönyv

első kiadás

A kötetet összeállította, írta és szerkesztette:

DR. HORVÁTH NORBERT

SOPRONI EGYETEM KIADÓ

SOPRON

2019

Lektorálta:

PROF. DR. NÉMETH RÓBERT

Olvasószerkesztő:

DR. HORVÁTHNÉ CSITKOVICS TÍMEA

A kiadást gondozta:

HORVÁTHNÉ DR. HOSZPODÁR KATALIN

Tördelőszerkesztő, borítóterv:

DR. HORVÁTH NORBERT

ISBN 978-963-334-331-9

Kiadó:

SOPRONI EGYETEM KIADÓ

Felelős kiadó:

PROF. DR. NÁHLIK ANDRÁS REKTOR

© DR. HORVÁTH NORBERT, 2019

A kiadvány összeállítása az EFOP-3.4.3-16-2016-00022 pályázati azonosítóval rendelkező, „QUALITAS” Minőségi felsőoktatás fejlesztés Sopronban, Szombathelyen, és Tatán című projekt keretében valósult meg. A Pannónia nyárral kapcsolatos új kutatási adatok az OTKA K116216 „Alacsony sűrűségű faanyag fiziko-mechanikai és felületfizikai tulajdonságainak komplex elemzése” c. projekt keretében a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) támogatásával kerültek közzétételre.

Tartalomjegyzék

1. Az alkalmazott faanyagvédelem 6
1.1. A megelőző és megszüntető faanyagvédelem 6
1.2. Technikai és kémiai faanyagvédelem 7
1.3. A hőkezelési eljárások faanyagvédelmi jelentősége 10
1.4. Összefoglalás 15

2. A faanyagmodifikáció 16
2.1. A faanyagmodifikációs eljárások 16
2.2. Kémiai modifikáció 17
2.3. A termikus modifikáció 19
2.3.1. Szaktörténeti áttekintés 19
2.3.2. A termikus modifikációkról 23
2.4. Összefoglalás 26

3. A hő faanyagmódosító hatásáról általában 27
3.1. A hő hatása a faalkotókra 27
3.2. A hő hatása a faanyagok egyes tulajdonságaira 29
3.3. Összefoglalás 34

4. A száraz termikus modifikáció technológiájáról 36
4.1. A száraz termikus modifikáció berendezései, kezelési paraméterek 36
4.2. Összefoglalás 41

5. A termikus modifikáció hatása, monitorozása 42
5.1. A tartósság változása, vizsgálati lehetőségei 42
5.1.1. A biotikus károsítókkal szembeni tartósság változása 49
5.1.1.1. A talajban élő károsítókkal szembeni ellenálló-képesség változása . 50
5.1.1.2. A rovarkárosítókkal szembeni ellenálló-képesség változása 52
5.1.1.3. A bazídiumos gombákkal szembeni ellenálló-képesség változása ... 54
5.1.2. A módosított faanyagok tartósságának vizsgálati módszerei 55
5.1.2.1. A bazídiumos gombákkal szembeni ellenálló-képesség meghatározása 55
5.1.2.2. A talajban élő károsítókkal szembeni ellenálló-képesség meghatározása 59
5.1.3. Száraz termikus kezeléssel módosított faanyagok tartóssága 62
5.1.3.1. A bazídiumos gombákkal szembeni ellenálló-képesség alakulása ... 62
5.1.3.2. A talajban élő károsítókkal szembeni ellenálló-képesség alakulása . 65
5.2. A fizikai tulajdonságok változása, vizsgálati lehetőségei 67
5.2.1. A termikus modifikáció okozta méret és tömegcsökkenésről általában ... 67
5.2.1.1. A méret és tömegcsökkenés vizsgálati lehetőségei 69
5.2.1.2. Száraz eljárással módosított faanyagok méret- és tömegcsökkenése 70
5.2.2. A termikusan módosított faanyagok dimenzióstabilitásáról általában 73
5.2.2.1. A dimenzióstabilitás meghatározása 74
5.2.2.2. Száraz eljárással módosított faanyagok dimenzióstabilitása 76

5.2.3. A termikusan módosított faanyagok színezetéről általában 80
5.2.3.1. A faanyagok színkoordinátáinak meghatározása 82
5.2.3.2. Száraz eljárással módosított faanyagok színezete 85
5.2.4. A termikusan módosított faanyagok nedvességtartalmáról általában 93
5.2.4.1. Az egyensúlyi fanedvesség meghatározása 95
5.2.4.2. Száraz eljárással módosított faanyagok egyensúlyi fanedvessége 96
5.2.5. A termikusan módosított faanyagok sűrűségéről általában 98
5.2.5.1. A faanyagok sűrűségének meghatározása 98
5.2.5.2. Száraz eljárással módosított faanyagok sűrűsége 99
5.3. A mechanikai tulajdonságok változása, vizsgálati lehetőségei 101
5.3.1. A termikusan módosított faanyagok mechanikai tulajdonságairól általában 101
5.3.2. A hajlítószilárdság és hajlító-rugalmassági modulusz változása 103
5.3.2.1. A hajlítószilárdság és hajlító-rugalmassági modulusz meghatározása 103
5.3.2.2. Száraz eljárással módosított faanyagok hajlítószilárdsága és hajlító-rugalmassági modulusza 105
5.3.3. Az ütő-törő munka változása 108
5.3.3.1. A ütő-törő munka meghatározása 108
5.3.3.2. Száraz eljárással módosított faanyagok ütő-törő munkája 109
5.3.4. A rostirányú nyomószilárdság változása 111
5.3.4.1. A rostirányú nyomószilárdság meghatározása 111
5.3.4.2. Száraz eljárással módosított faanyagok rostirányú nyomószilárdsága 112
5.4. A módosult tulajdonságok közötti összefüggések 113
5.4.1. A száraz eljárással kezelt faanyagok tulajdonságainak összefüggései 115
5.4.1.1. Korreláció vizsgálat 115
5.4.1.2. Regresszió vizsgálat 116
5.5. Összefoglalás 121

6. Irodalomjegyzék 123
6.1. Ábrajegyzék 123
6.2. Hivatkozásjegyzék 127
6.3. Szabványok, direktívák és rendeletek jegyzéke 139

8. Tárgymutató 144

Előszó

A Föld erőforrásaival történő bánásmód és gazdálkodás korunk mindnyájunkat érintő, s remélhetően sokakat foglalkoztató témakörök. Erdeink és faültetvényeinek ökológiailag és egyéb szempontok szerint jól definiált és fontos szerepein túlmenően a mindennapjainkban is oly nélkülözhetetlen, megújuló nyersanyagot biztosítanak számunkra. A faanyagtudomány a fatestnek, mint az ipari továbbfeldolgozás alapanyagának életútját hivatott szolgálni úgy, hogy környezetbarát eljárásokkal, tudományos érvekkel növeljék a felhasználás hatékonyságát és a beépített faanyag élettartamát. A faanyagok, fa- és faalapú termékek és ezekből készült szerkezetek élettartama növelésének alapvető kérdéseivel a faanyagvédelem szakterülete foglalkozik. A faanyagvédelmi eljárások közül a faanyagvédőszerek alkalmazása nélkül, tehát biocidmentesen megvalósíthatók különösen nagy jelentőséggel bírnak nem csak környezetvédelmi, hanem munkavédelmi és foglalkozás-egészségügyi szempontból is. A termikus faanyagmodifikációk, ahogyan látni fogjuk az alábbiakban, lényegében a technikai faanyagvédelem tárgyköréhez tartozó védőszermentes eljárások. Ennek megfelelően ebben a tankönyvben néhány szakirodalmi adatot, továbbá a saját kutatási eredményeimet is felhasználva szeretném a termikus modifikációk, ezen belül pedig kiemelten a száraz eljárások legfontosabb anyagtudományi és faanyagvédelmi összefüggéseit bemutatni. A tankönyvet kimondottan a faanyagvédelemmel felsősokú képzés keretében foglalkozó BSc és MSc faipari mérnök és mérnöktanár jelöltek, PhD. hallgatók figyelmébe ajánlom elsősorban, de bízom benne, hogy a hőkezelt faanyagokkal későbbiekben kapcsolatba kerülő pl. formatervező, építész, mérnöktanár, továbbá kutató kollégák is hasznos ismeretanyagokra lelnek benne.

1. Az alkalmazott faanyagvédelem

Az alkalmazott faanyagvédelem szakterületének tárgykörébe tartozó intézkedések sora lényegében az élő, vagy az ún. lábon álló fa kidöntésével kezdődik. A döntést megelőző időszakban az élő fák károsodási, fertőzési mechanizmusai és ezekkel kapcsolatos védelmi intézkedések a növényvédelem és ezen belül is speciálisan az erdővédelem tárgykörébe tartoznak. Ennek ellenére a faanyagok károsodásával foglalkozó tantárgyak keretében az erdőkben, még lábon álló állapotban megtörtént fakárosodások, szöveti elváltozások ismertetésével is foglalkozunk az egyetemi oktatás keretein belül. Ez azért is fontos, mivel a faipari mérnöki, vagy a későbbiekben a faanyagvédelmi szakértői gyakorlat (pl. rönkátvételi protokollok szakszerű kidolgozása, rönkök károsodásának megítélése) során elengedhetetlen az ilyen irányú ismeretanyagok elsajátítása is. E tankönyvben kizárólag azon károsodási formák, károsítók, szöveti elváltozások kerülnek említésre, melyek a hőkezelésekkel és kimondottan a magas hőmérsékletű száraz termikus kezeléssel összefüggésben felmerülnek. Ebben a fejezetben célul tűztem ki, hogy a könyv témájához kapcsolódóan röviden rávilágítsak a faanyagvédelem és azon belül is kiemelten a technikai faanyagvédelem céljaira, lehetőségeire és fontosságára.

1.1. A megelőző és megszüntető faanyagvédelem

A fa- és építőipart érintően a műszaki gyakorlatban alkalmazott faanyagvédelmi intézkedéseket a károsodás időbeni megvalósulása alapján két fő csoportba sorolhatjuk. Így a károsodásmentes faanyagok esetében megelőző, a már aktívan károsított faanyagoknál pedig megszüntető faanyagvédelemről beszélhetünk. Itt tartom fontosnak azonban kihangsúlyozni, hogy az eljárások, intézkedések során egységesen és elsősorban nem a faanyagok károsodásának (kültéri vegyes degradáció, korhadás, rovarrágás stb.), hanem azok károsításának megelőzéséről, vagy megszüntetéséről van szó. Ennek megfelelően egy műemléki értéket képviselő fa- és faalapú termék, szerkezet (pl. a műemléki értékleltárban szereplő oltár, ajtószerkezet stb.) rovarrágott állapota nem szolgáltat alapos indokot arra, hogy a károsodott faszöveti részeket „megszüntessük”, tehát pl. eltávolítsuk. Faanyagok károsítása alatt a faszöveti részeket degradáló,

lebontó, roncsoló biológiai (biotikus), és az egyéb ún. nem biológiai (abiotikus) eredetű károsító hatásokat különböztethetünk meg. A műszaki gyakorlatban a biotikus károsító hatások közé soroljuk az élőlények, élő szervezetek által kifejtett azon lebontó, roncsoló tevékenységeket, melyek a faanyag, fa- és faalapú termék, szerkezet fizikai és mechanikai tulajdonságait gyengítik. Első sorban itt a farontó gombák és rovarok károsító tevékenysége emelhető ki amellett, hogy egyéb pl. tengervízben élő szervezetek (pl. puhatestűek, rákok), továbbá a rágcsálók, madárfélék kártételét is ebbe a kategóriába sorolhatjuk. Élő fák esetében a természetjáró emberek élő fán ejtett, vagy a beépített, felhasznált faanyagok célirányos rongálási folyamatai is szűkebb értelemben ide sorolhatók. Fa- és faalapú termékek és szerkezetek (pl. parketta, lépcsőfokok) rendeltetésszerű használatából eredő kopásokat, sérüléseket külön kategóriaként tárgyalja a szakirodalom annak ellenére, hogy közvetetten az emberi tevékenység áll a károsodások hátterében. A faanyagokat érő abiotikus károsító hatások között említhetők a teljesség igénye nélkül pl. a klimatikus viszonyok változásából adódó jelenségek (nedvesedés-száradás, fagyás stb.), a napsugárzásból adódó összetett felületi degradációs folyamatok (pl. hő- és UV-sugárzás), a kémiai bomlás vagy maceráció (pl. cseréplécek vegyi bomlása), továbbá az égés is.

1.2. Technikai és kémiai faanyagvédelem

IGMÁNDY (1976) alapján a technikai faanyagvédelmi intézkedések a faanyagok veszélyeztetettségének csökkentésére irányulnak, melyekkel korlátozható, vagy adott esetben meg is szüntethetők az adott farontó szervezetek fellépésének lehetőségei. Így a faanyagok termikus modifikációja a fa- és építőipar műszaki gyakorlatában alkalmazott faanyagvédelmi intézkedések közül a technikai, vagy más szóval védőszermentes eljárások közé sorolható. Ezen gondolatmenetet folytatva, a faanyagvédőszeres eljárások, technológiák pedig a kémiai, vagy faanyagvédőszeres faanyagvédelem tárgykörébe tartoznak. A faanyagok, fa- és faalapú termékek és ezekből készült szerkezetek alkalmazott faanyagvédelme lényegében e két alapvető módszer (technikai és kémiai) kombinációiból tevődik össze. Bizonyos esetekben elegendő, ha csak technikai intézkedéseket foganatosítunk (pl. beltéri ajtók, burkolatok), de

magasabb veszélyeztetettség mellett viszont faanyagvédőszerek alkalmazására is szükség lehet. A technikai faanyagvédelem esetében beszélhetünk pusztán fizikai- és szervezéstechnikai intézkedésekről. Fizikai módszerek közé tágabb értelemben az önmagukban már bizonyos védelmet jelentő intézkedések sorolhatók, míg a szervezéstechnikai intézkedések esetében pedig önmagukban védelmet nem jelentő technológiai mozzanatok összehangolásán van a hangsúly. Ennek ellenére nyilván a fizikai faanyagvédelmi lépések és az egyéb termékelőállítási, vagy szerkezet kivitelezési mozzanatok szakszerű logikai sorrendjének biztosítása is a szervezési feladatok közé tartozik. Az előbbi csoportosítás alapján, de a teljesség igénye nélkül tekintsünk át néhány konkrét technikai faanyagvédelmi intézkedési példát.

Szervezéstechnikai faanyagvédelmi intézkedések lehetnek:

- fadöntés időpontjának és a tárolási, feldolgozási technológiai idők megfelelő megválasztása (pl. téli időszak kedvezőbb)

- beépítési időszak időjárási viszonyokhoz történő igazítása

- anyagfelhasználás, vagy beépítés folyamatának faanyagvédelmi szempontok szerinti tervezése (pl. megfelelő technológiai sorrendek biztosítása a károsodások elkerülése érdekében, beépítési környezethez igazított fanedvesség stb.)

Fizikai faanyagvédelmi módszerek közé sorolhatók pl.:

- faanyag élőnedves állapotának megőrzése, vagy a feletti nedvesség biztosítása (pl. rönkök locsolása, vízben történő áztatása, rovar- és gombakárosítás megelőzése esetén egyaránt)

- technikai szárítás és egyéb hőkezelési eljárások (bizonyos feltételek mellett rovar- és gombakárosítás megszüntetése esetén egyaránt)

- beépített faanyag kitettségi szintjének csökkentése (pl. csapó-esőtől védett tárolás-, szállítás-, építéstechnikai intézkedések)

- károsodott faszöveti részek eltávolítása az elem csonkolásával (pl. korhadás esetén)

- károsodott faszöveti részek bárdolása, forgácsolással történő eltávolítása (főként rovarkárosítás esetén)

Az előbbi rövid felsorolásból látható, hogy a technikai intézkedések ugyancsak irányulhatnak a károsítás megelőzésére, vagy annak megszüntetésére is. Alkalmazásuk, kiválasztásuk előtt alapvetően mérlegelni szükséges, hogy bizonyos intézkedések csak roncsolással, egyesek pedig roncsolásmentesen hajthatók végre.

A kémiai vagy védőszeres faanyagvédelmi eljárások alatt lényegében a technikai faanyagvédelmi intézkedéseket kiegészítő, biocidokat felhasználó technológiákról beszélhetünk. A biocidok különféle hatásmechanizmusok (vedlés-, receptorgátlás stb.) alapján a farontó organizmusok pusztulását és ezáltal a károsításuk megszüntetését előidéző kémiai anyagok. Az alkalmazott faanyavédelem szempontjából ezen biocidok közül a farontó gombák elleni fungicid (gombaölő), és farontó rovarok károsítása elleni inszekticid (rovarölő) hatású vegyületek emelhetők ki. Bizonyos fafajok gesztjének magasabb természetes tartósságához ilyen rovar- és gombaölő hatású járulékos anyagok is hozzájárulhatnak. A hazai viszonylatban a fehérakác gesztje esetében pl. a dihidrorobinetin, vagy a nemestölgyek gesztjénél pedig a kvercetin (quercetin) is jelentős szerepet játszik ezen faanyagok, vagy ezekből készült termékek, szerkezetek tartósságban, élettartamában. Az ipari technológiákban alkalmazott biocidok esetében az EU és hazánk jogszabályi környezetének megfelelően tulajdonképpen veszélyes anyagokról van szó. Az Európai Uniós jogharmonizáció következtében a biocidokkal kapcsolatos hivatalos feladatokat az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat (ÁNTSZ) látja el. Ennek megfelelően a biocid termékek közé tartozó faanyagvédőszerekkel kapcsolatos információszolgáltatást is az ÁNTSZ végzi. A „faanyagvédőszer” megnevezéssel ellátott biocid termékek a 8-as terméktípus alatt találhatók meg a közzétett adattáblázatokban. A hazánkban jogszerűen forgalmazott biocid készítményekről, keverékekről a www.antsz.hu honlapján közzétett adatok a mérvadók. Ilyen adatokat tartalmazó dokumentumok pl. a biocid termékek forgalmazásáról és felhasználásáról szóló 528/2012/EU rendelettel összhangban kiadott engedélyek, vagy a folyamatban levő engedélyezési eljárások táblázatai, melyek alapján a termékek forgalmazása Magyarországon jogszerűnek tekinthető. A tankönyv témáját szem előtt tartva a biocidokkal, kémiai faanyagvédelem készítményeivel, keverékeivel és technológiáival bővebben nem foglalkozom.

1.3. A hőkezelési eljárások faanyagvédelmi jelentősége

A fizikai intézkedési módszerek közé tartozó technikai szárítás és egyéb hőkezelési eljárások során mesterségesen kialakított klimatikus viszonyok között történik a faanyagok kezelése. Itt tartom fontosnak megjegyezni, hogy a fedett helyen betárolt és szakszerűen hézaglécezett fűrészáruk természetes száradása során pedig főként a környezeti levegő klimatikus jellemzői határozzák meg a száradás sebességét, mely tárolási technológia esetében a háziasodott farontó rovarok megtelepedése és aktív károsítása kiegészítő faanyagvédőszeres kezelés, vagy technikai szárítás hiányában nem kerülhető el.

Technikai szárítási és egyéb hőkezelési eljárások a kezelési hőmérséklet alapján lehetnek:

- faanyagok legalább 60°C-os szárítólevegőben megvalósuló szárítása

- épületek, épületszerkezetek ún. forrólevegős kezelése (50°< t <100°C)

- faanyagok főzése, gőzölése, magas hőmérsékletű szárítása (100-130°C)

- faanyagok 130°C feletti hőmérsékleten történő kezelése, modifikációja

- faanyagok, épületszerkezetek nagyfrekvenciás, vagy mikrohullámú kezelése

A faanyagok szokásos, legalább 60°C-os szárítólevegőben megvalósuló szárítása során, amennyiben kellő ideig tart a kezelés, nem csak a csökkenő fanedvesség, hanem a faanyagok felmelegedése is kedvezőtlen a rovar- és gombakárosítások szempontjából. A csökkenő fanedvesség mellett a későbbiekben megtelepedni képes farontó szervezetek száma is csökken, továbbá a kezelés során fellépő hőterhelés pedig a farontó szervezetek számára (micélium, pete, álca stb.) letális, azaz halálos dózist is jelenthet. Az 1. táblázatban MÜLLER (2005) szerkesztésében közzétett adatokat láthatunk a hazánkban is leggyakrabban előforduló egyes bazídiumos gombák hőmérséklettel összefüggő adataival kapcsolatban SCHMIDT et al. (2002a és 2002b), SCHMIDT (2003), SCHMIDT és MORETH (2003), HUCKFELDT (2003), HUCKFELDT et al. (2005) nyomán. A táblázatban közölt erdményekből megállapítható, hogy a különféle körülmények között meghatározott letális hőmérsékleti adatok jelentős eltérést mutatnak. Ennek ellenére viszont kijelenthető, hogy a hőkezelés a hőmérséklettől és

a kezelés időtartamától függően hatásosan alkalmazható az esetlegesen már megtelepedett farontó gombák elpusztítására.

1. táblázat: Egyes farontó gombák hőmérséklettel összefüggő adatai (MÜLLER 2005)

Faj	Hőmérséklet optimum agaron általánosan °C	Hőmérséklet maximum agaron, két hetes inkubáció mellett °C	Hőmérséklet maximum agaron, rövid vizsgálatnál °C (óra)	Letális hőmérséklet agaron, két hetes inkubáció mellett °C	Letális hőmérséklet száraz fában, 4 órás vizsgálatnál °C
Serpula lacrymans	20,0	25,0	55 (1)	30,0	<50-70
Serpula himantioides	25,0-27,5	32,5	-	>35,0	65,0
Coniophora puteana	22,5-25,0	27,5->37,5	55 (3)	32,5->37,5	70-75
Antrodia vaillantii	27,5-31,0	35,0	65 (3)	37,5-40,0	>80
Gloeophyllum abietinum	25,0-27,5	37,5-42,5	-	40,0-42,5	>95

Itt érdemes rövid említést tenni a FAO ISPM 15 szabvány által leírt hőkezelési eljárásról is (FAO, 2018), mely lényegében főként erdővédelmi vonatkozásokkal bír, de a faiparban gyakran faanyagvédelmi célú kezelésekkel tévesztik össze. A kezelési eljárás célja, hogy a fenyőrontó fonalféreg (*Bursaphelencus xylophilus*) nemzetközi terjedését megakadályozza. A faalapú csomagolóanyagokra a 2004/102 EK irányelv 2005-évtől hatályos, ennek megfelelően export esetén a regisztrált cégeknek akkreditált, független vizsgáló intézet tanúsítványával igazolniuk kell, hogy képesek a szabvány szerinti kezelésre (HORVÁTHNÉ, 2013). A szabvány szerint a hőkezelés során a faalapú csomagolóanyagok belső részeinek is el kell érnie a legalább 56°C anyaghőmérsékletet, továbbá ezt az állapotot legalább 30 perc időtartamig fent is kell tartani (FAO, 2018). Ezen rövid idejű kezelés során a fából készült raklapok alkotórészeinek rosttelítettségi pont alá történő szárítása egyértelműen nem tud megvalósulni, melynek következtében a termék későbbi rovar- és gombakárosítása valószínűsíthető. A DIN 68800 német faanyagvédelmi szabványban „Heißluftverfahren" szakkifejezés alatt tárgyalt fizikai intézkedési módszer az ún. forrólevegős eljárás, melyet beépített faanyagok károsításának megszüntetésében Európa szerte alkalmaznak. A forrólevegős eljárás tervezési, kivitelezési, felülvizsgálati lépéseivel jelen könyvemben részletesen nem foglalkozom, azonban néhány alapvető gondolatra szeretnék kitérni. A kezelések során főként olajtüzelésű kaloriferek szolgáltatják a forró levegőt, melyeket nem csak a beépített faanyagok, hanem a kellően leszigetelt épületrészek felmelegítésére is használnak. A könnyező házigomba (*Serpula lacrymans*) által fertőzött

épületrészek (falazatok) kezelése esetében például szigorú szakmai protokoll (DIN SPEC 68001, CEN/TR 15003) alapján kell eljárni, melynek felügyeletét független faanyagvédelmi szakértő láthatja el Németországban. A német modell alapján a hőtechnikailag legkritikusabb falazati részek (pl. boltvállak) esetében is ellenőrizni kell, hogy a szükséges paraméterek (hőmérséklet és időtartam) az előírásoknak megfelelően alakulnak-e. Ez a kivitelezés során a kritikus épületrészek furatokon keresztül történő folyamatos monitorozásával valósul meg. Az utólagosan szigetelt furatokba nem csak hőmérséklet mérésére alkalmas érzékelőket, hanem egy akkreditált laboratórium által könnyező házigombával irányítottan megfertőzött, biológiailag aktív mintát is elhelyeznek, mely esetében a kezelés után azt is igazolni szükséges, hogy a gomba ténylegesen elpusztult. Itt érdemes kihangsúlyozni az alkalmazott épületszerkezeti anyagok (fa, kő, tégla stb.) esetében a kezelés célhőmérséklete ugyancsak 100°C alatti. Vera és Tilo Haustein németországi faanyavédelmi szakértők egyetemünkön, a faanyagvédelmi kurzusok kapcsán 2017-ben tartott előadása alapján, míg 50°C célhőmérséklet mellett 16 órás hőn-tartás szükséges, addig a 60°C-ot elérve már 2 órás dózis is elegendő a könnyező házigomba elpusztításához. Megemlíthető, hogy rovarkárosítások esetén a forrólevegős kezeléseket ritkábban alkalmazzák, továbbá hazai előírások hiányában a WTA (2008-06) iránymutatásai alapján történhetnek.

1. ábra Épület (bal) és épületrész (jobb) gombakárosításának megszüntetése forrólevegős eljárással (fotó: Vera és Tilo Haustein 2017)

Az előbbiekben taglalt legalább 60°C-os szárítási hőmérséklet és a több napig (pl. bizonyos fafajoknál és magasabb induló fanedvességnél akár hetekig) tartó szárítási folyamatok során biztosított, hogy a faanyagban már jelenlévő rovarok fehérjéi koaguláljanak. GYARMATI et al. (1964)

nyomán a hazai rovarok normális aktivitási zónája 20-30°C között van, továbbá a hőhaláluk 50°C felett bekövetkezik. Ennek köszönhetően a szakszerű gyártástechnológiával, műszárított faanyagokból készülő és megfelelő kitettségi szinten beépített fatermékek és faszerkezetek (pl. ablakok, rétegelt-ragasztott tartók) esetében a rovarkárosítások mértéke elenyésző. A kedves olvasóban joggal megfogalmazódhat a kérdés, hogy például beltéri burkolatok, nyílászárók esetében miért találkozhatunk mégis a kopogóbogárfélék (*Anobiidae* spp.) károsításával bizonyos épületekben. A válasz sok esetben a szerkezetek falazattal érintkező párnafáiban keresendő, melyek faanyagvédelmi „előélete" jelentősen kétes. Amennyiben a párnafák között csak egy rovarok által aktívan károsított elem is előfordul, melyet vagy nem szárítottak, vagy nem tároltak megfelelően a gyártástechnológia során, akkor a károsítás a beépített fatermékekre is átterjedhet. Ezt a gondolatmenetet is alátámasztja, hogy SCHEIDING et al. (2016) a közönséges kopogóbogár (*Anobium punctatum*) lárvái fejlődésének alsó határát 10-12% közötti nettó fanedvességi értékben határozzák meg. Ugyanezen szakirodalom esetében érdemes továbbá megjegyezni, hogy a közzétett adatok szerint a házicincér (*Hylotrupes bajulus)* álcái még alacsonyabb, u=8-10 % nedvességtartalmi érték mellett is életképesek maradhatnak. Ezen alacsony fanedvességi értékeket a szakértői gyakorlat is alátámasztja. Az érdekesség kedvéért megemlítem, hogy az egyetemi irodámban immáron negyedik hónapja tárolok egy házicincér által aktívan károsított fenyő gerenda darabot, melynek 13 mm-es mélységig (WS 13 dielektromos elven működő nedvességmérővel) meghatározott átlagos nettó nedvességtartalma e sorok írása pillanatában már csak 8% körüli volt, de a kb. 1-2 cm mélyen tartózkodó lárva rágása továbbra is hallható.

A faanyagok főzését, gőzölését főként plasztifikációs vagy színmodifikációs célzattal hajtják végre, melyek esetében a 100°C-ot is meghaladó kezelési- és anyaghőmérséklet a kellő hőn-tartás mellett az ott megtelepedő farontó organizmusok pusztulását idézi elő. A fedélszékek gyakori károsítója, a fenyő lemezestapló (*Gloeophyllum abietinum*) hőrezisztenciája ugyan kiemelkedő (1. táblázat), de a közölt adatok alapján négy órás hőhatás és 95°C-nál magasabb hőmérséklet már e fajnál is letális dózisnak minősül (MÜLLER szerk., 2005). Így a 100°C felett megvalósuló ún. magashőmérsékletű szárítási, préselési technológiáknál a felmelegítés módjától (hőátadás, dielektromos elven történő melegítés stb.) függetlenül az eddig említett hőn-tartási időknél alacsonyabb értéken is megvalósulhat

a faanyagokon megtelepedő gombák pusztulása. A szabványos faanyagvédelmi vizsgálatokhoz szükséges, laboratóriumi körülmények között végzett szakszerű sterilizálási hőkezelési eljárások 120°C hőmérsékletű vízgőz jelentétében autoklávban valósulnak meg. GYARMATI et al. (1964) által megnevezett források szerint (BECKER és LOEBE, 1961) a faanyagban élő farontó rovarok álcáinak elpusztításához szükséges hőn-tartási idő már 60°C hőmérséklet mellett is jelentősen lecsökken. Az általuk közzétett diagramm alapján, míg a házicincér (*Hylotrupes bajulus*) hőhalála egy órán belül bekövetkezik, addig a közönséges kopogóbogár (*Anobium punctatum*) és a barna szijácsbogár (*Lyctus brunneus*) esetén már 20 perces hőhatás is elegendő. Az eddig leírtak alapján az eljárásokkal kapcsolatos lényegi kérdések, hogy milyen hőmérsékleti viszonyok alakulnak ki a kezelni kívánt faanyag teljes keresztmetszetében és azok mennyi ideig állnak fenn. A megszüntető faanyagvédelem egy lehetséges, ám viszonylag költségesebb megoldása a beépített faanyagok nagyfrekvenciás, vagy mikrohullámú (2. ábra) lokális kezelése. A Soproni Egyetem Cziráki József Doktori Iskola aktuálisan futó PhD. programja keretében a Faanyagtudományi Intézetben vizsgáljuk például a mikrohullámú kezelésekkel kapcsolatos paraméterek befolyását is. Az egyetemünkön is folyó faanyagmodifikációs hőkezelési kísérletek közül a száraz termikus modifikációval kapcsolatos legfontosabb ismeretanyagok az alábbiakban kerülnek részletes bemutatásra. A továbbiakban a „hőkezelés” szakkifejezés alatt a tankönyv fő témájának megfelelően a termikus modifikációt értem.

2. ábra Téglafal gomba- (bal) és fedélszéki elemek rovarkárosításának (jobb) megszüntetése mikrohullámú eljárással (fotó: Papp László 2018)

1.4. Összefoglalás

A fentiekben láthattuk, hogy a fa- és építőiparban alkalmazott faanyagvédelem szakterületének, kompetenciájának hatásköre a lábon álló fa kidöntésétől számítva a felhasználáson át lényegében a hulladékká válásig tart. Alapvetően a védekezés során a faanyagok biotikus és abiotikus károsításának megelőzésére vagy megszüntetésére irányul. Az alkalmazható faanyagvédelmi technológiák között a technikai faanyagvédelem biocid-, azaz faanyagvédőszermentes fizikai és szervezéstechnikai intézkedésekkel valósítható meg. A szakszerűen átgondolt és megvalósított fa- és építőipari technológiák során elsődleges feladatunk a megelőző technikai faanyagvédelmi intézkedések végrehajtása. Amennyiben a megelőző technikai faanyagvédelmi szempontok betartása mellett a felhasználási, kitettségi körülményeknek a rendelkezésre álló, vagy a megrendelő által megkívánt faanyag, vagy faalapú termék (rétegelt lemez, egyéb ragasztott fatermékek stb.) természetes tartóssága nem felel meg, akkor kiegészítő faanyagvédőszeres eljárás alkalmazása szükséges. Ahogy láthattuk az előző alfejezetekben a megelőző és megszüntető faanyagvédelmi eljárások során a technikai- és a védőszeres eljárások együttesen is alkalmazhatók. Itt érdemes kihangsúlyozni, hogy a német szaknyelv a gombakárosítás esetében pl. épületek falazatainak, faanyagainak kezelésére alkalmazott védőszerek esetében ún. „megszüntető” hatású készítményeket nem nevesít. Ez lényegében abból a gondolkodásból is ered, hogy a gombák a rovarokkal ellentétben nem csak lokálisan vannak jelen a faanyagban, hanem nagy területeket (egyéb anyagokból készült falazatokat, födémeket stb.) képesek a gombafonalaik segítségével behálózni és így ezen élőlények védőszeres eljárásokkal történő irtása, károsításának teljes megszüntetése kevésbé lehetséges. Így Németországban farontó gombák ellen kizárólag megelőző faanyagvédőszert forgalmaznak, mely arra is emlékezteti a szakkivitelezőket, hogy a kezelések előtt a szükséges megszüntető technikai intézkedéseket (csonkolásokat, fertőzött falazat vakolatának eltávolítását vagy adott esetben roncsolásmentes eljárásokat stb.) is el kell végezni a gombamentesítés során.

A termikus faanyagmodifikációs eljárások ezen szakmai alapfogalmak tisztázását követően egyértelműen biocidmentesek, így technikai faanyagvédelem tárgykörén belül tárgyalhatók.