



# A hőkezelés hatása a faanyagok tulajdonságaira

## I. rész: A hőkezelt bükk és csertölgy gombaállósága

HORVÁTH Norbert<sup>1</sup>, CSUPOR Károly<sup>1</sup>, MOLNÁR Sándor<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NymE, Faanyagtudományi Intézet

### Kivonat

A Faanyagtudományi Intézet vezetésével hazai alapanyagbázisra épülő laboratóriumi és félüzemi kísérletek folytak egy ipari méretű hőkezelő berendezés létesítése céljából. A kevésbé tartós hazai lombos fafajok kísérletbe vonásával azt tűztük ki célul, hogy jó minőségű, repedésmentes, megfelelő szilárdságú és tartósságú faanyagot eredményező kezelést fejlesszünk ki. A vizsgálatok során a faanyag fizikai és mechanikai tulajdonságainak meghatározása mellett különös figyelmet szenteltünk a farontó gombákkal szembeni ellenálló képesség változására is. Ezen a területen az átfogó tudományos eredmények hiánya nem csak a hazai ültetvényes fafajok (nyár, akác), hanem a csertölgy és bükk fafajok vizsgálatát is szükségessé tették. A hőkezeléseket 180 és 200 °C hőmérsékleten, különböző kezelési idők mellett normál légköri levegőben végeztük. A vizsgálati anyagok előállítására az erre a célra kifejlesztett félüzemi berendezést alkalmaztunk. Cikksorozatunk első része a bükk (*Fagus sylvatica L.*) és csertölgy (*Quercus cerris L.*) faanyagokkal végzett gombaállósági kísérleteket mutatja be. Vizsgálataink alátámasztották, hogy a hőkezelés hatására javul e faanyagok farontó gombákkal szembeni ellenálló képessége.

**Kulcsszavak:** hőkezelés, gombaállóság, tartósság

## The effect of thermal treatment on wood properties

### Part 1: Fungal decay resistance of thermally treated beech and Turkey oak

#### Abstract

The primary goal of the presented study was to promote the production of thermally treated wood in Hungary. In the research, the most important Hungarian hardwood species with low fungal decay resistance, Turkey oak (*Quercus cerris L.*) and beech (*Fagus sylvatica L.*) were investigated. The thermal treatments were carried out under atmospheric conditions. The temperature of the treatments ranged between 180-200°C with a wide range of treatment times. The most important physical and mechanical properties of Turkey oak and beech were analysed using the European Norms (EN). This part of our series of articles deals with the wood decay tests carried out with *Daedalea quercina* and *Coriolus versicolor*. Based on the results, the fungal decay resistance can be enhanced for the wood species studied. Due to the success of this endeavour, the industrial production of thermally treated wood will be started in the near future.

**Key words:** heat treatment, fungal decay resistance, durability

#### Bevezetés

Napjainkban a faanyagtudomány sokat emlegett és szinte külön szakterületként tárgyalt ága a faanyagmodifikáció. E fogalom alatt Bosshard (1984) nyomán olyan módosító eljárást értünk, mely megvál-

toztatja a faanyag konstitúcióját azzal a céllal, hogy a felhasználás szempontjából a faanyag előnyös tulajdonságokra tegyen szert és ezzel alkalmazási területét szélesítse, új termékek előállítását biztosítsa. Az eljárások között a szakirodalom külön tárgyalja a kémiai és

az úgynevezett termikus modifikációt. Míg a kémiai modifikáció során különböző anyagokat juttatnak a faanyagba, addig hőkezeléskor a mérsékelt hőhatás következtében bekövetkező átalakulások járulnak hozzá, hogy új tulajdonságokkal ruházzuk fel alapanyagainkat. Itt szükséges megjegyezni, hogy a gőzölés technológiáját a szakirodalom nem sorolja a faanyagmodifikáció tárgykörébe. A szakirodalom e témakörnek a múlt századba visszanyúló történetét 1920-tól jegyzi mikor is Tiemann megállapította, hogy megnövelt szárítási hőmérséklettel növelhető a faanyag dimenzióstabilitása. A harmincas évek második felében Stamm és Hansen (1934) voltak azok a kutatók, akik a fa termikus modifikációjával elsőként foglalkoztak. Megállapításaik szerint a fanedvesség befolyása jelentős a kezeléseknél, valamint az oxigén jelenléte drasztikus csökkentő hatással van a kezelt anyagok szilárdsági jellemzőire.

Az ezt követő időszak egészen a hetvenes évek végéig számos tudományos eredménnyel szolgált. Hazánkban 1961-ben az egykori Faipari Kutatóintézetben Barlai Ervin is végzett fanemesítési kísérleteket az iróngyártás alapanyagainak hazai fajokkal történő helyettesítése céljából. E tanulmány főként a hazai lombosok azon fizikai tulajdonságait helyezte előtérbe, melyek az iróngyártás szempontjából fontosak. A Nyugat-magyarországi Egyetemen 2004-től folynak hőkezelési kísérletek a hazai lombosok egyéb tulajdonságainak feltárása és az ipari fejlesztés megalapozásának céljából.

### A faanyag termikus modifikációja

Szűkebb értelemben vett hőkezelésen azt a faanyag-szárítás szokványos hőmérséklettartományainak túllépésével végrehajtott hőközlést értjük, mely a bomlásfolyamatoknak köszönhetően már szignifikánsan megváltoztatja a faanyag egyes tulajdonságait. A hőkezelés következtében a faanyagok szerkezete, összetétele a különböző fizikai és kémiai folyamatokon keresztül megváltozik. A hőhatás következményeként a kémiai összetevők bomlása megindul, a faanyag zsugorodik és egy kompaktabb szerkezet alakul ki (Németh 1998). Az -OH csoportok lehasadásával, és szférikus okok miatt a szerkezet higroszkóposága csökken, így az egyensúlyi fanedvesség is csökken. Ennek következtében a hőkezelt faanyagok méretstabilitása növekedik. A drezdai (IHD) laborvizsgálatok eredményei alapján a hőkezelt faanyagok a farontó gombákkal szemben ellenállóbbnak mutatkoznak és a folyamatosan végzett kültéri vizsgálatok kezdeti eredményei azt sejtetik, hogy a faanyag természetes tartóssága is növelhető az eljárással (Scheiding 2006). Az MSZ EN 350 szabvány a faanyagokat a gombakárosítókkal szembeni tartósság alapján

öt fokozatú skálával minősíti. Ladner és Halmschlagner (2002) szerint hőkezeléssel a lucfenyő „gyengén tartós” 4. osztályú minősítését a „nagyon tartós” 1. osztályúvá lehet javítani. A hőbomlás velejárója a faanyagok színének változása is. Bourgois és társai (1991) a színváltozás méréséből próbáltak a bomlás fokáról információt szerezni. Erdeifenyő próbatesteken a „CIE Lab” és a „Hunter Lab” elemzők segítségével mérték, de a paraméterek ingadozása miatt nehéz volt a jó korreláció felállítása. A rostirányú nyomószilárdság kivételével a faanyagok szilárdsága a hőbomlás előrehaladtával jelentősen csökken. Niemz és társai (2003) a sejtfalakban bekövetkezett repedések keletkezésére is felhívják a figyelmet, mely az alapanyagok viselkedését erősen befolyásolja. Rámutatott, hogy a hőkezelt faanyagok barnás színe nem UV-stabil, kültéren hasonló módon a kezeletlen faanyaghoz beszűrül.

A hő segítségével végzett faanyagmodifikációs eljárások a kezelőközeg és a kezelési menetrend tekintetében eltérőek lehetnek. A hőátadó közeg szerint beszélhetünk folyadék vagy gáz alkalmazásával kivitelezett technológiákról. Laboratóriumi kísérletek folytak a vákuumban történő kezelésekre is, de a hőátadás problematikája, a vákuumszivattyú savas bomlástermékek miatti sérülésveszélye miatt e technológia nem terjedhetett el. Folyadék, mint hővezető közeg alkalmazásánál a növényi eredetű olajok, mint a repce-, lenolaj stb. említhetők, de ipari elterjedése nem jelentős. Gázban történő kezeléseknél a normál légköri levegő, a füstgáz, az inert gázatmoszféra említhetők. A gyártási technológiák közül a száraz levegőben végzett hőkezelések a legelterjedtebbek, leggazdaságosabbak (Scheiding 2006). Ezen megfontolások alapján a hazai kutató- és fejlesztőmunka is ebben az irányban fejlődött tovább. A bomlási folyamatok hatásának vizsgálata a hazai alapanyagok tekintetében egy összetett, a legfontosabb tulajdonságokra kiterjedő vizsgálatosorozatot tett szükségessé. Az elmúlt évek hazai kutatásainak köszönhetően a GVOP- „Vegyszermentes faanyagvédelem” projekt keretein belül nyílik lehetőség a közeljövőben hazai hőkezelt fa ipari előállítására.

### Vizsgálati anyagok és eljárások

Kutatásaink során egy termőhelyről származó törzseket vizsgáltunk, melyekben a juvenilis fa részarányát a bélkörűli kb. 5-10 évgűrű eltávolításával minimalizáltuk. A szelvényáruk mérete az anatómiai főirányoknak megfelelően sugár- (r), tangenciális (t) és rostirányban (l) 35×75×300 mm volt.

A hőkezeléseket 180 és 200 °C-on végeztük el és a kezelési időket az első menetrendhez képest két-

és háromszoros értékre állítottuk be. Ennek megfelelően történt a minták kódolása is. A 180 °C-os csoporthoz tartozó kontroll minták pl. a „180 °C kontroll” jelölést kapták, a kezelési idő egységnyi növelésére az „1., 2. ill. 3. menetrend” jelölések utaltak. A kezelések a Faanyagtudományi Intézet kísérleti berendezésében (1. ábra) folytak normál légköri levegő alkalmazásával. A berendezésben belső légfűtést alkalmaztunk, bordázott 2 pár U-alakú, egyenként 750W teljesítményű elektromos fűtőszállal, melyeket a hátsó falon elhelyezett acéllemez választ el a kezelőtértől. A levegő keringetését, a kaloriferek felett elhelyezett, alumínium ventilátorok biztosítják. A hőfokszabályzást PT100-as termoelemmel és Siemens szabályzóegységgel oldottuk meg. A berendezést tűzbiztonsági okokból hőkorláttal és inert gázos elárasztó egységgel szereltük fel. A hőkezelt szelvényárukból a pihentetést követően fűrészeltük ki a gombaállósági próbatesteket. A statisztikai minták 25 darabosak voltak, és a kiértékelést az SPSS program segítségével végeztük el. Az elemzés során az alapstatisztikák mellett a minták szórás-elemzésével, az ún. ANOVA analízissel a mintasorozatok kontrollhoz és egymáshoz viszonyított szignifikancia-vizsgálata is lehetővé vált.

### A gombaállóság meghatározása

A hőkezelt faanyagok farontó, bazídiomos gombákkal szembeni ellenálló képességét az MSZ EN 113 szabvány alapján határoztuk meg. A bükk esetében lepketapló (*Coriolus versicolor*) gombafonalait oltottuk a maláta-agar táptalajra. A lepketapló a szabványban szereplő vizsgálati gombafaj, mely erőteljes fehérkorhadást okoz. A károsítása nemcsak erdőkben, tuskókon, fatelepeken, hanem nedves helyre beépített faanyagoknál is jelentkezik. Igen gyakori az előfordulása és szinte minden lombfán megtalál-



1. ábra Kísérleti hőkezelő kamra

Figure 1 Chamber for laboratory heat treatment

ható. Gesztes fákon főleg a szijácsot, de szijácsfákon az érett farészt is bontja. A korhasztott faanyag sárgás színűvé válik, és ekkor már kézben könnyen szétmorzsolható állagú. Cser vizsgálatánál labirintustapló (*Daedalea quercina*) tenyészetet alkalmaztunk, mely az MSZ EN 113 szabványban, mint ajánlott vizsgálati faj nem szerepel, de ugyancsak a bazídiomos gombákhoz tartozik és a tölgyfélék gyakori károsítója. Az erdők tuskóin kívül a frissen döntött tölgyek gesztjét is megtámadja, erőteljes barnakorhadást okoz. A cseresekben ritkábban figyelhető meg, de a beépített cserfában ugyancsak károsít. A próbatestek méreteit a kutatás volumenéhez igazítottuk. Az anatómiai irányoknak megfelelően a próbatestek befoglaló mérete rost-, húr- és sugárirányban 6×20×20 mm volt.

A századgramm pontossággal lemért tömegű, abszolút száraz próbatestek lombikba történő behelyezését csíramentes környezetben végeztük (2. ábra). A behelyezést követően a visszadugózott Kolle-lombikok termosztátba kerültek, mely a vizsgálat ideje alatt állandó, 23 °C-os belső hőmérsékletet biztosít a gomba fejlődéséhez. A szabványos vizsgálat 16 hétig tart, melyet a próbatest-méret, és az egy lombikba elhelyezett faanyagtömeg csökkentése miatt lerövidítettünk. A vizsgálati időt így 12 hétben határoztuk meg, melynek elteltével a kisméretű próbatestek még egészben, elporlás nélkül visszamérhetőek voltak. A mérés során az abszolút száraz tömeghez viszonyított gombabontás, azaz tömegcsökkenés mértéke került meghatározásra. A vizsgálati idő elteltével a próbatestek abszolút száraz tömegét a gombafonalaktól megtisztított állapotban ugyancsak századgramm pontossággal határoztuk meg. A gombabontás mértékét a következő képlettel számítottuk ki:



2. ábra A próbatestek gombatenyésztésre helyezése oltófülkében

Figure 2 Loading of the samples in a fungus breeding chamber

$$\Delta m_g = \frac{m_o - m_{o,g}}{m_o} \times 100$$

ahol:

$\Delta m_g$  – tömegcsökkenés, a gombabontás mértéke, [%]

$m_o$  – az abszolút száraz, kezdeti tömeg, [g]

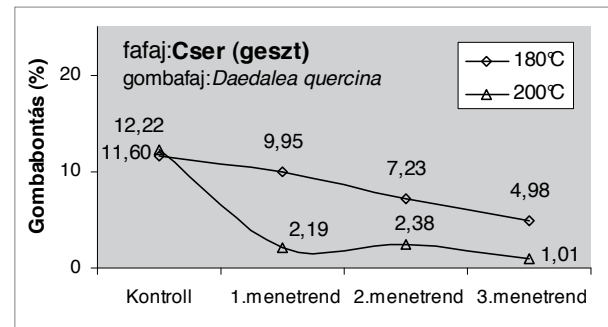
$m_{o,g}$  – az abszolút száraz tömeg a gombabontás után, [g]

Minél kisebb a bontás mértéke, annál ellenállóbb a faanyag a gomba enzimatikus bontásával szemben.

### Eredmények és értékelés

Mivel az MSZ EN 350-2 szabvány szerint minden faanyag szíjácsát az 5. osztályba, azaz a „nem tartós” faanyagok kategóriájába kell sorolni, ezért a cser-tölgy esetében a gesztet és szíjácsot külön vizsgáltuk. Ugyanezen szabvány szerint a csertölgy gesztje a 3. azaz a „közepesen tartós” osztályba sorolandó. Vizsgálati eredményeink igazolták, hogy a labirintustapló enzimatikus bontásával szemben a cser gesztje ellenállóbb. A kezeltlen próbatesteken mért átlagos tömegcsökkenés, azaz a gombabontás mértéke a szíjács esetében több mint kétszeres volt. A 3. ábra a cser gesztjével végzett gombavizsgálat eredményét szemlélteti. Mindkét hőfokhoz egy-egy kontrollcsoportot is megvizsgáltunk úgy, hogy a lombikokba egy időben kezelt és kezeltlen próbatesteket is helyeztünk.

A 180 °C-os kezeléseknél a kezelési idő növelésével a gombabontás mértéke csökkent. Az első, azaz a legrövidebb menetrend még nem hozott szignifikáns eltérést a kezeltlen minták átlagaihoz képest. A kezelési idő további növelésével nem csak a kezeltlenekhez képest, de az egyes menetrendek között is jelentős eltérések mutatkoztak. A 200 °C-os kezelések esetében már az első menetrend is szignifikáns eltérést okozott a mintaátlagokat tekintve. Ezen a hőfokon rendkívül alacsony, azaz mindhárom esetben 3% alatti gombabontást tapasztaltunk. Az első menetrendhez képest



**3. ábra** Cser geszt minták átlagos gombabontása (a görbék a szem vezetésére szolgálnak)

**Figure 3** Average decay of Turkey oak heartwood samples

a kezelési idő további növelése ebben az esetben már teljesen szükségtelen. A minták leíró statisztikáját és szignifikancia-vizsgálatát az 1. táblázat foglalja össze. A cser szíjácsával végzett vizsgálatok is hasonló eredményeket hoztak azzal a különbséggel, hogy a gombák számára táplálékban gazdagabb, fungicid anyagokban viszont szegényebb szíjács a labirintustabló enzimatikus bontásával szemben kevésbé volt ellenálló. Míg a labirintustapló a natúr cser gesztnek alig több mint egy tizedét, addig a szíjácsnak egy negyedét bontotta le az inkubációs idő alatt.

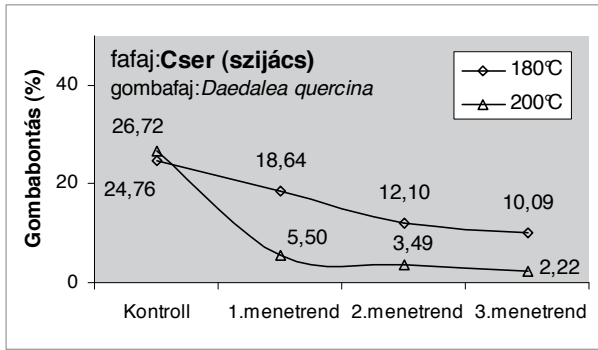
A cser szíjácsából kikerült próbatestek átlagos gombabontását a 4. ábra szemlélteti. A hőkezelés módosító hatása már a 180 °C-on kivitelezett első menetrendnél is megfigyelhető volt. A kezeltlen próbatestek mintaátlagától való eltérés mindhárom menetrend esetében szignifikáns volt. Az első menetrend kezelési idejének lineáris növelésével a szíjács esetében is csökkent a gombabontás mértéke. A második és harmadik menetrend esetében a mintaátlagok egymástól való eltérése azonban nem tekinthető szignifikánsnak. A 200 °C-os kezelések a szíjácsnál is markánsabb eltéréseket okoztak. Az első menetrend hatására a gombabontás több mint 20 százalékpontos javulást eredményezett a natúr minták gombabontásához képest.

**1. táblázat** Cser geszt minták gombabontásának leíró statisztikája és szignifikancia-vizsgálata

**Table 1** Statistics and significance analysis of fungal decay of Turkey oak heartwood samples

Cser geszt		Gombabontás (%)		Szignifikancia-vizsgálat, $\alpha=0,05$			
		x	s	Kontroll	1.menetrend	2.menetrend	3.menetrend
180°C	Kontroll	11,60	2,40	-	-	-	-
	1.menetrend	9,95	2,64	nem	-	-	-
	2.menetrend	7,23	2,98	igen	igen	-	-
	3.menetrend	4,98	2,15	igen	igen	igen	-
200°C	Kontroll	12,22	3,96	-	-	-	-
	1.menetrend	2,19	0,52	igen	-	-	-
	2.menetrend	2,38	0,60	igen	nem	-	-
	3.menetrend	1,01	0,65	igen	nem	nem	-





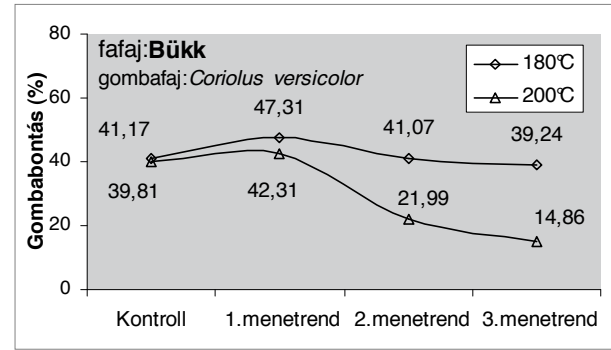
**4. ábra** Cser szijács minták átlagos gombabontása (a görbék a szem vezetésére szolgálnak)

**Figure 4** Average decay of Turkey oak sapwood samples

A kezelési idő növelésével a mintaátlagok ugyancsak csökkenést mutattak, de az első menetrendhez képest csak a harmadik esetében volt szignifikáns az eltérés. A gombabontás mértéke ebben az esetben már csak 2,22 % volt. A cser szijács minták leíró statisztikáját és szignifikancia-vizsgálatát a 2. táblázat összegzi.

A bükk esetében a lepkeapló enzimatikus bontását határoztuk meg úgy, hogy a lombikok ugyancsak tartalmaztak kezelt és kezeletlen próbatesteket is. Vizsgálataink alapján a 180 °C-os kezelések nem hoztak szignifikáns javulást a gombaállóság tekintetében. Az első menetrenddel való kezelésnél a gombabontás kismértékű, de már szignifikánsnak ítélt növekedését figyeltük meg. Ez feltehetően csak a lombikok közötti gomba-virulencia különbségekre vezethető vissza. Itt tartjuk fontosnak megjegyezni, hogy a kezdeti bomlástermékek, enyhe savak is hozzájárulhatnak a virulencia növeléséhez. A bükk minták átlagos gombabontásának alakulását az 5. ábra szemlélteti.

A 200 °C-on végzett első menetrend a 180 °C-os menetrendekhez hasonlóan nem okozott javulást a lepkeapló bontásával szemben. A kezelési idő további növelése már közel 20 százalékpontos csökkenést hozott a második menetrend esetében. Ezen a hőfokon a harmadik menetrenddel való kezelésnél tapasztaltuk a legna-



**5. ábra** Bükk minták átlagos gombabontása (a görbék a szem vezetésére szolgálnak)

**Figure 5** Average decay of beech wood samples

gyobb eltérést, de az átlagos gombabontás még mindig elég magas, 14,86 % volt. A bükk minták leíró statisztikáját és szignifikancia-vizsgálatát a 3. táblázat összegzi. A hőkezelés során lebomlott kémiai alkotók – melyek a hőbomlás kezdeti stádiumban főként a járulékos anyagok, hemicellulózok és kismértékben a lignin – mennyisége a hőkezelési tömegcsökkenéssel ( $\Delta m_p$ ) becsülhető. A hő vagy a gombák által lebomlott alkotók pontos kvantitatív és kvalitatív meghatározása további kémiai vizsgálatokat igényel és várhatóan még érdekes eredményekkel szolgál majd. Vizsgálatainkban a próbatestek abszolút száraz tömeghez viszonyított hőkezelési tömegcsökkenésének mérésére tértünk ki, melyet a hőkezelőtérbe lógatott mérlegkar segítségével oldottunk meg. Az így kapott átlagos tömegcsökkenési adatok statisztikai vizsgálata alátámasztotta, hogy a hőkezelési tömegcsökkenés jól korrelál a gombabontással. A korrelációs együttható cser geszt esetében -0,939, bükknél -0,866 volt. A 4. táblázatban a hőkezelés okozta tömegcsökkenés és a korrigált gombabontás ( $\Delta m_g^*$ ), azaz a hőbomlás előtti abszolút száraz tömeghez viszonyított tömegcsökkenés alakulása figyelhető meg. Az ún. összdegradációs tömegcsökkenés e két oszlop elemeiből számítható. Az összdegradációs tömegcsökkenés fogalma természetesen csak a minimális gombabontás eléréséig ér-

**2. táblázat** Cser szijács minták gombabontásának leíró statisztikája és szignifikancia-vizsgálata

**Table 2** Statistics and significance analysis of fungal decay of Turkey oak sapwood samples

Cser szijács		Gombabontás (%)		Szignifikancia-vizsgálat, $\alpha=0,05$			
		x	s	Kontroll	1. menetrend	2. menetrend	3. menetrend
180°C	Kontroll	24,76	5,35	-	-	-	-
	1. menetrend	18,64	4,83	igen	-	-	-
	2. menetrend	12,10	3,69	igen	igen	-	-
	3. menetrend	10,09	2,17	igen	igen	nem	-
200°C	Kontroll	26,72	5,28	-	-	-	-
	1. menetrend	5,50	1,24	igen	-	-	-
	2. menetrend	3,49	1,73	igen	nem	-	-
	3. menetrend	2,22	1,06	igen	igen	nem	-

telmezhető, mely fogalom összehasonlítási lehetőséget nyújt arra, hogy mennyire ekvivalens a hőkezelés és az enzimatikus gombabontás során lebontott összes faanyagtömeg a kezeletlen próbatestek gombabontásával. A bükk minták  $\Delta m_{\text{össz}}$  oszlopát tekintve látható, hogy csökkenés csak a 200 °C-os második menetrend esetében volt tapasztalható. A kezelési idő további növelésével már a hőkezelési tömegcsökkenés magasabb volt, mint a gombabontás mértéke, de az összdegradáció a második menetrend mintáihoz képest ismét csökkent. A cser geszt esetében nem figyelhető meg ilyen markáns csökkenés, sőt a 200 °C-os harmadik menetrend esetében már a hőkezelés okozta tömegcsökkenés magasabb a kezeletlen minta gombabontásánál. A 4. táblázat értékei arra engednek következtetni, hogy gombaállóság javulását nagymértékben meghatározza a hődegradáció által lebomlott faalkotók hiánya, de a  $\Delta m_{\text{össz}}$  csökkenése fungicid bomlástermékek keletkezését is valószínűsíti, illetve bomlástermékek további kémiai elemzésének szükségességét indokolja.

### Összegzés

Vizsgálataink alapján megállapítható, hogy a hőkezeléssel csökkenthető a gombabontás mértéke, de a hőkezelés okozta tömegcsökkenés árnyalja a gombaállósági eredményeket. A cser gesztje az MSZ EN 350 szerint a közepesen tartós kategóriába sorolandó, míg a szijácsa a gyengén tartós faanyagok közé tartozik. A 200 °C-os

hőkezelések eredményeiből arra a következtetésre jutottunk, hogy a labirintustapló enzimatikus bontásával szemben a hőkezelt geszt és a szijács már nem tekinthető a tartósság tekintetében különbözőnek, jóllehet a kezeletlen gesztnél csak feleakkora (12%) gombabontás volt tapasztalható, mint a szijács esetében. Megállapítást nyert, hogy 200 °C-os hőkezeléssel eltérő kezelési idők mellett ugyan, de a gombabontás mértéke mindkét fa-szöveti résznél 3% alá csökkenthető.

Bükk esetében a 180 °C-os kezelések során nem tapasztaltunk a gombaállóság tekintetében javulást, s eredményeink arra engednek következtetni, hogy a kezdeti, enyhén savas bomlástermékek a lepketapló virulenciáját kismértékben növelhetik is. A 200 °C-os modifikációk kezelési idejének növelésével már számottevő javulást tapasztaltunk a bükk fájánál is, mely a harmadik menetrend esetében már közel 25 százalékpontos gombabontás csökkenést jelentett. Eredményeink előrevetítik, hogy a kezelési idő további növelésével a 200 °C-on elért 14,86 %-os gombabontás még tovább csökkenthető. Vizsgálataink rámutattak, hogy a gombaállóság javulását nagymértékben meghatározza a hő által lebomlott faalkotók hiánya, de a teljes degradációs tömegcsökkenés mérséklődése fungicid bomlástermékek keletkezését is valószínűsíti.

Mindezek mellett meg kívánjuk jegyezni, hogy a faanyag csökkent higroszkóposága is hozzájárulhat a

### 3. táblázat Bükk minták gombabontásának leíró statisztikája és szignifikancia-vizsgálata

Table 3 Statistics and significance analysis of fungal decay of beech wood samples

Bükk		Gombabontás (%)		Szignifikancia-vizsgálat, $\alpha=0,05$			
		x	s	Kontroll	1.menetrend	2.menetrend	3.menetrend
180°C	Kontroll	41,17	5,72	-	-	-	-
	1.menetrend	47,31	7,36	igen	-	-	-
	2.menetrend	41,07	4,40	nem	igen	-	-
	3.menetrend	39,24	5,72	nem	igen	nem	-
200°C	Kontroll	39,81	3,58	-	-	-	-
	1.menetrend	42,31	6,61	nem	-	-	-
	2.menetrend	21,99	7,27	igen	igen	-	-
	3.menetrend	14,86	7,00	igen	igen	igen	-

### 4. táblázat A vizsgálati anyagok összdegradációja

Table 4 Total degradation of test materials

A teljes degradációs tömegcsökkenés (%)		Bükk			Cser (geszt)		
		$\Delta m_g$	$\Delta m_h$	$\Delta m_{\text{össz}}$	$\Delta m_g$	$\Delta m_h$	$\Delta m_{\text{össz}}$
kontrollcsoportok átlaga		40,49	-	40,49	11,91	-	11,91
180°C	1. menetrend	46,06	2,63	48,69	9,79	1,59	11,38
	2. menetrend	39,68	3,37	43,06	7,03	2,64	9,67
	3. menetrend	37,12	5,41	42,53	4,79	3,82	8,61
200°C	1. menetrend	38,55	8,90	47,44	2,02	7,67	9,69
	2. menetrend	19,24	12,49	31,73	2,14	10,12	12,25
	3. menetrend	12,63	15,05	27,67	0,88	12,29	13,18



gombaállóság növekedéséhez. Ugyan mindkét vizsgálati gombafaj képes a hemicellulózok lebontására, de az egyéb faalkotók mit a lignin, cellulóz és járulékos anyagok hő- ill. enzimátikus degradáció előtti és utáni mennyiségi ismerete által kaphatunk csak teljes képet a lezajló folyamatokról.

#### Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak a Gazdasági és Közlekedési Minisztériumnak a GVOP-3.1.1-2004-05-0428/3.0 „Vegyszermentes faanyagvédelmi eljárás kidolgozása és kísérleti berendezés megépítése” c. projekthez nyújtott támogatásért.

#### Irodalomjegyzék

- Barlai E (1961) Fanemesítés termikus eljárással. Faipari Kutatások 1961/1., 79
- Bosshard H (1984) Holzkunde Band 3, Aspekte der Holzbearbeitung und Holzverwertung, Brikhäuser Verlag, Stuttgart
- Bourgeois J, Janin G, Guyonnet R (1991) La mesure de couleur: une méthode d'étude et d'optimisation des transformations chimiques du bois thermolysé. Holzforschung 45:377-382
- Ladner C, Halmschlagner E (2002) Dauerhaftigkeit von modifiziertem Holz gegenüber holzzerstörenden Pilzen. Modifiziertes Holz - Eigenschaften und Märkte, Band 3, BOKU, Wien, 191-220,
- Németh K (1998) A faanyag degradációja. Szaktudás Kiadóház Rt.
- Niemz P, Mariani S, Torres M (2003) Einfluss der thermischen Vorbehandlung auf Holz. Holz-Zentralblatt 42:2
- Scheiding W (2006) 4. Europäischer Thermoholz-Workshop-Leipzig, Tagungsband CD
- Stamm AJ, Hansen LA (1937) Minimizing wood shrinkage and swelling: Effect of heating in various gases. Industrial & Engineering Chemistry Research 29(7):831-833
- Tiemann HD (1920) Effect of different method of drying on the strength and hygroscopicity of wood, 3rd ed. The kiln drying of lumber. J.P. Lippincott Co., Philadelphia, 256-264
- MSZ EN 113: 2001 A farontó bazídiomos gombák elleni megelőző hatásosság meghatározásának vizsgálati módszere. A hatásosság határértékének meghatározása
- MSZ EN 350-2:1998 A fa és a fa alapanyagú termékek tartóssága. A tömör fa természetes tartóssága. 2. rész: Egyes jelentős európai fafajok természetes tartósságára és kezelhetőségére vonatkozó útmutató szabványok

## Dioxinok keletkezése különös tekintettel a megújuló energiát használó kazánokra

JUVANCZ Zoltán<sup>1</sup>, PATKÓ István<sup>1</sup>, SZERLETICSNÉ TÚRI Mária<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki Főiskola, Környezetmérnöki Intézet

<sup>2</sup> Magyar Élelmiszer-biztonsági Hivatal

#### Kivonat

A dioxin vegyületcsalád számos tagja rendkívül intenzív mérgező hatással rendelkezik, ezért a dioxinok kibocsátásának csökkentése a környezetvédelem kiemelt feladata. A közlemény mélyebben foglalkozik a dioxinok keletkezésének csökkentésével a megújuló energiák, különösen az ipari fatüzelés alkalmazása során. Az utóbbira azért van szükség, mert a kiotói egyezmény értelmében a fatüzelés szerepe nő energia ellátásunkban, de figyelni kell arra, hogy ez ne vonjon maga után megemelkedett környezetszennyezést.

**Kulcsszavak:** dioxinok, megújuló energia, fatüzelés, környezetvédelem.