

A bükk és a bükkösök Magyarországon

Az MTA Erdészeti Tudományos Bizottságának
tanulmánykötetete IV.



2024

Az MTA Erdészeti Tudományos Bizottságának
tanulmánykötete IV.

A bükk és a bükkösök Magyarországon

Majer Antal (1920–1995) egyetemi tanár,
a bükkösök jeles kutatója emlékének

Az MTA Erdészeti Tudományos Bizottságának
tanulmánykötete IV.

A bükk és a bükkösök Magyarországon

Szerkesztette:

BARTHA DÉNES, CSÓKA GYÖRGY és MÁTYÁS CSABA



SOPRONI EGYETEM KIADÓ
Sopron, 2024

A kiadvány a Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztálya
Erdészeti Tudományos Bizottságának kezdeményezésére jött létre.



Jelen publikáció a „TKP2021-NKTA-43 azonosítószámú ErdőLab” projekt keretében az Innovációs és Technológiai Minisztérium (jogutód: Kulturális és Innovációs Minisztérium) Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

Kiadó:
Soproni Egyetem Kiadó

Felelős kiadó:
Prof. Dr. Fábíán Attila, a Soproni Egyetem rektora



Creative Commons license: CC BY-NC-SA 4.0 DEED



Nevezd meg! - Ne add el! - Így add tovább! 4.0 Nemzetközi
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International

Borítókép: Frank Tamás
Borítóterv: Gáspár Csaba

ISBN 978-963-334-527-6 (nyomtatott)
ISBN 978-963-334-528-3 (pdf)

A kötet DOI száma: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-528-3>

Nyomdai kivitelezés:



INFORM
Kiadó & Nyomda
1149 Budapest, Angol u. 34.
www.informstudio.hu

Budapest, 2024/29

TARTALOM

Előszó	7
A bükkösök és az ErdőLab-projekt	8
1. A bükk bemutatása	9
1.1. A bükk (<i>Fagus</i>) nemzetség és fajai rövid ismertetése	11
1.2. A közönséges bükk (<i>Fagus sylvatica</i>) taxonómiája és biológiája	25
1.3. A bükk és a bükkösök ökológiai sajátosságai	59
1.4. A bükk genetikai változatossága, szaporodásbiológiája	104
1.5. A bükk kémiai sajátosságai	124
2. A bükk a Kárpát-medencében	141
2.1. A bükk posztglaciális elterjedéstörténete	142
2.2. A bükk és a bükkösök aktuális elterjedési területe	147
2.3. A bükk hazai előfordulása, erdészeti statisztikai adatai	151
2.4. Különleges bükk előfordulások Magyarországon	161
3. A bükkös ökoszisztéma és növényközösségei	165
3.1. A bükkösök termőhelyi viszonyai	166
3.2. Bükkös erdőtársulások, bükkös élőhelytípusok	180
4. A bükk és a bükkösök gombái, gombaközösségei	213
4.1. A bükkösök nagygombáinak funkcionális csoportjai	214
4.2. A bükkösök nagygombái mint indikátorok	223
4.3. A klímaváltozás hatása a bükkösökre és a fungájukra	230
5. A bükkösök állatvilága	231
5.1. A bükkösök gerinces állatai	232
5.2. A bükk és a bükkösök ízeltlábú faunája	247
5.3. A bükkösök csigái	266
6. A bükk helye a hazai erdőgazdálkodásban – régen és most	269
6.1. A bükk növekedési tulajdonságai, a bükkösök fatermése	270
6.2. A gazdálkodás hatása a bükkösökre	283
6.3. A bükkösök erdőművelési módszerei	291
6.4. Erdőhasználati módszerek és lehetőségek bükkösökben	312
6.5. A bükkgazdálkodás gyakorlati vonatkozásai	320
6.6. A bükkösök ökonómiai értékelése	333
6.7. A bükk faanyaga és annak felhasználása	340

7. A bükkösök erdővédelmi kérdései	367
7.1. Abiotikus kalamitások/bolygatások	368
7.2. Biotikus tényezők	375
7.3. Közvetlen antropogén károk bükkösökben	397
8. A bükkösök természetvédelmi és közjóléti szerepe, ökológiai szolgáltatásai	399
8.1. A hazai bükkösök természetességi állapota	340
8.2. Bükkös erdőrezervátumok Magyarországon	412
8.3. A hazai bükkösök természetessége és a természetvédelmi oltalom összefüggései	424
8.4. Az erdei biodiverzitás-megőrzés gyakorlati lehetőségei kezelt bükkösökben	434
8.5. A hazai bükkösök közjóléti, társadalmi és ökológiai szolgáltatási szerepe	451
8.6. Kultúrtörténeti vonatkozások	458
9. Bükkösök a változó klímában	477
9.1. Klimatikus változások kihívásai és a bükk	478
9.2. A bükk fenotípusos és genetikai alkalmazkodása a környezeti feltételekhez	480
9.3. A bükk klímaterének és vitalitásának előrevetítése a 21. századra	487
10. Zárszó	499
10.1. Mit tudhatunk?	500
10.2. Mit tehetünk?	501
10.3. Mit remélhetünk?	502
A kötet szerzői és lektorai	505

6.7. A bükk faanyaga és annak felhasználása

A bükk mikro- és makroszkópos anatómiai felépítése

Komán Szabolcs

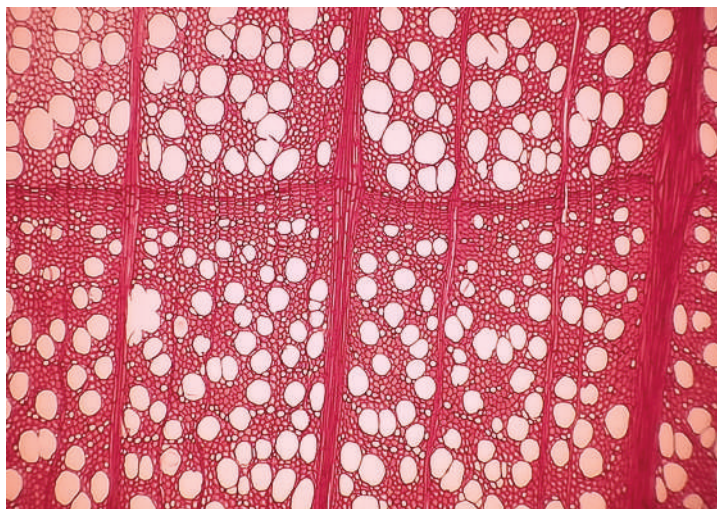
A fatest mikroszkópos jellemzői

A szórtan elhelyezkedő edények (tracheák) egyesével vagy radiális irányban összekapcsolódva (2–3 db) helyezkednek el. A kisméretű edények átmérője 8–45–85 μm , míg sűrűségük a keresztmetszeten 80–125–160 db/ mm^2 . Mennyiségi részarányuk 24,6–39,5–52,5% (Wagenführ 1996). Tíliszek és egyéb anyagberakódások csak az álgesztben figyelhetők meg. Az edényáttörések egyszerűek vagy létrásak, amelyek elsősorban a késői pásztában találhatóak kis számban, 8–20 db létrafokkal. Az edények falán lévő gödörkék egymás mellett vagy ritkábban lépcsőzetesen helyezkednek el. Az edények és a bélsugarak közötti gödörkék iránya a vízszintestől (lépcsőzetes, vágásszerű) függőlegesig terjed.

A hosszparenchimák apotracheálisan (edényektől függetlenül) vagy paratracheálisan (edényekhez vagy vaszkuláris tracheidákhoz kapcsolódva) helyezkednek el. Részarányuk a keresztmetszeten mindössze 4–5%.

Az akár 25 sejtsor széles bélsugarak mellett egysorosakat is találunk. Két széles bélsugár között az évgyűrűhatár ívesen kidomborodik, illetve a széles bélsugarak az évgyűrűhatáron kiszélesednek (6.7-1. ábra). A széles bélsugarak 500–4 000 μm , míg a keskenyek 60–100 μm magasak és 15–100 sejtből állnak. Szélességük 30-tól 200 μm -ig terjed a 2–25 sejtsor alkotta széles bélsugárban, míg az egy sejtsorosak 20–60 μm szélesek (Wagenführ 1996). A téglalap alakú parenchima sejtekből álló homogen bélsugarak a sugármetszeten fekvő elrendezésűek. Mennyiségi részarányuk a keresztmetszeten 11,2–21,2%.

A szabálytalanul elhelyezkedő farostok elsősorban libriform rostok. Hosszuk 0,6–1,3 mm, amelyhez 3,6–10,3 μm -es kettős sejtfalvastagság és 3,5–11,2 μm -es lumen átmérő társul. Kettős sejtfal és lumen aránya ezért 1 körüli értéket mutat. Mennyisége a keresztmetszeten 25,2–57,2% között található (Wagenführ 1996). A rostok általában egyenes lefutásúak, de gyakran csavart, vagy ritkábban hullámos.



6.7-1. ábra. Keresztmetszet mikroszkópos képe

A fatest makroszkópos jellemzői

A bükk kérgé hamuszürke, vékony (1–2 cm), sima és elsősorban csak az ághelyek környezetében repedezik meg (6.7.-2. ábra). Térfogati aránya a törzsön belül 2,5–3,5% (Komán & Fehér 2015). A kérgé jellegzetessége az ághelyből kiinduló ún. „kínai bajusz”, amely a faanyag minőségéről árulkodik. Fájában az egészséges geszt és a szijács nem különül el egymástól. Színe világos halványsárgás, világosbarna, de idősebb korban gyakori a vörösesbarna álgeszt megjelenése. Ezek a keresztmetszeten különböző formában figyelhetők meg, mint például felhős, csillagos, pillangós (6.7.-3. ábra) vagy abnormalis álgeszt.



6.7-2. ábra. A bükk kérge



6.7-3. ábra. Álgesztes bükk rönk



6.7-4. ábra. Keresztmetszetek makroszkópos képe

A fatest szörtlikacsú, de a késői pászta felé haladva az edények száma és mérete fokozatosan csökken. A sötétebb késői pásztának köszönhetően nemcsak az évgyűrűk, hanem a pászták határa is jól kivehető. Ennek következtében a húrmetszet szép rajzos (flóderos) felületként látható. Az edények szabad szemmel egyik anatómia irányban sem láthatók.

Bélsugarai szabad szemmel is könnyen észrevehetőek. A keresztmetszeten vékony sugárirányú vonalak formájában jelennek meg, amelyek az évgyűrűhatáron kiszélesednek. Gyakran megfigyelhető, hogy az évgyűrű vonala a bélsugarak között kidomborodik, illetve behúzódik (6.7-4. ábra). Húrmetszeten a bélsugarak feltűnő vörösbarna, néhány mm magas „orsók” képében és 0,5–1 mm szélességben (6.7-5. ábra), míg a sugármetszeten kisebb-nagyobb foltok, sugárirányú sávok (6.7-6. ábra), fénylő felületük miatt úgynevezett „tükrök” formájában láthatók (Molnár et al. 2007).



6.7-5. ábra. Húrmetszet makroszkópos képe



6.7-6. ábra. Sugármetszet makroszkópos képe

A bükk faanyagának fizikai tulajdonságai

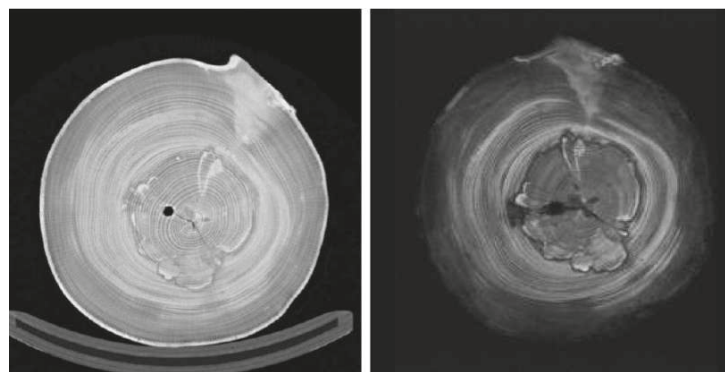
Fehér Sándor

A bükk különleges helyet foglal el Magyarország életében. Mind a gazdasági életben, mind társadalmi szempontból fontos faj. Erdőgazdasági és fagazdálkodási szerepét nem kell különösebben bemutatni, hisz fontossága mindenki előtt ismert. Felhasználása a tölgyek mellett, hasonlóképp igen nagy jelentőségű. Egy igazi keményfa. Gyalulással szinte mindig tükrös simára lehet megmunkálni, ami a nagy sűrűségű és a nagy keménységű fákra igaz.

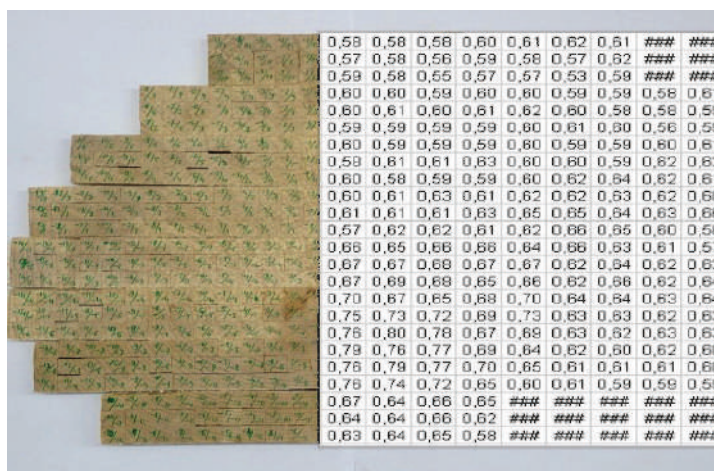
A fizikai tulajdonságait nagyon sokan vizsgálták a múltban, s várhatóan a jövőben is fontos szerepet játszik a faanyagvizsgálatok között. A sűrűség vizsgálatok arra utalnak a bükk esetében, hogy az értékek 540 és 910 kg/m³ között mozognak, átlagosan 720 kg/m³ (Molnár et al. 2000). Más vizsgálatok

is hasonló eredményre jutottak (Babos et al. 1979), de ettől eltérő eredmények is születtek, ahol az átlagsűrűség 737 és 769 kg/m^3 (Gryc et al. 2008). Természetesen ebben az esetben a termőhely hatása nagyon fontos befolyásoló tényező. A bükk egyik jellegzetessége a különböző formájú foltokban való álgesztésedés, amelynek következtében jelentős eltérések találhatók a sűrűségben. Ez látható a 6.7.-7. ábrán is, ahol álgesztésedés következményeként megnő a faanyag sűrűsége. Természetesen az ábrán látható sötétebb foltok magasabb sűrűség értéket jelölnek. Jól látható a bükk korongon mért sűrűségeloszlás (Németh et al. 2008). Hasonlóan próbálta vizsgálni az álgesztésedés mértékét doktori dolgozatában Bíró (2004) CT és MR képalkotási módszerek alkalmazásával (6.7.-8. ábra).

A bükk faanyag vízvesztés hatására nem viselkedik kedvezően. Igen magas a rosttelítettségi pontja, kb. 36%, aminek hatására a faanyagban durva hasadások keletkeznek a száradás során. Radiális irányban a zsugorodása 5,8%, míg a tangenciális zsugorodása 11,8%, amely igen kedvezőtlen, mert zsugorodási anizotrópiája 2-nél nagyobb. Ez pedig a faanyag vetemedési hajlamára utal és emiatt csak nagyon óvatosan szárítható.



6.7.-8. ábra. A bükk álgesztésedés vizsgálata CT és MR alkalmazásával



6.7.-7. ábra. A bükk (abszolút száraz) sűrűség (g/cm^3) eloszlásának keresztmetszeti képe

A faanyagok elektromos tulajdonságai általában erős összefüggést mutatnak a nedvesség tartalommal és a sűrűséggel. Például a száraz faanyagoknak nagy az ellenállása, gyakorlatilag elektromosan szigetelőnek tekinthető. A nagyobb sűrűségű fák, mint például a bükk kisebb fajlagos ellenállással rendelkeznek. A bükknek kb. 9% nedvességtartalomnál rost irányban $1,7 \times 10^9$ ohm/cm a fajlagos elektromos ellenállása. Az elektromos szilárdsága pedig sugár irányban 4,2, húr irányban 5,2 és rost irányban pedig 1,4 kV/mm .

A bükk faanyag hőtani, égési és energetikai tulajdonságai sokoldalú kapcsolatban vannak a ffeldolgozási technológiákkal és az energetikai felhasználással. A fa hőtágulása például elenyészően kicsi a nedvesség okozta méterváltozáshoz viszonyítva. A bükk lineáris hőtágulása húr, sugár és a rost irányban 34,8, 22,0 és 5,4 $1/\text{K}$. A bükköt egyes vidékeken jobb fűtő anyagnak tartják, mint a tölgyet és az akácot. Bár ennek ellent mond a fűtőértéke, ami csak 12,525 MJ/m^3 , ami jóval alacsonyabb a korábban említett faanyagok fűtőértékénél (Molnár et al. 2000).

A bükk akusztikai ellenállása igen kedvező, mivel nagy a sűrűsége, értéke 34×10^5 $\text{kg/m}^3 \cdot \text{s}$. Más faanyagok ennél kisebb értéket mutatnak. Hangszerfának viszont kedvezőtlenebb tulajdonságokkal bír. Az akusztikai állandója csak 6 $\text{m}^2/\text{kg} \cdot \text{s}$, hangsebesség hányadosa pedig csak 3,27. Ezek az értékek lényegesen elmaradnak a lucfenyő értékeitől, amelyet igazi rezonáns fának tartanak, és a hegedűgyártásban használnak. Más fafajok akusztikai tulajdonságaival összehasonlítva a bükköt a 6.7.-1. táblázat mutatja be (Pozgaj et al. 1997).

6.7.-1. táblázat. A hangszerfák minősítésére alkalmas faanyag jellemzők

Fafaj	Hangsebességek hányadosa $C_{ }/C_{\perp}$	Akusztikai állandó $m^2/kg\ s$
Lucfenyő	4,47	12,0
Erdeifenyő	5,11	11,0
Kőris	3,69	6,5
Bükk	3,27	6,0
Nyír	2,36	7,5
Mezei juhar	3,21	5,8

A bükk faanyag színe, rajzolata, valamint többségében nagyon jó fizikai tulajdonságai, mint például a nagy sűrűsége, méltán emelik a nagy értékű és felhasználás szempontjából közkedvelt fajok közé Európában.

A bükk faanyagának mechanikai tulajdonságai

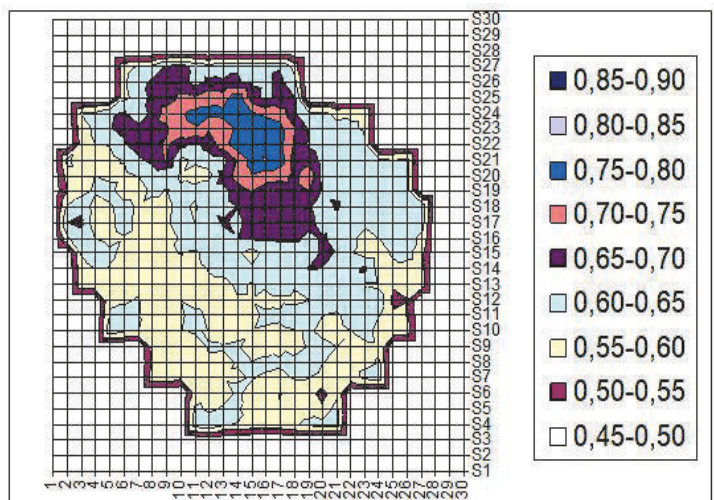
Németh Róbert

A bükk, mint Európa egyik legfontosabb faipari (és fakémiai, papíripari) nyersanyaga számos vizsgálat tárgyát képezte a múltban. A fenyők tapasztalható visszaszorulása miatt a bükk épületfaként is egyre gyakrabban bukkan fel a tudományos szakirodalmakban és természetesen az építési gyakorlatban is.

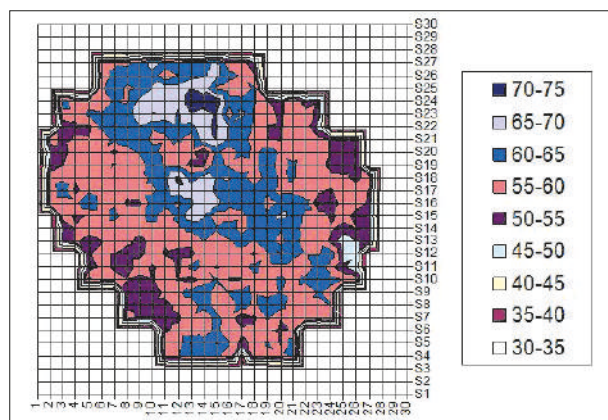
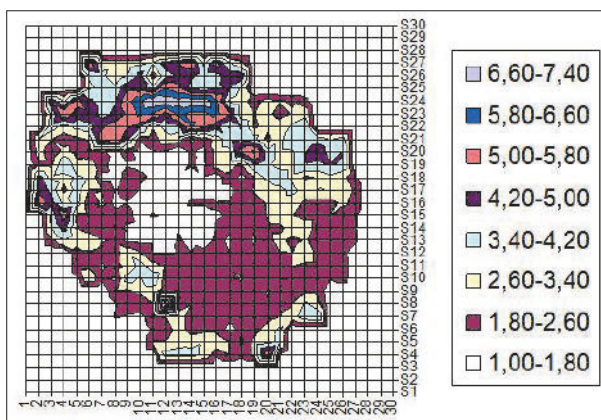
A faanyag mechanikai jellemzői a fafeldolgozás, felhasználás szempontjából is kiemelkedő fontossággal bírnak. A faanyag mechanikai tulajdonságai általában jó korrelációt mutatnak a sűrűséggel, mint univerzális anyagjellemzővel. Mindemellett a szilárdító sejtek (libriform rostok) egymáshoz, ill. más szöveti részekhez (edények, parenchimák) kapcsolódása, ill. a kapcsolatok mikromechanikai minősége is jelentős hatással bírnak a faanyag szilárdságára, ill. rugalmas jellemzőire. Szilárdsági szempontból fontos lehet továbbá az évgűrűhatár, ahol a kései és a következő évi korai pászta sejtjei alapvető különbségeket mutatnak.

Az évgűrűszélesség, a sűrűség, és ezáltal a mechanikai jellemzők alacsony korrelációt mutatnak. Diaconu és munkatársai (2016) statisztikailag kimutatható, de gyenge korrelációt találtak az évgűrűszélesség és a sűrűség között. 2,5 mm-es évgűrű szélességnél $0,58\text{ g/cm}^3$, míg 10 mm-es évgűrűknél $0,61\text{ g/cm}^3$ volt az átlagos sűrűség.

A Soproni Egyetem Faanyagtudományi Intézetének kutatói 2005 és 2007 között lefolytatott kutatás keretében hazai lombos fák fizikai és mechanikai jellemzőit vizsgálták (Németh et al. 2008). A kutatás újszerűségét a teljes keresztmetszetre vonatkozó vizsgálatok adták. A 6.7.-9. ábrán a sűrűség, a 6.7.-10. ábrán a nyomószilárdság, a 6.7.-11. ábrán az ütő-hajlító szilárdság szerepel. Megjegyezzük, hogy a körtől eltérő szabálytalan alak itt nem feltétlenül azonos a törzs alakjával, ugyanis a szabványos próbatestek kinyerhetőségét számos tényező befolyásolta (pl. fahibák). A bükk faanyagának fontosabb mechanikai jellemzőit mutatja be a 6.7.-2. táblázat (Molnár, 2004).



6.7.-9. ábra. Bükk (abszolút száraz) sűrűség (g/cm^3) eloszlásának keresztmetszeti képe (négyzetrács $2 \times 2\text{ cm}$)

6.7-10. ábra. Bükk nyomószilárdság (MPa) eloszlásának keresztmetszeti képe ($u = 12\%$) (négyzetrács 2×2 cm)6.7-11. ábra. Bükk ütő-hajlító szilárdság (J/cm^2) eloszlásának keresztmetszeti képe ($u = 12\%$) (négyzetrács 2×2 cm)6.7-2. táblázat. A bükk faanyagának fontosabb mechanikai jellemzői ($u = 12\%$)

Sűrűség (kg/m^3)	Zsugorodási értékek (%)		Statikus szilárdsági jellemzők (MPa)				
	húr	sugar	húzó		nyomó	hajlító	nyíró
			rostirányú	rostra merőleges			
540–720–910	11,8	5,8	57–135–180	7,0–10,7	41–62– 99	74–123–210	6,5–8,0–19,0
Statikus rugalmassági modulusz (MPa)	Ütő-hajlító szilárdság (J/cm^2)		Keménység (MPa, Brinell)				
			bütü		oldal		
10000–16000– 18000	3–10–19		72		34		

Nemzetközi kutatási projekt keretében [Innovative solutions for improved processing of Beech (*Fagus sylvatica* L.) with red heartwood (Innovation for beech)] 2004–2007 között a Soproni Egyetem részvételével lefolytatott kutatás célja a fehér és az álgesztes bükk faanyagok összehasonlítása, ill. innovatív termékek fejlesztése volt. A kutatás eredményeit egy kézikönyvben adták közre a szerzők (Seeling et al. 2007).

A bükk faanyaggal kapcsolatos mechanikai és további fizikai tulajdonságokra vonatkozó adatok elérhetők Molnár és munkatársai (2016) kézikönyvében, ill. a közelmúltban megjelent kézikönyvben (Niemz et al. 2023).

A bükk álgesztesedése

Németh Róbert

A fahiba adattár szerint (ERFARET 2006) az „álgeszt a fatest nagyméretű, szabálytalan alakú, az évgyűrűhatárokat általában nem követő rendellenes elszíneződése”. Előzetesen megjegyezzük, hogy bár klaszikusan fahibának tartjuk az álgesztet, mára inkább, mint hozzáadott esztétikai értéként tekintünk rá (bútoripar, belsőépítészet stb.).

Az álgeszt könnyen felismerhető a színes geszttel nem rendelkező fafajoknál, például a bükk, juhar, gertyán, nyír, hárs esetében. Ugyanakkor előfordulhat a színes geszttel rendelkező fáknál is, mint például a tölgyek, cser, nyárok, kőris, dió stb., és ezeknél a geszt és az álgeszt elkülönítése kihívást jelenthet. Az alapvető különbség az, hogy az álgeszt nem követi pontosan az évgyűrűhatárokat, míg a valódi geszt rendszerint ezt teszi. Magyarországon a cser, a bükk és a nyárok különösen hajlamosak az álgesztesedésre. Az álgeszt mellett előfordulhatnak felhő alakú és szabálytalan formájú rendellenes elszíneződések is. Az egészséges álgeszttől megkülönböztethető a „csillagos álgeszt”, ami már gombafertőzött és korhadó faanyagot is tartalmaz. Az ilyen anyagot már korhadt fának tekintjük.

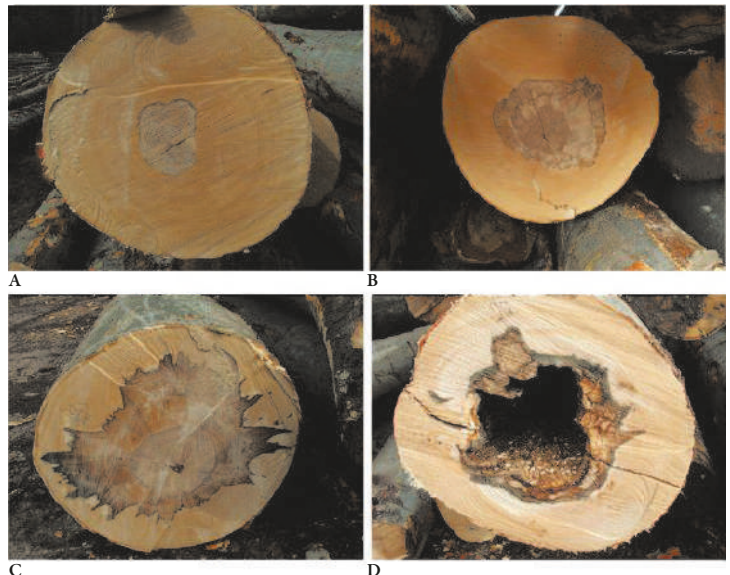
Az álgeszt kialakulásának anatómiai hátteréről és az anyag tulajdonságairól írt Tuzson (1904), Rumpf (1994), Horváth (1996), Molnár és munkatársai (2000), Molnár (2004, 2006), valamint Molnár és Bariska (2006). Az álgesztképződés kiváltójaként említik a korhadó ágakat, a gyökér és törzs sérüléseit, a környezeti stresszt (erős fagy, szárazság) és a kort. Az álgeszt már a fiatalabb (60 éves) állományokban is megjelenik, de 100 évnél idősebb állományokban nem ritka, hogy a törzsek a 85%-a tartalmaz álgesztet.

A bükkfa álgesztjének vizsgálatával foglalkozott Apostol (2006), aki elsősorban a faanyag fizikai tulajdonságait és felhasználhatóságát kutatta. Molnár és munkatársai (2001) átfogóan jellemezték az álgesztes bükk faanyagot. Jelentéktelen sűrűségváltozás mellett növekvő keménységet és kopásállóságot mértek, míg a dinamikus szilárdságok csökkentek az álgesztesedés hatására. A *Gloeophyllum trabeum* barnakorhasztó gombának jobban ellenállt az álgesztes farész.

Maga az álgeszt a normál (vagy fehér) faanyagból alakul ki. Egyrészt a parenchimatikus sejtek által kiválasztott extraktumok impregnálják a sejtfalakat, másrészt tiliszek (töltősejtek) képződnek (szintén az edényeket körülvevő parenchimatikus sejtek aktivitása által). Az álgeszt tehát a normál faanyaghoz képest kémiai és anatómiájában is eltérő szövet. E sajátságok miatt a faanyag főbb fizikai tulajdonságai megváltoznak (különösen az áteresztőképesség), illetve a ragaszthatóság és a felületkezelhetőség is változhat (lásd »A bükk faanyagának felületkezelése, ragasztása« alfejezetet). Az álgesztesedés folyamatában a kor és a termőhelyi tényezők is szerepet játszanak. Tehát alacsonyabb vágáskor és optimális termőhely esetén kevésbé valószínű a kialakulása. Az álgesztes faanyag színét gőzöléssel, termikus kezeléssel és pácolással homogenizálhatjuk (lásd »A bükk gőzölése« alfejezetet).

Az álgesztnél általában nagyobb a repedési és vetemedési hajlam, nehezebb a telítés és a ragasztás. Az álgesztes fa általában sűrűbb és tartósabb, szilárdsági jellemzői kedvezőek, bár nyírószilárdsága kisebb a hibamentes fáéhoz képest. Az egészséges normál álgeszt elsősorban esztétikai hibának tekinthető. A bükk álgesztjének kémiai összetételével az 1.5. fejezet »Az álgesztesedés molekuláris folyamatai« alfejezete foglalkozik részletesen.

A bükk álgesztjének különböző megjelenési formái lehetnek (6.7.-12. ábra). A kör alakú és felhős megjelenés nagy valószínűséggel egészséges (nem gombabontott) szövet, míg a csillagosban nagyobb valószínűséggel találunk gombafertőzést.



6.7.-12. ábra. A bükk álgesztjének jellegzetes megjelenési formái.
A – kerek álgeszt, B – felhős álgeszt, C – csillagos álgeszt,
D – korhadt álgeszt (Trenciansky et al. 2017)

A bükk faanyagának tartóssága

Horváth Norbert

A kitermelt bükk rönk alapanyagok faanyagvédelmi szempontjából az álgesztesedés és fülledékenység jelenségei emelhetők ki elsősorban. Molnár és Bariska (2006) nyomán a bükk álgesztesedése az idősebb törzseknél rendkívül gyakori. Tuzson (1904) közel száz bükkfa egyedet, ezekből pedig 38-at teljesen feldarabolva vizsgált, melynek során azt tapasztalta, hogy az álgeszt minden esetben a korhadt ágcsapoktól indul ki, ahol a kiterjedése is a legnagyobb mértékű. Vizsgálatai arra engedtek következtetni, hogy az élő fák álgesztképződése elsősorban a korhasztó gombák megjelenésének és károsításának köszönhető. Míg Bálint (1956) a korabeli megfigyelésekre alapozva megállapítja, hogy az álgeszt megelőző védekezésésképpen a fertőzési kapu megjelenését követően keletkezik, és meglepte nem minden esetben bizonyítja a farontó gombák megtelepedését, addig Molnár és Bariska (2006) hasonló gondolatmenet mentén fiziológiai okokra (pl. öregedés, vízellátási zavarok), vagy mechanikai sérülésekre vezetik vissza a kialakulását. Tuzson (1904) a bükk fateste fülledésének lefolyásával és annak elkerülésével kapcsolatos faanyagvédelmi megállapításai jórészt azonban mind a mai napig helytállóak. Megállapításai szerint a kitermelt bükk rönkök tavaszi, felmelegedő időszakban történő fülledését főként a *Stereum purpureum* és *Hypoxylon coccineum* gombafajok, mint elsődleges fertőzők okozzák. A száradás előrehaladtával a markánsabb fehérkorhadást előidéző fajok (pl. *Coriolus versicolor*, *Stereum hirsutum*) is megtelepedhetnek a faanyagon. Tuzson (1904), Bálint (1956), valamint Gyarmati és munkatársai (1975) megállapításai szerint a kitermelt és betárolt bükk rönkök kiegészítő védelméről a tavasztól őszi tartó időszakban kiemelten gondoskodni szükséges.

Varga és Csupor (1996) a kitermelt bükk károsodási problémáival foglalkoztak behatóbban, melynek kapcsán hangsúlyozzák a megfelelő, téli időszakban történő fadöntés fontosságát. A bükk faanyagot feldolgozó fűrésztelepeken és lemezipari üzemekben a fülledés megakadályozását, mint elsődleges faanyagvédelmi problémát jelölik meg, mivel a folyamat előrehaladott stádiumában a füllesztő gombák már korhadást is okoznak a fatestben (6.7.-13. ábra). Megállapításaik szerint a védekezési lehetőségek között elsősorban a megfelelő tárolás, gyors feldolgozás, vízzel való locsolás, azaz a szakszerű technikai faanyagvédelmi intézkedések nyújthatnak megfelelő eredményt.

A fülledésre való érzékenység miatt az egészséges, károsodásmentes bükk rönkök tárolását és feldolgozását az ún. FIFO (first in first out) elvet betartó nyilvántartási rendszer alapján szükséges megvalósítani úgy, hogy a rönkök minél rövidebb ideig kerüljenek betárolásra. Előrehaladott rovar- és gombakárosítás igazolása esetén a rönk alapanyagok mesterséges vízszanedvesztését (locsolás, áztatás) annak aktivitásától függetlenül kerülni szükséges. Az ilyen rönkök minél előbb kérgezendők és feldolgozandók, akár a nyilvántartási rendszer alapján felállított ütemtervet is felülírva. Az áztatók, visszaforgatott locsolóvíz tározók vízkészlete félévente cserélendő a faanyagok elszíneződésének, egyéb károsodásainak elkerülése érdekében. Áztatók esetében a rönkök bolygatásáról, lesúlyozásáról vagy kiegészítő locsolásáról szintén gondoskodni szükséges az egyenletes nedvességeloszlás érdekében (Horváth 2023).

Mivel az álgesztesedés és a fülledés a bükk edényeiben egyaránt parenchimatikus tömösejtképződéssel (tílisz, tillisz) jár, így faanyagvédelmi szempontból az ilyen faanyagok nehezebben telíthetők (Gyarmati et al. 1975; Molnár & Bariska 2006). Faanyagvédőszerrel történő telítésre, nagyipari mélyvédelemre főként a fel-



6.7.-13. ábra. Előrehaladott állapotú fülledés bükk faanyagon – márványosodás (Fotó: Horváth Norbert)

dolgozott és kültéren beépített szerkezeti elemek (pl. vasúti talpfák) esetében van szükség. Mivel az MSZ EN 350 szabvány szerint az álgesztes bükk nagyon nehezen (4. osztály), az álgeszt nélküli pedig könnyen telíthető (1. osztály), így a vasúti talpfák esetében az utóbbi alapanyagok felhasználása javasolt. A bükk faanyaga a farontó organizmusokkal szembeni ellenállóképesség alapján rendkívül alacsony természetes tartóssággal rendelkezik. A fent említett szabvány szerint a farontó bazídiumos gombákkal szemben a bükk fája nem tartós (5. osztály). A könnyen telíthetőségének és a korhasztó gombákkal szembeni rendkívül alacsony tartósságának köszönhetően a gombaállósági vizsgálatok (pl. MSZ EN 113) egyik referencia anyaga. A termikus faanyagmodifikációk szempontjából is megfelelő alapanyagként tekinthető a kellően magas sűrűsége és a magasabb kezelési hőmérsékleteken tanúsított kedvező viselkedése (pl. mérsékelt repedésképződés) alapján. Horváth (2008), Horváth és munkatársai (2009) a kevésbé tartós hazai lombos fafajok kísérletbe vonásával jó minőségű, repedésmentes, megfelelő szilárdságú és tartósságú faanyagot eredményező modifikációs eljárás fejlesztésének céljával a Soproni Egyetem egykori Faanyagtudományi Intézetének vezetésével hazai alapanyagbázisra épülő laboratóriumi és félüzemi kísérleteket végeztek az ezredfordulót követően. A modifikációs eljárások 180 és 200 °C hőmérsékleten, különböző kezelési idők mellett normál légköri levegőben folytak. A vizsgálatok során a faanyag fizikai és mechanikai tulajdonságainak meghatározása mellett különös figyelmet szenteltek a farontó gombákkal szembeni ellenálló képesség változására is. A bükk faanyagára vonatkozó eredményeik többek között rámutattak, hogy nemcsak a natúr bükk ellenálló képessége javítható a lepketapló (*Trametes versicolor*) bontásával szemben, hanem az álgesztes bükk színhomogenizálása (6.7.-14. ábra) is megcélozható a kezelésekkkel.

A hazai faanyagmodifikációs eredményekkel összehasonlításban Plaschkies és Weiß (2008) eredményei is igazolták, hogy a bükk szabvány szerinti „nem tartós” (5. osztályú) faanyaga a termikus kezelésnek köszönhetően több osztállyal javítható.

A bükk fatestének bizonyos rovarkárosítókkal szembeni ellenállóképessége szintén alacsony. Ennek megfelelően egyes területeken (pl. műemlékvédelmi épületekben) még a beltérben beépített, szobaszáraz faanyagok kémiai védelméről is gondoskodni szükséges egyes kopogóbogár-félék (Anobiidae) károsítása ellen (Bálint 1956; Gyarmati et al. 1975).



6.7.-14. ábra. A száraz termikus modifikáció színhomogenizáló hatása álgesztes bükk faanyagon (Fotó: Horváth Norbert)

A bükk gőzölése

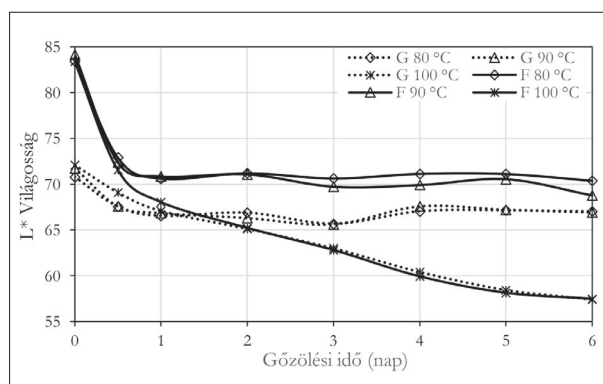
Tolvaj László

A bükk faanyag színe szürkés-fehér árnyalatú. A késői pászta kismértékben sötétebb, mint a korai pászta, ezért a húrmetszeten szép rajzolatot eredményez. A bélsugár tükrök is változatosságot adnak a faanyag felületének. A bükk faanyag gőzölése az iparban elterjedt gyakorlat. Elsősorban egy enyhén vörös színárnyalat elérése érdekében végeznek gőzölést, módosítva a bükk eredendően szürkés-fehér színét (Tolvaj et al. 2006; Dzurenda 2013, 2022; Geffert et al. 2017; Dzurenda & Dudiak 2020; Konopka et al. 2022). A másik színbeli probléma a napjainkban egyre nagyobb méreteket öltő álgesztesedés. A szabálytalan kontúrú álgeszt színe jelentősen sötétebb és vörösebb, mint a natúr bükk faanyagé. Ráadásul az álgesztes faanyagon belül a környezetüknél lényegesen sötétebb csíkok is megjelennek, növelve a színbeli inhomogenitást. A gőzölés a fehér és az álgesztes bükk faanyagok közötti színbeli inhomogenitást jelentősen tompítja (Tolvaj et al. 2009). A faanyag könnyebb megmunkálása érdekében szintén gőzölik vagy főzik a faanyagot késeles és hámozás előtt. Tudományos kísérletek mutatják, hogy a faanyag szárítását segíti, ha a szárítás előtt gőzölést végeznek.

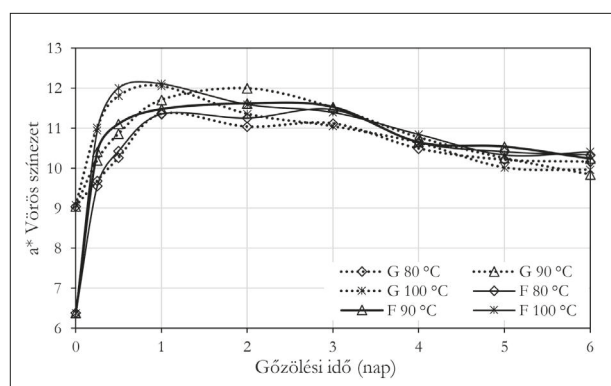
A gőzölés fellazítja a faanyag szöveit segítve a vízmolekulák áramlását a kapillárisokon keresztül. A gőzölés részben megszünteti a faanyagban felhalmozódott növekedési feszültségeket, ezzel csökkentve a száradásnál előforduló repedezést (Yuan et al. 2012; Ratnasingam et al. 2014).

Szisztematikus laboratóriumi gőzölési kísérleteket végeztünk annak feltárására, hogy a gőzölési hőmérséklet és idő hogyan változtatja meg a fehér és a színes (álgesztes) bükk faanyag színét. A vizsgálatok közben már szabad szemmel jól látható volt, hogy a színváltozás döntő része 12 óra alatt lejátszódott. Egy nap után már nem történt észrevehető változás. Azt is megfigyeltük, hogy az álgesztes anyag színe alig változott, míg a fehér faanyag színe az álgesztes rész színe felé tolódott el. Szabad szemmel is megállapítható volt, hogy a gőzölés hatására a fehér faanyag a színes geszthez hasonló színárnyalatot vesz fel. Tehát a gőzölés alkalmas az álgesztet is tartalmazó bükk faanyag színhomogenizálására. Az is kiderült, hogy a színhomogenizálás (a 80–100 °C tartományban) alig függ az alkalmazott hőmérséklettől. Ezért költségtakarékossági okokból 90 °C feletti hőmérsékleten nem célszerű a bükk faanyagot gőzölni.

Az objektív színérések pontosan mutatják a hőmérséklet és a gőzölési idő szerepét a bükk faanyag színváltozásában. Az összehasonlítás érdekében az élőnedves állapotban gőzölt fehér és színes geszt világosságának változását együtt mutatja a 6.7-15. ábra a gőzölési idő és a hőmérséklet függvényében. Az álgesztes faanyag esetében csak a viszonylag homogén színű felületeken végeztünk színérést. A sötét csíkokat kizártuk a vizsgálatból. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a hatásos gőzölési idő 18 óra körüli érték. Ez az idő alig függ a gőzölés hőmérsékletétől (a vizsgált tartományban). Tovább gőzölve 95 °C alatt a világosság változása nem függ a hőmérséklettől, és a világosság alig csökken a gőzölési idő növekedésével. A fenti megállapítások a fehér és a színes gesztre egyaránt vonatkoznak. A világosság folyamatosan csökkent 100 °C-on a vizsgált időintervallumban. Ez a csökkenés fehér faanyag esetében jelentősebb volt, mint a színes geszt esetében. A fehér faanyag világossága másfél napos gőzölés után elérte a színes geszt világosságát.



6.7-15. ábra. A fehér (F) és az álgesztes (G) bükk világosságának változása a gőzölési idő és a hőmérséklet függvényében



6.7-16. ábra. A fehér (F) és az álgesztes (G) bükk vörösszínzetének változása a gőzölési idő és a hőmérséklet függvényében

sebb álgeszté. Így a kétféle faanyag színzete is közel került egymáshoz. Egy napi gőzölés után a változás minimális volt mindkét faanyag típus esetében, és az azonos gőzölési időkhöz tartozó színpontok távolsága sem változott. A vörösszínzet csökkenése a maximum elérése után azt mutatja, hogy a gőzölés által létreho-

A szabálytalan sötét csíkok világossága a gőzölés során nem változott meg számottevően, de az álgesztes faanyag sötétedése miatt nem voltak annyira feltűnőek, mint a gőzöletlen faanyag esetében. A fehér faanyag 15–18%-kal míg az álgesztes faanyag 6–7%-kal sötétedett az eredeti világosság értékéhez képest egynapos gőzölés során.

A bükk faanyag vörös színzetének értéke intenzíven növekedett a gőzölés első napja során (6.7-16. ábra). A gőzölést tovább folytatva a vörös színzet értéke lassan csökkent. Az álgesztes faanyag vörös színzete a gőzölés előtt 1,4-szer magasabb volt, mint a fehér bükk faanyagé. A fehér faanyag vörös színzete az első 6 órában sokkal erőteljesebben növekedett, mint a természetes állapotában már vörö-

zott színképző vegyületek termikusan nem stabilok, és a további gőzölés során degradálódnak, csökkentve a vörös színezet értékét. Ezért a gőzölési gyakorlatban nem célszerű az alkalmazott hőmérséklethez tartozó maximum gőzölési idejét túllépni. A fehér faanyag 78–90%-kal, míg az álgesztes faanyag 26–33%-kal növelte a vörös színezetének értékét a gőzölés előtti értékhez képest egy napos gőzölés során. A gőzölés nem változtatta meg számottevően a fehér és az álgesztes bükk sárga színezetét.

A 6.7.-17. ábra a színezeti szög és a telítettség (színezet dúság) változását szemlélteti a gőzölés során. A görbék baloldali kezdőpontjai a gőzöletlen minták színezetét mutatják. Ezt követik a gőzölt minták színpontjai növekvő gőzölési idők esetén. (A gőzölési időtartamok a 4.6.-16. ábráról leolvashatók.) A fehér faanyag színezete 15°-kal tolódott el a vöröses-barna irányába, míg az álgeszt színezete 10°-kal vándorolt el ugyanabba az irányba. Ez az ábra is jól mutatja, hogy egynapos gőzölés után nemkívánatos visszafordulás történik. A színtelítettség (az origó és a színpont távolsága) nagysága kismértékben növekszik a gőzölés első napján, majd csökkenni kezd a további gőzölésnél a fehér faanyag esetében. A szín élénkülése fontos esztétikai eredménye a gőzölésnek. Az álgesztes faanyag telítettsége nem változik jelentősen a gőzölés első napja során, ezt követően viszont kismértékű csökkenést tapasztalunk.

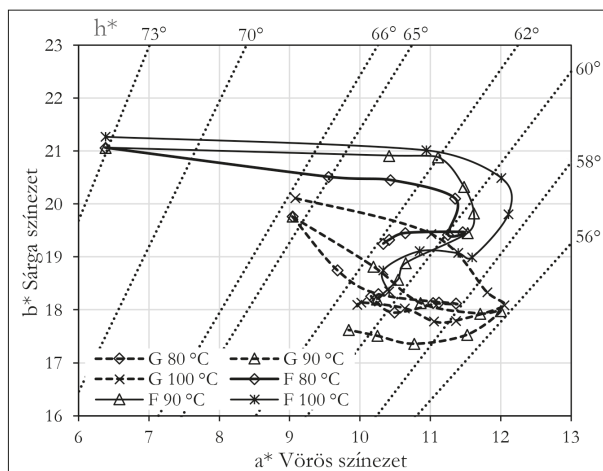
A fentiek alapján megállapíthatjuk, hogy mind gazdaságossági, mind esztétikai szempontból bükk faanyag esetében az atmoszférikus nyomáson (100 °C alatt) történő gőzölés javasolható, és nem célszerű egy napnál tovább gőzölni. Fontos megjegyezni, hogy nagy vastagságú faanyag gőzölése esetén az egynapos gőzölési idő onnan számolandó, amikor a faanyag teljes keresztmetszetében felvette a gőzölő tér hőmérsékletét. Az eredmények jól mutatják, hogy a gőzölés színhomogenizáló hatású a fehér és színes gesztet vegyesen tartalmazó faanyag esetében.

A bükk faanyagának módosítása

Bak Miklós

A faanyagmodifikáció régóta tárgya a faanyagtudományoknak, kiemelt fontosságot azonban elsősorban az elmúlt évtizedekben kapott. Lényegét a következő meghatározás foglalja össze (Hill 2006): „A faanyag modifikációja magában foglalja a kémiai, biológiai és fizikai behatásokat az anyagon, amelyek a kémiai összetétel maradandó megváltozását okozzák, a kívánt tulajdonságok javulását eredményezve. A modifikált faanyag azonban a termék életciklusának végén a megsemmisítéskor nem okoz nagyobb környezetterhelést, mint a kezeletlen anyag.”

A modifikációs eljárások legelterjedtebb módja a hőkezelés 180–200 °C körüli hőmérsékleten. Ezzel kapcsolatban Horváth (2008) levegőatmoszférában, Németh és munkatársai (2012) pedig paraffin közegben hőkezelt bükk faanyagon végeztek részletes vizsgálatokat. Az alkalmazott magas hőmérséklet hatására megindul a kémiai összetevők hőbomlása. Emiatt a sejtfal higroszkóposága mérséklődik, az egyensúlyi fanedvesség csökken, így a hőkezelt bükk méretstabilitása növekedik. A hőkezeléssel csökkenthető a gombabontás mértéke is, így a bükk faanyag gombaállósága jelentősen növelhető. Ezzel lehetőség nyílik a faanyag kültéri alkalmazására, mint például járófelületek, burkolatok kialakítása. A farontó gombákkal szembeni ellenállóképesség növelése mellett más, a felhasználás szempontjából fontos változások is fellépnek. Szembe-



6.7.-17. ábra. A fehér (F) és az álgesztes (G) bükk színpontjainak vándorlása az a*–b* síkon a gőzölés során. Az ábra megjeleníti néhány konstans színezeti szög (h*) vonalát (pontozott vonalak)

tűnő a kezelés színmódosító hatása, mely egyrészt a bükk faanyag sötétebb színárnyalatainak elérését teszi lehetővé, másrészt az álgesztes farészek színbeli különbségeit, kontrasztját is csökkentheti (Tóth 2016). Ezáltal az így kezelt faanyagok beltéri felhasználási köre is szélesedik, mint például burkolatok, dekorációs felületek kialakítása. A hőkezelés esetén figyelemmel kell lenni a szilárdsági értékek változására is. A szilárdságok jellemzően csökkennek, ami hatással van a felhasználhatóságra is. A faanyagvédelmi szempontú modifikálás során a magasabb hőfokon végzett kezelések kívánatosak a megfelelő védőhatás eléréséhez, így meg kell hozni azt a kompromisszumot, hogy a szilárdság jelentősebben csökken.

A faanyagok módosításának másik elterjedt módja még a telítés olyan különböző anyagokkal, amelyek a faanyaggal nem lépnek kémiai reakcióba. Erre a célra a bükk faanyag különösen alkalmas, mivel jól telíthető. A telítésen alapuló modifikáció egy környezetbarát módját vizsgálták Németh és munkatársai (2015). Bükk faanyagot méhviasszal telítve mérsékelhető a vízfelvétel a sejtüregek eltömítése és a viasz vízlepergető hatása által. Ennek hatására mérsékelhető a gombabontás mértéke is, így talajjal közvetlenül érintkezve is növelhető a bükk faanyag élettartama, amit az elvégzett vizsgálatok is alátámasztanak. A károsító szervezetek általi lebontás azonban nem állítható meg ilyen módon, legfeljebb lassítható. Az eljárás előnye azonban, hogy természetes anyagok felhasználásával érhető el javulás.

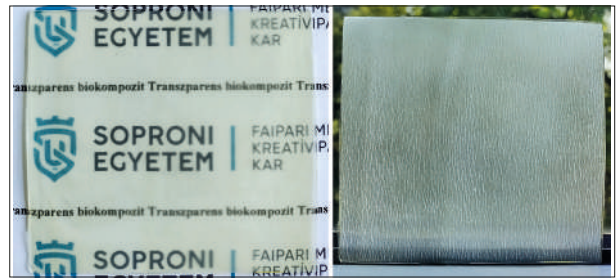
A bükk faanyag módosításának ígéretes lehetősége a hosszirányú tömörítés, mint termo-higro-mechanikai eljárás (Báder & Németh 2018, 2019, 2023; Báder et al. 2019). Ennek során a faanyagot előzetes, gőzöléssel végzett lágyítás után, rostirányban összenyomják különböző mértékben (~20%). A sejtfalak ennek hatására harmonikaszzerűen hullámossá válnak, így a hajlíthatóságuk jelentősen javul, a kezeletlen faanyagénál sokkal kisebb hajlítási sugár érhető el a faanyag károsodása nélkül. Szövetszerkezeti és mechanikai jellemzői különösen alkalmassá teszik a bükk faanyagot erre az eljárásra.

A nanorészecskék felhasználása a faanyagok módosításának területén is egyre inkább terjedőben van az utóbbi évtizedben. Több eljárás hazai vizsgálata megtörtént az elmúlt évtizedben. Ezek a modifikációs eljárások a méretstabilitást, illetve a gombakárosítókkal szembeni ellenállóképesség javítását tűzték ki célul. A vizsgált modifikáló anyagok között voltak különböző fém nanorészecskék, mint a cink-oxid, a cink-borát, a réz-oxid, a réz-borát, valamint az ezüst (Lykidis et al. 2016; Bak & Németh 2018). Ezekkel kezelve a bükk faanyagot alacsony koncentrációk alkalmazása mellett sikerült jelentősen mérsékelni a gombabontást. A kifejlesztett kezelések elsősorban fehérkorhasztó gombákkal szemben nyújtottak védelmet. A kimosódással szembeni ellenállás sajnos a cink-oxid kivételével nem bizonyult megfelelőnek.

Különböző nanorészecskéken alapuló modifikációs eljárásokat alkalmazva egységesen megállapítható volt a bükk faanyag esetében, hogy a méretstabilitás már alacsony koncentrációk alkalmazása mellett is jelentősen javítható, illetve a pára- és vízfelvétel mérsékelhető. Míg a hagyományos szol-gél eljárásokat alkalmazva 40–60 tömegszázaléknyi modifikálószer faanyagba juttatása volt csak hatékony, addig a különböző hidrofób szilícium nanorészecskék alkalmazása már 5–10 tömegszázalék bejuttatása esetén is jelentős javulást eredményezett. A méretstabilitás javítását a sejtfalak hidrofóbbá tétele és részleges eltömítése által sikerült elérni az alkalmazott eljárásoknál. Egyes esetekben színváltozás is fellép mellékhatásként, ami jellemzően sötétebb, barnás árnyalatokat jelent. A bükk faanyagon vizsgált eljárások között szerepelt a mikroporózus szilícium aerogél (Bak et al. 2022), a különböző módokon hidrofobizált szilícium nanorészecskék (Bak et al. 2018, 2023), valamint a titanát nanocső és nanoszál faanyagba juttatása telítéssel (Bak et al. 2017).

Az átlátszó fa egy újfajta bioalapú kompozit anyag. Előállításánál a faanyag színéért felelős részeket, mint a lignint és az extraktanyagokat, különböző vegyszerek segítségével ki kell vonni a fa szerkezetéből. Fontos, hogy a folyamat során a hierarchikus sejtszerkezetet megőrizzük. Az így kapott delignifikált vagy ligninmódosított faanyagot telíteni kell egy, a cellulóz fény törésmutatójával megegyező fény törésmutatóval rendelkező műanyag monomerjével és in situ elvégezni a polimerizációs folyamatot. Erre a célra leggyakrabban PMMA-t (poli(metil-metakrilát)) vagy epoxi gyantát alkalmaznak. Az átlátszó fa előállításához a bükk faanyag is jól alkalmazható faj. Yaddanapudi és munkatársai (2017) arról számoltak be, hogy a bükkből készített átlátszó fa 70%-os fényáteresztéssel és 49%-os homályossággal rendelkezik. Hazai viszonylatban is alkalmaznak bükk faanyagot az átlátszó fa kutatásában. Különböző ligninmentesítő és ligninmodifikációs

kísérletek folynak elsősorban (Takács & Bak 2022). Illetve epoxi gyanta (6.7.-18. ábra) és politejsav alkalmazásával előállított átlátszó fára találunk példákat (Takács 2022). Az átlátszó fa a későbbiekben jól alkalmazható lehet az ablakgyártás vagy akár a napelemek gyártása során.



6.7.-18. ábra. Bükk furnérból, epoxigyanta felhasználásával készült átlátszó fa

A bükk faanyagának ragasztása, felületkezelése

Csiha Csilla

A kültéri és beltéri fatermékek tervezése és gyártása során különböző, speciálisan a célnak megfelelő tulajdonságú és kémiai összetételű ragasztó és felületkezelő anyagokat ajánlott használni. A bükkfa ipari felhasználása hosszú időn keresztül főként beltéri fatermékek gyártására korlátozódott, elsősorban a faanyagra jellemző fülledékenység, illetve gyenge tartóssága miatt (az MSZ EN 350:2016 szerint gomba ill. rovar károsítókkal szemben DC 5/DC S „Nem tartós” osztályba tartozik), amely a kültéri nedves környezetben való felhasználás mellőzését indokolja. Az utóbbi években azonban az elérhető fenyő alapanyag visszaesése, a jövőbeli kilátások és a rendelkezésre álló jelentős fakészletek indokoltá tették például Németországban a bükkfa rétegelt ragasztott tartó céljára való alkalmasságának vizsgálatát, majd ilyen tartók gyártását és szerkezeti alkalmazását megfelelő technikai faanyagvédelemmel. Ettől a helyzettől eltekintve azonban a faipari kutatásokban a bükkfa különleges szerepet tölt be: függetlenül attól, hogy kültéri vagy beltéri felületkezelő vagy ragasztó anyagok elemzéséről van szó, gyakran használják az összehasonlító vizsgálatok során etalonként, szórt likacsú, viszonylag homogén mikroszerkezete miatt.

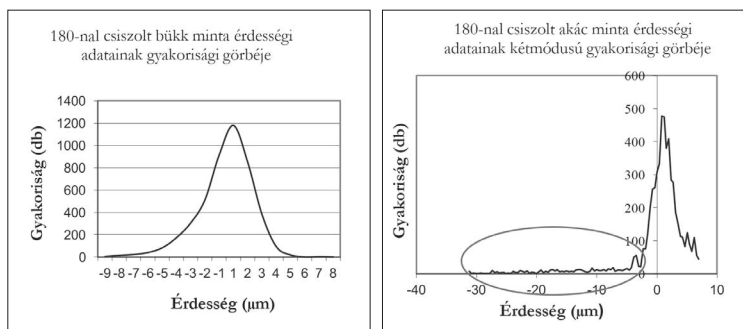
Ez a magyarázata annak, hogy az MSZ EN 302: 1-7 „Ragasztóanyagok teherviselő faszerkezetekhez” című szabványsorozat is a bükk faanyagot írja elő tesztfaalként, annak ellenére, hogy a rétegelt ragasztott tartók és faszerkezetek első sorban fenyőből készülnek. A kísérletek során kapott eredmények kiválóan alkalmasak a ragasztóanyag minősítésére, mert a fenyőfélék korai és késői pásztaja közötti sűrűségbeli különbség és változatos (a vágásiránytól is függő) évgyűrűszerűség által generált nagy szórás a homogén szerkezetű bükk használatával kiküszöbölhető. A nem tartószerkezeti felhasználású faipari ragasztóanyagok húzó-nyíró ragasztószilárdságának meghatározására az EN-MSZ 205-ös szabvány szintén a bükkfát írja elő kísérleti faanyagként.

A bükknek, mint kellően homogén szerkezetű fafajnak jelentős szerep jutott a fafelületek érdességének minősítése érdekében végzett kísérletek során is. Mind a ragasztás, mind a felületkezelés során kialakuló adhézió egyik fő befolyásoló paramétere a fafelületek érdessége. A megmunkálási minőség meghatározása céljából végzett érdességmérések során számos kedvezőtlen körülmény áll fenn: az érdességmérő berendezéseket fémfelületek mérésére fejlesztették ki, egyesek (pl. a lézeres érdességmérők) korlátozottan, vagy nem is alkalmasak a fafelületek mérésére. Nem készültek és nem álltak rendelkezésre a fafelületek érdességmérését támogató szabványok, amelyek a faanyag anizotrop, inhomogén, esetenként gyűrűs likacsú jellegét figyelembe véve megfelelő mérési és kiértékelési módszert rögzítettek volna. Gondot jelent, hogy a nagypórusú/nagyedényes fafajokon, még nagyon finom megmunkálás mellett is az érdesség mért értékei rossz minőségű, durva megmunkálásra utalnak. Ennek legfőbb oka, hogy akár tapintócsúcsos, akár lézerek sugárzott érdességmérést végzünk, a nagy, nyitott pórusok mélységét a műszer hozzáméri az alapszövet érdességéhez, és a pórusok mélységétől és darabszámától függően oly mértékben torzítja az érdesség értékét, hogy finoman megmunkált fafelület is akár keretfűrészsel előállított felülettel egyenértékű érdességet mutat.

A megmunkálási érdesség megítélése érdekében szükségessé vált a nagyedényes fajok esetében egy olyan érdessgmérési módszer kidolgozása, amely lehetővé teszi a nagypórusú fajokon a megmunkálásból eredő érdesség mérését, a megmunkálásból eredő érdesség és az anatómiai érdesség szétválasztása folytán. Az érdességi adatok vizsgálata során a szerző megfigyelte (Csiha & Krisch 2000; Csiha 2003; Csiha et. al. 2004), hogy a szórt likacsú, viszonylag homogén szöveti szerkezetű fajok (pl. bükk) mért érdessége jól korrelál a kézzel tapintható, szemmel látható érdességgel, úgy, hogy a homogén szerkezetű bükk érdességi adatai egymódusú, normális eloszlást mutatnak, miközben a nagyedényes fajok esetében az eloszlás bimodális. Az érdességi adatok eloszlásának elemzése a bükk adataival összehasonlításban elvezetett ahhoz a felismeréshez, hogy a nagyedényes fajoknál a második módus adatai a nagy nyitott edényekhez tartozó érdességi adatok, ami megteremtette egy olyan számítógépes program megírásának lehetőségét, amely azon az elven szűri az érdességi adatokat, hogy az első módus adatai az alapszöveti érdességhez tartoznak, míg a második, kisebb módus adatai a nagy nyitott edények érdességi adatai. A nagy nyitott edények adatai így módon könnyen, gyorsan azonosíthatóvá váltak az eloszlásgörbén. A számítógépes program megírása után (Csiha & Alpár 2003) ezen adatok kiszűrése az érdességi profilból egyetlen kattintással megoldhatóvá vált. A változatos mélységű és darabszámú edényekhez tartozó érdességi adatok kiszűrése és eltávolítása az adathalmazból lehetővé tette az alapszöveti érdesség, illetve az alapszöveten mutatkozó megmunkálási érdesség gyors, automatizálható azonosítását olyan nagyedényes fajok esetében is, mint a tölgyek vagy az akác (6.7-19. ábra).

Csiha és Gurau (2011) 60-tól 600-as szemcsefinomságig terjedő csiszolópapírokkal megmunkált bükk felületeken vizsgálták a felfelület érdessége és az elérhető tapadási értékek közötti összefüggést. A bükk, mint kísérleti faj választását a faj homogenitása indokolta, lehetővé téve, hogy a felfelület mikroszerkezeti változatossága minél kisebb mértékben torzítsa a kapott eredményt. A megmunkálási érdességet tapintócsúcsos érdességmérő berendezéssel mérték és a korábbi saját

tapasztalatokra támaszkodva, de külföldi ajánlásokat is figyelembe véve az R_z érdességi paramétert (amely 5 egymást követő szakasz maximális érdességének átlaga) használták az eredmények kiértékeléséhez. Ennek érdekében, hogy a trend megállapítható legyen, célszerűen a tartószerkezeti ragasztóknál gyengébb vizes diszperziós PVAC ragasztó adhézióját mérték. A kísérletek során azt találták, hogy a korábbi várakozásokkal ellentétben, csiszolt felületű mintákon nem definiálható sem egyértelmű növekvő, sem csökkenő trend, hanem három tartomány különül el. A durva, úgynevezett tisztító csiszolások tartományába eső (60, 80, 100) szemcsefinomságok mellett enyhe tapadásnövekedés volt megfigyelhető. Abban az érdesség tartományban, amely a gyakorlatban általánosan alkalmazott csiszolások (120, 150, 180, 220, 240 szemcsefinomság) érdessége, a tapadás közel azonos volt, vagyis mindegy, hogy mennyire finom szemcsével csiszolnak, az nincs hatással a tapadásra, de váratlan eredmény, hogy a tapadás alacsonyabb volt, mint a legdurvább csiszolópapírral csiszolt felületek esetén. Meglepő, új eredmény volt, hogy a 400-as finomságú papírral való csiszolás, ami már-már polírozásnak felel meg, jelentős tapadáscsökkenést eredményezett. Összességében a kutatás megdöntötte azt a gyakorlatban is előforduló vélekedést, hogy a nagyon jó minőségben előcsiszolt felületeken alakul ki a legjobb tapadás, továbbá rámutatott arra, hogy a gyakorlatban alkalmazott csiszolások a tapadás hátrányára szolgálnak. Legkedvezőbb tapadás a tisztítócsiszolásnak számító, viszonylag durva, 100-as szemcsefinomsággal csiszolt bükk felületeken állt elő.



6.7-19. ábra. A homogén szerkezetű bükk érdességének egymódusú gyakorisági adatai az akác kétmódusú eloszlásgörbéjével összehasonlításban

A magas, egyenes növekedésű, nagy átmérőjű rönkválaszték megcsappanásával egyre nagyobb igény mutatkozott a szükséges tömörfa alapanyag ragasztással való előállítására, teherviselő szerkezetek céljára is, mint például a rétegelt ragasztott fa tartók. A korábban félszerkezeti ragasztóként ismert PUR ragasztók a ragasztóanyag fejlesztéseknek köszönhetően tartószerkezeti ragasztóként is elérhetővé váltak, és általánosan alkalmazták őket a fenyőfélék szerkezeti ragasztására. Ugyanakkor a hazai fenyőfélék megbetegedése előre vetítette azt, hogy várhatóan olyan fafajokkal kell majd kiváltani őket, amelyeket tartógyártásra korábban nem használtunk, de megfelelő mennyiségben rendelkezésre állnak. Horváth és Csiha (2016) a fenyőfélék bükkal való kiváltását célozva, egykomponensű, szobahőmérsékleten is kötő, tartószerkezeti PUR ragasztóval végeztek kísérleteket és meghatározták a ragasztás optimális paramétereit, úgymint a nyílt idő, a felhordott ragasztómennyiség, a présnyomás, a présidő, a megmunkálási felületi érdesség, a faanyag nedvességtartalmának olyan értéke, amely mellett a ragasztott kötés nyírószilárdsága nagyobb, mint 10 N/mm^2 .

Benkreif és Csiha (2021) többek között bükk fafajon is vizsgálták az érdességi paraméterekben bekövetkező változás mértékét és trendjét csiszolt felületeken, miközben szisztematikusan csökkentették a mintatestek nedvességtartalmát 30%-ról 6%-ra a faanyagszárítás természetes folyamatához hasonlóan. Megállapították, hogy a minták nedvességtartalmának csökkenése a felületi érdesség csökkenését eredményezi (R_q -val és R_z -vel kifejezve), valamint azt, hogy az érdességcsökkenési reakció fafajfüggő. A fa nedvességtartalma és a felületi érdesség között exponenciális $y=ae^{bx}$ összefüggést találtak ($R^2 > 0,93$). A vizsgálati eredmények alátámasztották azt a korábbi feltételezést, hogy a tangenciális fafelületek általában érzékenyebbek a nedvesség ingadozásra a nagyobb korai pászta részek miatt, mint a sugárirányú felületek, kivéve a bükköt. A bükk felületi érdessége nagyon stabilnak bizonyult a szárítási folyamat során, a tangenciális és a sugárirányú felületek között nem volt jelentős különbség. A bükknél az exponenciális egyenlet lineáris része többnyire a horizontális tengellyel párhuzamos, ami azt mutatja, hogy jelentős stabilitást mutat a nedvesedéssel szemben, akár a 16%-os nedvtartalomra csökkenésig is. Az érdesedés tendenciája a vizsgált fafajok esetében exponenciális egyenletet követ, de az alsó nedvességtartalom régiókban (16%-tól 6%-ig), ami egyébként az ipari fafelhasználásban jellemző faanyag nedvességtartalom, lineáris egyenlet illeszthető, mind az R_a (átlagos érdesség), mind az R_z paraméterekre. Az összes fafaj érdessége 18%-os nedvességtartalom felett mutat magas értékeket. A tanulmány felhívja a figyelmet arra, hogy a fafelületek megmunkálási minőségének értékelésekor figyelembe kell venni a nedvességtartalom torzító hatását.

A ragasztott kötések élettartamának növelése szempontjából új, ígéretes kutatási terület a nanotechnológia. Csiha és munkatársai (2012) bükk és erdeifenyő mintákon nanopoliektrolitokkal végeztek kísérleteket a kötési szilárdság növelése érdekében. Rétegenkénti felhordási (LbL) technológiával több lépésből álló adszorpciós eljárással, a nanovegyületek rendezett vékonyréteg-lerakódását hozták létre a fa mikroszerkezetén, a ragasztó nedvesítésének és adhéziójának várt javulása érdekében. Pozitív és negatív töltésű polielektrolitok (PDDA = polidiallil-dimetil-ammónium-klorid) vízzeloldható kationos polielektrolit és PAH (poliallil-amin-hidroklorid) polikation, valamint PSS (polisztirol-szulfonát; nátriumsó) polianion váltakozó, egymás utáni felhordásával alakították a rétegrendeket bükk és fenyő felületeken, melynek során nagyon kis tömegű (0,05 tömeg%) polielektrolitok és nanorészecskék abszorbeálódtak és rakódtak le a fa mikroszerkezeti elemekre. A negatív töltésű PSS és a pozitív töltésű PDDA polielektrolitok felváltva abszorbeálódtak a fafelületeken, összesen 22 rétegben, 5–500 nm vastagságban. Egy mintasorozat szoliter PSS-sel is készült. A famintákat vízbázisú, nem szerkezeti PVAC ragasztóval készítették el, majd a ragasztófugára merőleges húzóerőnek tették ki a kötési szakítószilárdság vizsgálatára. Míg a bükk fafelületek tapadási szilárdsága jelentősen növelhető volt PDDA/PSS kezeléssel, ugyanilyen javulás az erdeifenyőnél csak PSS kezeléssel volt elérhető, mert a bükknél hatásos PDDA/PSS előkezelés erdeifenyőnél egyenesen a szakítószilárdság egyenletes csökkenését okozta. A kapott eredmények azt mutatták, hogy a különböző polielektrolitokkal való előkezelés hatásos lehet, a ragasztási szilárdság akár az 1,3–1,7-szeresére is növelhető. Ugyanakkor kiemelték azt a meglepő tényt, hogy az alkalmazott polielektrolitok hatásossága erősen fafajfüggő. Míg adott polielektrolit-pár valamely fafaj (bükk) ragasztási szilárdságát több mint másfélszeresére növeli, előfordulhat, hogy ugyanaz az anyagpárosítás más fafaj esetében kifejezetten a ragasztási szilárdság csökkenését okozza.

A természetes napsugárzás hatására a fa színe megváltozik, ami kihat mind a bútort-, mind a parkettaipar termékeire. Papp és munkatársai (2012) a napközben és évszakonként változó természetes napsugárzás okozta színváltozás várható mértékének meghatározása érdekében mesterséges xenonlímpás vizsgálatokat végeztek. Radiális és tangenciális felületeken 1 és 200 óra közötti besugárzás során feltérképezték a felületek színváltozását, a napsugárzás hatására bekövetkező időfüggő viselkedés leírása érdekében, hogy jobban megértsék színöregedési folyamataik különbségeit vagy hasonlóságait. A színváltozás jellegét a parketta- és bútortipar legelterjedtebb hazai fafajain, így elsőként bükk, illetve tölgy és nyír mintákon vizsgálták az (a^* , b^* , L^*) CIELAB színparaméterek segítségével. A fa inhomogén, anizotrop szerkezetű, a különböző fafajok tangenciális és sugárirányú metszetei között lényeges különbségek vannak mikroszerkezetben, színben és megjelenésben. A mesterséges xenon sugárzás okozta színváltozást szisztematikusan vizsgálták színállandóságig, radiális és tangenciális vágású bükk felületeken és megállapították, hogy 200 órányi mesterséges sugárzás után a bükk fafaj színe (a tölgyhöz és nyírhez hasonlóan) azonos ponthoz tart, azonban a radiális és a tangenciális felületek színben mindvégig különbözőek maradnak. A legjelentősebb színváltozás a bükk felületeken xenon sugárzásos öregítés első 10 órájában következett be, ami arra enged következtetni, hogy természetes napsugárzás esetében is a fafelület kialakítása utáni első időszakban történik a legjelentősebb színváltozás. Az eredmény rámutatott többek között arra, hogy a színmintával egyeztetve vásárolt bükk furnér szállítmányok és a hasonlóan színmintával vásárolt bútortárgyak színe a tárolás során tovább változik, a változás mértéke pedig attól függ, hogy a vásárlás mennyi idővel később történik, mint a felületek kialakítása. A kutatás eredményei a furnérozásban, a parkettaagyártásban és a bútortgyártásban hasznosulnak.

Papp és munkatársai (2016) további vizsgálatokat végeztek a mesterséges xenon sugárzás természetes napsugárzással való egyenértékűsítése érdekében. Szórtlikacsú, viszonylag homogén, sugárirányban vágott felületű, 150-es szemcsefinomsággal csiszolt bükk mintatesteket 240 órányi mesterséges xenon sugárzásnak tettek ki, miközben Fourier transzformációs infravörös spektroszkópiával (FTIR) is mérték a felületeket. Az eredményekből kiderült, hogy a FTIR spektrummérések a szemmel látható változásokkal jól korrelálnak és alkalmasak az öregedés során bekövetkező fafelület-változások követésére.

A ragasztó tapadásának mérése, a ragasztott kötés ragasztószilárdsági tesztelésével nehézkes, mivel a ragasztók általában erősebb kötést biztosítanak, mint a faanyag kohéziós ereje. A nedvesítési, vagy más néven peremszögből viszont jól lehet következtetni arra, hogy várható-e a felületek jó tapadása. A felületek állapota kritikus a szükséges tapadás eléréséhez. A Young–Dupré egyenlet szerint minél nagyobb a szilárd anyag felületi feszültsége, annál jobb a nedvesedése és a várható tapadása. Az ipari gyakorlat számára kérdés volt, hogy a megmunkálás után eltelt idő hatással van-e a felületeken kialakuló tapadásra, megmunkálás után kell-e szünetet tartani és mennyire a felületkezelő és ragasztó anyagok felhordásával, vagy az eltelt idő nincs hatással a kialakuló kötési szilárdságra. Csiha és munkatársai (2012) csiszolt és gyalult bükk felületeket mesterségesen xenon sugárzással öregítve vizsgálták a peremszög változásának trendjét annak érdekében, hogy leírják a fafelületek megmunkálás utáni öregedését és várható tapadási képességét. A peremszöggel jellemzett felületi feszültség minden esetben a frissen vágott felületeken volt a legnagyobb, tehát a legkedvezőbb kötési szilárdság frissen vágott felületeken alakul ki. Különbség mutatkozott azonban a gyalult és a csiszolt felületek időbeni változása között. A gyalult bükk mintákon a peremszög változást az idő logaritmikus természetes függvényeként $y=b_2/(x-b_1)+b_0$, míg a csiszolt felületeken $y=b_2*(e^{b_1*x}-e^{-b_0*x})+b_3$ alakú exponenciális függvényként írták le. A megmunkálás erősebb befolyásoló tényezőnek bizonyult a felületi feszültség időbeni változása során, mint a fafaj. Ugyanakkor meglepő eredménynek mondható, hogy a felületi feszültség csökkenése a sugárzás 10. és 15. órája között megfordult, ismét növekedésnek indult. A kedvező növekedés a mért tartományban gyalult felületeknél elérte a kiindulási, vagyis közvetlenül a megmunkálás utáni felületi feszültség értékét. A szakirodalomban elsőként közzétett megfigyelés azt jelezte, hogy nemcsak közvetlenül a megmunkálás után, hanem a hosszabb raktározás során is előáll ismét egy olyan nagymértékű felületi feszültség, amely kellően nagymértékű tapadás kialakulásának lehetőségét hordozza. A kialakuló tapadásra mind a természetes módosulás, mind a mesterségesen előidézett módosítás hatással vannak.

A hőkezelés olyan eljárás, amely megváltoztatja a faanyag tulajdonságait, mert a sejtfalrétegek természetes alkotórészeit a hőkezelés többféleképpen befolyásolja. Lagana és munkatársai (2021) soproni kutatókkal együttműködve a magas hőmérsékletű kezelés hatását vizsgálták a sejtfalrétegek tulajdonságaira. A tulajdonságokat atomerő mikroszkópos feltérképezéssel és Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópiával (FTIR) vizsgálták. A bükkfát 200 °C-on 1, 3 és 5 órán keresztül oxidáló atmoszférában hőkezelték. A szekunder (S2) réteg és az összetett középső lamella (CML) rugalmassági modulusát, adhéziós erejét és érdességét atomerő-mikroszkóppal (AFM) határozták meg. Az eredmények azt mutatták, hogy a hőkezelés mind az S2 réteget, mind a CML-t érintette. Az S2 réteg merevségét a cellulóz domináns komponens megnövekedett kristályossága okozta, amely 1 órás kezelés után érte el a csúcst. Az ezt követő degradáció az S2, valamint a CML merevségének csökkenését eredményezte. A CML érdességének növekedése 3 órás kezelés után a termikus degradációnak a CML integritására gyakorolt hatásával járt. Az elemzés azt sugallta, hogy a sziringil-lignin csökkenése potenciálisan összefügg a sejtfalrétegek adhéziójának növekedésével. A kutatás rámutatott arra, hogy a hőkezelés sejt szinten bükk esetében olyan változásokat indukál, amelyek hatással vannak az adhézióra.

A ragasztással és felületkezeléssel összefüggő érdességi, tapadási és nedvesítési kísérletek során a bükk alkalmasnak bizonyult az egyéb, nehezen mérhető fafajokon várható adhéziós viselkedés előre jelzésére.

A fehér és az álgesztes bükk faipari célú felhasználása

Báder Máttyás

A bükk Európa-szerte honos, ezért felhasználásának régóta visszanyúló és idővel folyamatosan változó hagyományai vannak. Magyarországra jellemző, hogy követi az európai trendeket, így a bükkfa felhasználása jellemzően megegyezik a tőlünk nyugatabbra fekvő országokéval. Az utóbbi évszázad egyes időszakaiban csak gőzölve igényelte a társadalom, az álgesztes pedig semmilyen formában nem fogadta el. Más időszakokban pedig bármely változatát alkalmazták (Gejdoš & Potkány 2017).

Gyenge időjárás-állósága miatt kültérre nem alkalmas (az EN350 (2016) jelzetű szabvány szerint a gombaállósága 5-ös besorolású, tehát faanyaga nem tartós). Könnyen gyalulható, csavarozható, hajlítható; optimálisan 30 m/s sebességgel fűrészelhető, késelhető és hámozható. Könnyen ragasztható, jól pácolható és lakkozható, jól gőzölhető, azonban az álgesztes nem impregnálható. A bükk fája kemény, sűrű, szilárd, rugalmas. Szárítás során hajlamos a repedésre, a vetemedésre, nagy a zsugorodási- és vetemedési hajlama, emiatt ez a művelet csak megfelelő körülményekkel végezhető. Fahibái a görbeség, álgesztes, repedések, gombák és oxidáció miatti elszíneződések lehetnek (Molnár 2016a; Wagenführ 2007). De nem szabad csupán a faanyagként való felhasználásban gondolkodni, alapanyaga lehet enzimatikus, vegyi és egyéb módszerekkel előállított terméknek is, melyekkel a 4.6. fejezet »A bükk faanyagának nem faipari hasznosítása« című alfejezet foglalkozik.

Az egyik legsokoldalúbban használható fafaj. Magyarországon csak a 19. század közepétől vált általánossá a bútorfaként történő felhasználása. Kb. 250-féle területen készítenek belőle alkatrészeket – álgesztesen is. Európa legfontosabb furnéripari alapanyaga, melyet hámozással és késeléssel is feldolgoznak front- és takart felületekhez egyaránt. A rétegelt lemezt az építészeti használja (tartóssági okokból csak beltérben hordozóanyagként, szerkezeti merevítésként), illetőleg bútoripari rétegelt alkatrészeket is készítenek belőle (legjelentősebb a székgyártás: ülőlap, háttámla, továbbá szekrény hátfal). A jármű- és gépipar is alkalmazza, mert rendkívüli szilárdságot biztosít az alkatrészeknek például teherautó platók burkolataként, hajó- és kisrepülőgép-belsőknél. Jelentős mennyiséget használnak fel telített talpfának. Gesztesítő anyagok híján a fehér bükk a legegészségesebb háztartási tömegcikk alapanyag (edény, fakanál, kefetest). Rugalmassága és szilárdsági jellemzői miatt kiváló sportszer (bordásfal) és szerszámnyél-alapanyag. Hagyományos felhasználásai az élelmiszeripari hordódonga, a bognáripari termékek, a kaptafa, a fajtékok és számos esztergált termék, például ajándéktárgyak. Készítenek még belőle mintásra préselt faanyagot, ládákat, munkapadokat,

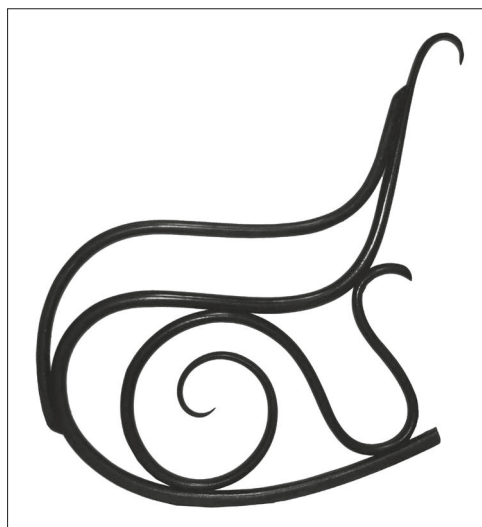
hangszeralkatrészeket. Tömörfa alkatrészként főként bútorokat (irodabútorok, iskolabútorok, stílbútorok, gyerekszobabútorok, fapultok, székek, asztalok, bútorkeretek), burkolatokat (padlóra, falra) és lépcsőket gyártanak belőle. Szerkezeti faanyagként közepes igénybevételre tökéletes megoldás (Molnár 2016b; Wagenführ 2007). Korpusz bútorokhoz is sokszor választják (Molnár 2016a), ezen felül általános alapanyaga az idegencsap-, vagy tipligyártásnak.

Viszonylag homogénnek tekinthető szerkezete és általánosságban jó minőségű faanyaga alkalmassá teszi a gőzöléses hajlításra (6.7.-20. ábra). Bár az eljárás – melynek sorozatgyártásra fejlesztett változatát Michael Thonet szabadalmaztatta először 1842-ben – igényli a faanyag gőzölését hajlítás előtt, a termék mégsem tekinthető gőzölt bükknek, hisz színe és a faanyag végleges tulajdonságai vajmi kevésbé változnak (Báder 2021). Ez esetben a gőzölés csakis addig tart, míg meglágyul a faanyag szövete és ezáltal hajlíthatóvá válik, ami vastagsági milliméterenként mindössze 2 perc időt jelent telített gőzben, légköri nyomáson (Stevens & Turner 1948). A bükköt a mai napig iparilag hajlítják gőzölve, Magyarországon jelenleg egy cég alkalmazza e technológiát (Tóth 2022). Megemlítendő, hogy lágyítást követő fahajlítás például ammóniás kezelés után is kivitelezhető.

Egy másik lehetőség a rostlágyítási célzatú gőzölést követően a rostirányú tömörítés, ami sok más magas sűrűségű lombos fafajhoz hasonlóan a bükknek is rendkívüli hajlíthatóságot kölcsönöz, akár hideg állapotában is. Azonban az utóbbi évszázadban csökkenő igény mutatkozik a hajlított alkatrészekre, amiben közrejátszottak a világháborút követő tömeges szegénységen felül a 20. század elejétől létrejövő és az évszázad során folyamatosan formálódó divatirányzatok is, amelyek ritkán vagy egyáltalán nem használták a korábban kedvelt, íves fabútorformákat (art deco, bauhaus, minimalizmus stb.) (Báder 2021). Hajókon és repülőgépeken biztonsági okokból kell lekerekített formákat használni, melyek luxus kivitelben sokszor hajlított faanyagból készülnek.

A bükk értékes keverék fajtája a papíripari cellulózgyártásnak, a farost- és forgácslap-gyártásnak, valamint alapanyaga a fagyapotnak és a textilipari viszkóz előállításának. Tartószerkezeti termék alapanyagaként alkalmas mérnöki faszervezeti elemek, mint BSH, LVL és CLT gyártására. Gyenge tartóssága és jóval olcsóbb fajták rendelkezésre állása miatt azonban a kivitelezők kerülnek (Niemz 2003; Vilpponen et al. 2014; Molnár 2016b; Wagenführ 2007).

Gyakran már a 60 évesnél idősebb állományok is álgesztesednek, tehát általános jelenséggel számolhatunk a fűrészáru-előállítás során. Az álgesztesedés mértéke idővel növekszik. 100 éves kor felett rohamosan nő az állományban az álgesztes egyedek száma, valamint a rönkfelületeken az álgeszt területe (Sopp 1974). Az egészséges barna-vörös geszt iparilag felhasználható akár látszó alkatrészekhez is, de gyakran keletkezik lazább szövetű, gombafertőzött szürke (csillagos) álgeszt, ami műszaki célokra nem alkalmas. A fehér bükkhöz viszonyítva az álgesztes anyagréznek nagyobb a repedési és vetemedési hajlama, valamint nehezebben telíthető, ragasztható és felületkezelhető a tiliszesedés miatt (Tuzson 1904; Nečesany 1958; Varga 2000; Molnár 2004; Molnár 2016a). Apostol (2005) szerint azonban az álgesztes és a fehér bükkfa anyaga ragaszthatóság szempontjából azonosan viselkedik, melyet alátámaszt Wagenführ (2007) megállapítása, miszerint fedőfestés esetében az álgeszt jelenléte nem okoz problémát. Ezen felül korpuszalkatrészként korlátlanul alkalmazható, akár a kárpitosiparban is. Az álgeszt elsősorban esztétikai hibának tekinthető, gőzöléssel, valamint erősebb színű felületkezelésekkel csökkenthető a fehér és álgesztes bükk faanyagok közti színeltérés. Emellett az álgesztes anyag sűrűbb, gombakárosítókkal szemben ellenállóbb, kedvezőbbek egyes szilárdsági jellemzői, például az oldalkeményység 10%-kal magasabb. Utóbbi

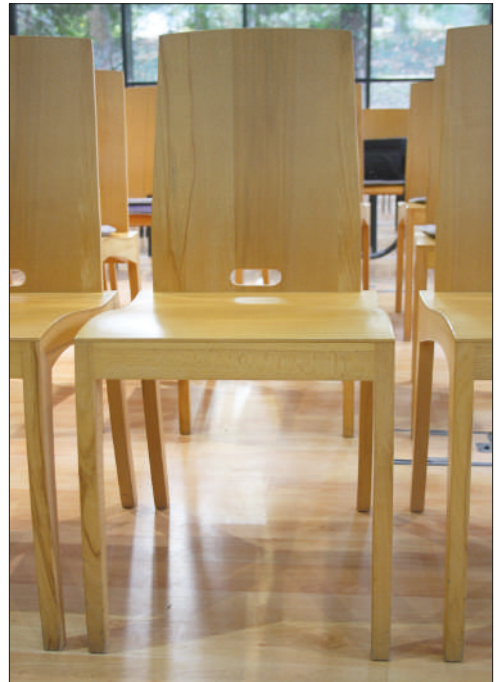


6.7.-20. ábra. Thonet hintaszék nagyméretű, három összetetten hajlított elemből álló bükk alkatrésze

tulajdonság jól kihasználható nagy felületi igénybevételeknél (Varga 2000; Molnár 2004; Apostol 2005; Varga F.-né et al. 2006; Molnár 2016a).

Az álgesztes bükk faanyag strukturálatlan, egyenlőtlen elszíneződései csakis egyedi, kis volumenű gyártásnál vehetők igénybe, mert bútorok sorozatgyártásában nem lehetséges álgesztes faanyagból egységes kinézetű terméket létrehozni. Így a foltos vagy sávosan egyenlőtlenül sötét csíkos megjelenése miatt bútoripari, belsőépítészeti felhasználása korlátozott (Bíró 2004; Apostol 2005). Ilyen szempontból hátrányos az álgeszt, azonban egyes esetekben sikerült az előnyére fordítani ezt a tulajdonságot, amikor a vásárlói kör kimondottan rajzos, a színek játékát felhasználó kecses, dekoratív és nagyon egyedi megjelenésű (6.7.-21. ábra), vagy akár robotsztus, rusztikus hatású bútorokat keresett. Ilyenkor éppen az álgeszt tekinthető előnynek (Wagenführ 2007).

Wagenführ (2007) az álgesztes bükköt lakótérben például bútorfrontokként, parkettaburkolatokként történő felhasználásra ajánlja. Egyes tulajdonságok, mint a magas keménység és kopásállóság kiváló padlóburkoló anyaggá teszi (Bíró 2004), Apostol (2005) szerint faforgácslap gyártáshoz is választható. A juvenilis résztől mentes álgesztes anyag – megfelelő felhasználási körben – egyenrangú tulajdonságai révén helyettesítheti a fehér bükk anyagát és ezzel piacképes áruvá válhat.



6.7.-21. ábra. Álgesztet is tartalmazó bükk székek a Soproni Egyetem Lignum látogatóközpontjában. Érdeklőség, hogy a tömörfa széklábakon és a furnérból készült rétegelt-ragasztott elemeken egyaránt megfigyelhető az álgeszt

A bükk faanyagának nem faipari hasznosítása

Németh Róbert

A faanyag, mint megújuló lignocellulóz alapanyag kémiai feltárás útján – a faiparon túl – számos ipari területen is felhasználást nyerhet. Az 1.5. fejezet »Az álgesztesedés molekuláris folyamatai« c. alfejezete részletesen bemutatja a bükk faanyagának kémiai összetételét. Burghardt (1956) részletesen foglalkozik a fa száraz lepárlásával. A faszén a gazdasági és védelmi iparban egyaránt fontos szerepet tölt be. Ezt a szénfeléleséget szintetikus előállított anyaggal pótolni egyelőre nem lehet. Gazdaságos előállításának módja a fa száraz lepárlása. Ezen a tényen alapszik világviszonylatban is a falepárlás létjogosultsága.

Természetesen a falepárlás is nagy fejlődésen ment keresztül, ősi főformájától az erdei boksázástól eljutottunk az automatizált modern folytatólagos üzemű falepárló rendszerekig, ahol az erdei faszén égetésnél veszendőbe menő melléktermékeket is szinte hiánytalanul kinyerjük. Száraz lepárlás során, azaz zárt retortában hevítés alatt, a hő hatására a faanyag bomlik. Ha a termikus bomlásnál keletkezett gőzöket és gázokat felfogjuk, a termékek egész sorozatát kapjuk. A retortában visszamarad a faszén, mint a lepárlás fő terméke. A párlat két részből áll: egy kondenzálható frakcióból és egy nem kondenzálható gázrészből. A kondenzálható rész a nyers „falé”, melynek összetétele: víz, ecetsav és homológjai, faszesz (metilalkohol, acetone, metilacetát), faszeszolajok és kátrány. A nem kondenzálható rész az éghető gáz, melynek alkotói: CO, CO₂, CH₄, és H₂. A lepárlás gazdaságosságát jelentősen befolyásolja a fa alapanyag nedvességtartalma. Burghardt (1961) ezzel a kérdéssel behatóan foglalkozott és részletes technológiai leírást adott az alapanyag nedvességének csökkentésére. Ugyancsak Burghardt (1957) foglalkozik a fa termikus bomlásánál keletkezett legfontosabb illó terméknek, az ecetsavnak a faléből való kinyerésével.

Az európai lombosfák közül a bükkfából kapjuk a legtöbb lepárlási terméket (kb. egyenértékű vele falepárlási szempontból a gyertyán és a juhar, Ázsiában a bambusz). Magyarországon nagyüzemi faszén termelés az 1950-es évektől alakult ki. Ekkor „ERDŐKÉMIA Tolmácsi Falepárló Üzem” néven megalakult az első hazai nagyüzemi falepárló gyár. 2011-től a Nógrádi Vegyipari Zrt. átvette a tevékenységet.

A furfurol faipari jelentőségét a hazai szakirodalomban már Kolosváry (1958) leírja. Értekezésében értékeli a félüzemi kísérleteket. Abszolút szárazanyagra vonatkoztatva a bükkfából nyerhető ki a furfurol legnagyobb arányban. Szendrey (1982) a lombosfák (mint a bükk is) hidrolízis útján történő feltárásáról értekezett írásában. A faanyag hidrolízise során a hidrolizátumban a cukrok egyensúlya a pentozánok felé tolódik, ami 5–7%-os növekedést eredményez a furfurol kinyerésében. A fa pentozántartalmának figyelembevételével a kihozatal eléri a 30–35%-ot. A hidrolízis másik lehetősége, hogy a xilóz nem alakul át furfurollá, így a xilóz eredeti formájában kinyerhető az oldatból. A xilóz redukálva xilitet hoz létre, melyet diabetikus édesítőszerként használnak az élelmiszeriparban. A furfurol, mint műanyagipari köztermék, hidegen kötő furán-gyanták monomerjeként szolgál. Ezek főként az öntödei formakészítésben szolgálnak kötőanyagként, de belőlük készül a saválló gitt, valamint a sav- és lúgálló műanyag-betonok is. Emellett a furfurol intermediereként szerepel különböző gyógyszerkészítményekben, mint például a nitro-furán és a furfurol-amin. Extrahálószerként is felhasználják. Melléktermékként keletkezik kis mennyiségű ecetsav és metanol. A főtermékként létrejövő faszén 25–32%-os kihozattal állítható elő. Melléktermékként 4% metanollal, 4% ecetsavval, 4% vízdoldható kátránnyal és 6–10% kiülepitett kátránnyal lehet számolni. Ezek mellett éghető pirolízisgázok és jelentős mennyiségű vizes falé is keletkezik. Szendrey (1982) megjegyzi, hogy a melléktermékeket petrokémiai alapon is előállíthatják, így előfordulhat, hogy a kinyerésük gazdaságosság szempontjából nem előnyös. Az elteelt közel négy évtized megmutatta, hogy a kőolaj alapú gazdaság számos bizonytalanságot rejt magában. Így ma fokozottan érvényes az a kijelentés, miszerint a megújuló alapanyagok felé érdemes eltolni az ipart. A faanyag ehhez a trendhez kiválóan hozzájárulhat, különösen, akkor, ha a kémia e területén elért eredmények mielőbb megjelennek a gyakorlatban.

Megemlítjük a füstölést, mint az élelmiszerek egyik tartósításának módszerét. A legjellemzőbb füstforrás a bükkfa (a tölgyet és az égert megelőzve). Az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság 2008-ban tette közzé az élelmiszerekben található policiklikus aromás szénhidrogénekre (PAH) vonatkozó tanulmányának módosított változatát (EFSA 2008). Az írás a füst kémiai összetételét a hőmérséklet függvényében is bemutatja (hideg, meleg és forró füst), valamint megemlíti a lehetséges egészségügyi kockázatokat.

A bükkfa papíripari hasznosításáról ír Károlyiné (2005): „A cellulózgyártás, vagy tágabb értelemben a rostanyag-gyártás területén határozott tendenciák voltak a nyersanyagok felhasználásában. A tűlevelű fák szűkösebb rendelkezésre állása ösztönözte a lombosfák felhasználhatóságának kutatását, amely a 60–70-es években virágzott, s eredményeként ma már jól bevált technológiákkal állítanak elő rostanyagot többek között bükkfából, nyírfából, eukaliptuszból.” A klimatikus körülmények megváltozásának hatására a bükk faanyag nagyobb tömegű kitermelése várható a következő évtizedekben. A nagy kapacitású papírgyárak ki-egyenlíthetik a fapiacot azzal, hogy a kényszerből kitermelt bükkfából értékes cellulózt állítanak elő. Az ún. szennylúgban viszonylag nagy koncentrációban megtalálható lignin hasznosítására már vannak jó példák, például a nem megújuló műanyagok kiváltására. Faipari szempontból a biológiai úton lebomló felületkezelő és ragasztóanyagok gyártásában lehet kimagasló szerepe a ligninnek.

Elias és munkatársai (2018) írásukban megemlítik, hogy a legjelentősebb, feltörekvő faalapú termékpiacokon a következő területeken várható jelentős fejlődés: építőipar, textilipar, vegyi anyagok (beleértve a polimereket), bioüzemanyagok, valamint számos kisebb, speciális terület, mint például a kozmetikumok, élelmiszer-adalékok és gyógyszerek. Az új termékek miatt az iparágak határai egyre nehezebben húzhatók meg, mivel a vegyipar, az energiaszektor és az erdőipar bizonyos mértékig ugyanazt az alapanyagot használják, és ugyanazon piacokra fejlesztenek ki termékeket. A közeljövőben várhatóan teljesen új értékláncok is felépülnek.

A bükk favizsgálói szempontú tulajdonságai

Kelemen Géza és Tuba Katalin

A közönséges bükkal viszonylag ritkán találkozik a favizsgáló szakember, mivel lakott területeinken kevés van belőle. Hiányának oka egyrészt a klimatikus igényeivel, másrészt korlátozott városi alkalmazhatóságával (a metszést kevésbé tűri), illetve természetével hozható összefüggésbe. A bükknek klimatikusan kedvezőbb élőhelyeken, különösen Nyugat- és Észak-Európában, illetve magasabb hegyvidékek településein már jóval több helyen ültetik.

Nálunk, közterületeken, elsősorban szoliter faként alkalmazzák. A fa morfológiája (alakja, törzse, koronája, arányai) az erdei környezethez képest szoliter állásban még ugyanolyan termőhelyen is jelentősen megváltozik, ugyanis itt a szomszédos fák konkurenciája és az így kialakuló versengés nem jelentős. A szoliter példányok kisebbek, magasságuk gyakran csak kétharmada az erdőben álló fák magasságának. A koronafelülete azonban szélesebb, terebélyesebb az erdőben álló társaikéhoz képest. Az erdőben álló bükk magasabb, hosszabb törzsű, keskenyebb koronájú, karcsúbb fa, mint a szabad állásban fejlődő példány. Magánosan vagy lazább állású facsoport tagjaként azonban a fa jobban ki van téve a szél kellemetlen hatásainak, részben emiatt alakul ki a jellegzetes szoliter faalak. Ezek a fák a nagyobb szélnyomás miatt akár kétszeres átmérőjű törzset kénytelenek fejleszteni az ugyanolyan korú erdei társaikhoz képest. Törzsmagassága sokkal alacsonyabb, zavartalan esetben akár földig ágas marad. A vágái alacsonyan indulnak, hamar vastagodnak, a törzsből tompaszöggel indulnak, emiatt az erdőben álló bükk sudaras növekedése szoliter állásban ritkán érvényesül. Az erdőben vagy zártabb állásban (pl. parkban vagy épületekkel körülveve) a koronaalap magasra tolódik. Ezen túl a vágágak elágazása, vagy az ikertörzs, illetve a villa a törzshöz viszonyítva, vagy másik vágághoz képest hegyesszögben indul. A hegyesszög miatt gyakori a kéregbezáródás, vagy a vízszák, ami pedig a lehasadás, kettéhasadás veszélyét növeli, szemben a szabad állású fa tompaszögű elágazásainak stabilabb felépítéséhez.

A fenti adottságokat szem előtt tartva, a favizsgálat szabályainak megfelelően a részletes ismertetést a gyökérszétről kezdjük, majd haladunk végig a törzsön, a koronáig.

A bükk gyökérszete általában mélyre hatoló, tipikus szívgyökérszete, nagy sűrűségű finom gyökerekkel. A gyökerek hajlamosak összenőni, emiatt meglehetősen kuszának tűnik a gyökérszete alakja. Gyakori a fojtógyökér kialakulása, amin az átvágásuk sem igen segít az összenövés miatt. A gyökérszete mélysége nagymértékben függ a talaj levegőzöttségétől és a talaj termőrétegének mélységétől. A talaj levegőzöttségére a bükk gyökérszete nagyon érzékeny, emiatt különösen rosszul tűri a nem megfelelően alapozott aszfaltfelületek, burkolatok alatti talajt. A szívgyökérszete 80–100 éves kor felett – hasonlóan más, mélyre hatoló gyökérszeteű fajokhoz – sekélyebbé válik, az idő előrehaladtával már inkább kiterjedt tányérgyökérszethez kezd hasonlítani. Ennek két következménye lesz: egyrészt a fa alatt kisebb-nagyobb üreg keletkezik, amelyben az állatok búvóhelyet találnak, másrészt az elkorhadó gyökérrendszer gyökfő közeli részeinek korhadása felhatol a törzsbe is, rontva annak szilárdságát. Az üreg idővel igen nagy méreteket érhet el.

A bükk gyökfője középkorú fánál kezd erősen terpeszesedni. A terpesz felfelé gyakran bordákban folytatódik (6.7.-22. ábra). A bordák megjelenését pedig mindig figyelmeztető jelnek kell tekintenünk. A terpesz a fa stabilitása miatt erősödik, hiszen a talajszint felett már nagyobb tömegű, kiterjedtebb farészt kell megtartaniuk, illetve a törzs gesztjében kialakuló üreg stabilitást csökkentő káros hatását a nagy terpesz képes kivédeni. A gyö-



6.7.-22. ábra. Talajból kiemelkedő gyökerek és bordákban folytatódó széles terpesz
(Fotó: Kelemen Géza és Tuba Katalin)

kérlefutások ilyenkor erőteljes függőleges irányú vastagodásuk és a mélyebben fekvő gyökerek mennyiségének fogyása miatt, de akár a talajerózió következtében is a talajszintből kiemelkednek. Emiatt törvényszerű, hogy a tő közelében sok felszínen futó gyökeret láthatunk. A fa közelében történő munkavégzés során (pl. fűnyírás, gépek mozgása), vagy akár a látogatók faölegetése miatt a talajfelszínre kerülő gyökerek értelemszerűen könnyen megsérülnek és ezzel egyidejűleg fertőzési kapukat nyitnak elsősorban a kórokozóknak.

A csapadékosabb és a meredekebb termőhelyen gyakori a tő közeli gyökerekről a talajlehordás (erózió), de ennek ellentété-ként, városi környezetben a talaj (vagy avar) ráhordás, feltöltés is (6.7.-23. ábra). A talajszint változására – vékony kérge miatt – az egyik legszükségesebben a bükk reagál. A frissen felszínre került gyökérzet nem rendelkezik megfelelő védelmet biztosító héjke-rgelgel, míg a talajfelszín alá kerülő törzsrészen levegőhiány alakul ki és a héjkérge elkezd korhadni. Ilyen esetben kísértőtünetként gyakori a korona megritkulása, repedések, befűződés, váladék-cseppek megjelenése a tövi részen és a hajtásképződés megindulá-sa szokatlan helyeken.

A bükk sima kérge kősejteket tartalmaz, ami a kéreg kemény-ségét növeli. Azonban ez a kéreg kifejezetten vékony, így törzse, ágai, a talajszintre kibukkanó gyökerei könnyen megsérülnek. A látogatók, turisták a vékony kérget előszeretettel vésik, kö-zölnivalójuknak, kezűgyességüknek, illetve a rendelkezésre álló szerszámnak megfelelően kisebb-nagyobb kárt okozva. A kérgen gyakoriak az abiotikus behatásokra visszavezethető sérülések is. A bükk az ilyen károsodásokat általában kiheveri, szemben a kö-zelben mozgó munkagépek okozta nagyobb sérülésekkel.

A bükk törzsére jellemző az ún. fatojások képződése (6.7.-24. ábra). Ezek a kiemelkedések többnyire 80 éves kortól jelen-nek meg, majd gyakran le is fűződnek a fáról, ugyanis a kéreg a több-kevesebb koncentrikus szerveződésű farostokat bezárja, leválasztva azt az élő fatesttől. A visszamaradó seb pedig jelen-téktelen kiterjedésű és hatású. Kialakulásának oka egyelőre nem tisztázott. A fatojást el kell különíteni a különböző daganatoktól, rákos sebektől, amelyek sosem fűződnek le.

A vékony kérgű fákon, mindenekelelt a bükk törzsén is ta-lálkozhatunk a kínai bajusz megnevezésű képződménnyel (6.7.-25. ábra). Ez mindig az ágak tövén alakul ki, mert ahogy a fa vas-tagságban növekszik, a törzs és az ág vastagodásával a közöttük maradó kéreg vékony csík alakjában felgyűrődik és parásodik. Ennek eredménye lesz a kínai bajusz. A favi vizsgáló a kínai bajusz hosszából, szögéből és a közepén látható ovális foltból, azaz az ág egykori helyéből következtet az ághely kiterjedésére, a fatestbe süllyedő mélységére és az ág leválása óta eltelt időre. Minél hosz-szabb és minél laposabb ez a vonal, annál mélyebben ült az ág a fatestben és annál régebben vált le a törzsről. A közepén helyet



6.7.-23. ábra. Feltöltés
(Fotó: Kelemen Géza és Tuba Katalin)



6.7.-24. ábra. Fatojás
(Fotó: Kelemen Géza és Tuba Katalin)



6.7.-25. ábra. Kínai bajuszok
(Fotó: Kelemen Géza és Tuba Katalin)



6.7.-26. ábra. Hullámos, kidudorodó lefutású, gyűrűszerű farostok (Fotó: Kelemen Géza és Tuba Katalin)



6.7.-27. ábra. Ágösszenövés (Fotó: Kelemen Géza és Tuba Katalin)



6.7.-28. ábra. Alvórügyekből induló főnixfák (Fotó: Kelemen Géza és Tuba Katalin)

foglaló ághely kontúrja minél vékonyabb, illetve a törzsbe minél beszimulóbb, annál régebben történt az ág leesése.

A bükk vékony kérge a favizsgálónak több információt is ad, ugyanis a sérülések kiterjedése, szélessége sokat elárul a sérülés keletkezésének módjáról, idejéről és súlyosságáról. Úgy is megfogalmazhatjuk, hogy a bükk kérge régóta vezetett feljegyzésekkel tűzdelt, csak érteni kell a nyelvet.

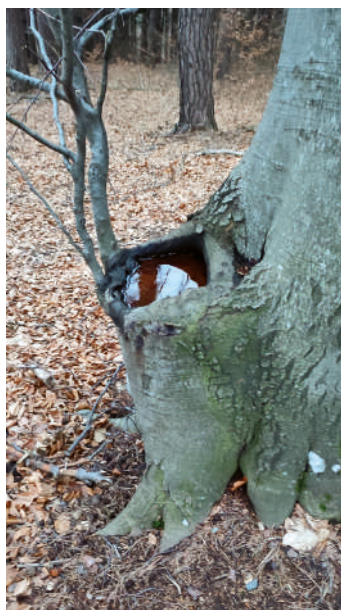
Bükkön álgesztesedés a mechanikai sérüléseket vagy az ágak törését követően például kínai bajusz környékén alakulhat ki, mint a gombafertőzések elleni védekezés következménye. A bükkről tudjuk, hogy hazai termőhelyeken 80–100 éves kora körül sérülések nélkül is elkezd álgesztesedni. Sajnos a favizsgáló az álgesztet a hangtomográfia csak előrehaladott állapotában, a korhadás megjelenése után tudja kimutatni, mivel az álgesztes faanyag szilárdsági értékei, így a hangvezető képessége eleinte nem különbözik az egészséges faanyagétól. Megjegyzendő, hogy a folyamatban lévő kutatások szerint, a terepi munkáknál ritkábban használt elektromos impedancia (váltóáramú ellenállás) mérésével az álgesztesesség kimutatható, mivel az álgesztes faanyag elektromos ellenállása alacsonyabb, mint az egészséges bükkfáé (Göncz et al. 2018). A korhadás megindulása a bütün szabad szemmel is jól látható fekete határolóvonalak (a fatest jelen mű más alfejezetében ismertetett kompartmentalizációs vagy védekezési zónája) kialakulásával köthető össze. Talán majd a még kísérleti fázisban lévő elektromos ellenállásmérés eszközével közelebb jutunk az álgesztesesség kimutatásához.

A koronaalap – mint feljebb szó volt róla – alacsonyan található, ám több erős vázággal jellemezhető. Különösen a koronaalaptól induló vastag vázágak tövének külső palástján, de gyakran a fa tövi részén is láthatunk a nagy súly miatt keletkező hullámos, kidudorodó lefutású, gyűrűszerű farostokat (6.7.-26. ábra), amelyek a vékony kérgen a fa testbeszédéként mutatkoznak. Ezek keletkezési okain érdemes mindig elgondolkozni, hogy egy természetes súlynövekedés, vagy esetleg a fa megbillenésének, ezzel egyidejűleg súlypontjának változása okozza-e a felgyűrődéseket.

A vázágak adottságai sem térnek el más fafajétól, de más fafajnál sokkal inkább hajlamosak a bükk ágai fiatalabb korban – hasonlóan a gyökereihez – összenőni (6.7.-27. ábra), majd esetleg újból szétválni (lásd az Ördögigafát Sümeg közelében).

Az életkor növekedésével, az erdőben, de szabad állásban is, az ágak törésének veszélye megnő. A magánosan álló vagy az erdőben hagyásfaként visszamaradó bükkfánál szinte mindig jelentős szél okozta koronatorést tapasztalhatunk. A korona hiányosságait azonban a bükk a másodlagos korona fejlesztésével többé-kevésbé tudja kompenzálni.

Az idős bükk példányok törzse általában csak akkor omlik össze, ha már a korona is jóformán teljesen eltűnt. A már összeomló fázisba kerülő bükkfa, az idős kori visszaszerző képessé-



6.7.-29. ábra. Dendrotelma
(Fotó: Kelemen Géza és Tuba Katalin)

ge miatt hajlamos ún. fönix fává alakulni, amikor az élő részek alvórügyeinek valamelyikéből (6.7.-28. ábra) elkezd az anyafával egyező genetikai állományú, vagy a korhadt, szétmálló részekre hulló magból genetikailag eltérő egyed kifejlődni.

A favizsgálónak, a statikai szempontokon és vizsgálati eredmények értékelésén túl figyelembe kell venni a bükkön előforduló mikroélethelyeket is, így a dendrotelmákat (6.7.-29. ábra), moha és zuzmó bevonatokat (6.7.-30. ábra), tapló termőtesteket, amelyek közül néhány stabilitási szempontból kedvezőtlen hatása is lehet.

Ezek alapján láthatjuk, hogy a bükk számos favizsgálati tulajdonsága meglehetősen általános jellegű, más fajoknál is megfigyelhető elváltozások vizsgálatát kívánja meg, míg vannak markánsan eltérő egyedi adottságai is. Hazánkban elsősorban vérbükkök vizsgálatára szokott sor kerülni. Elmondhatjuk, hogy

a bükkök favizsgálata közösségi tereken, közparkokban, parkerdőkben mindenképpen felelősségteljes feladat.



6.7.-30. ábra. Moha és zuzmó bevonat
kisebb dendrotelmákkal
(Fotó: Kelemen Géza és Tuba Katalin)

Irodalom

- Apostol T. 2005: A bükk rendellenes gesztesedésének fizikai sajátosságai és hatása a felhasználhatóságra. – PhD értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 82 pp.
- Babos K., Filló Z. & Somkuti E. 1979: Haszonfák. – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 315 pp.
- Bak M. & Németh R. 2018: Effect of different nanoparticle treatments on the decay resistance of wood. – *Bioresources* 13(4): 7886–7899.
- Bak M., Molnár F. & Németh R. 2018: Improvement of dimensional stability of wood by silica nanoparticles. – *Wood Material Science and Engineering* 14(1): 48–58.
- Bak M., Molnár F., Rákosa R., Németh Zs. & Németh R. 2022: Dimensional stabilization of wood by microporous silica aerogel using in-situ polymerization. – *Wood Science and Technology* 56(5): 1353–1375.
- Bak M., Németh R. & Molnár F. 2017: Effect of nanoparticles on the wood-water relations. – *Pro Ligno* 13(4): 308–315.
- Bak M., Takács D., Rákosa R., Németh Zs. & Németh R. 2023: One-step process for the fabrication of hydrophobic and dimensional stable wood using functionalized silica nanoparticles. – *Forests* 14(3): paper 651, 13 pp.
- Báder M. & Németh R. 2018: The effect of the relaxation time on the mechanical properties of longitudinally compressed wood. – *Wood Research* 63(3): 383–398.
- Báder M. & Németh R. 2019: Moisture-dependent mechanical properties of longitudinally compressed wood. – *European Journal of Wood and Wood Products* 77(6): 1009–1019.
- Báder M. & Németh R. 2023: A Review of Wood Compression along the Grain-After the 100th Anniversary of Pleating. – *Forests* 14(4): paper 763, 35 pp.
- Báder M. 2021: A természetes faanyag tulajdonságainak módosítása termo-hidromechanikus és vegyi eljárásokkal. – PhD értekezés, Soproni Egyetem, Sopron, 138 pp.
- Báder M., Németh R. & Konnerth J. 2019: Micromechanical properties of longitudinally compressed wood. – *European Journal of Wood and Wood Products* 77(3): 341–351.
- Bálint Gy. 1956: Beépített faanyagok korhadása és védelme. – Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 240 pp.

- Benkreif R. & Csiha Cs. 2021: The relevance of wood moisture content when measuring contact angle. In: Young T. M. Y. & Petutschnigg A. (eds.): Book of Abstracts of the 6th International Conference on Process Technologies for the Forest and Biobased Products Industries – PTF BPI. Knoxville (TN), Amerikai Egyesült Államok. – The University of Tennessee, p. 36.
- Biró B. 2004: A bükk álgesztesedés vizsgálata a Somogyi Erdészeti és Faipari Részvénytársaság erdőállományaiban. – PhD értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 121 pp.
- Burghart L. 1956: Falepárlás. – Faipar 4(1): 13–16.
- Burghart L. 1957: A falepárlásból származó ecetsav gyártási módszerei. – Faipar 7(2): 78–82.
- Burghart L. 1961: A fa előszáritásának szerepe a falepárló iparban. – Faipar 11(5): 147–149.
- Csiha Cs. & Alpár T. 2003: Nagyedényes fafajok felületi érdességének értékelése. – Faipar 51: 11–16.
- Csiha Cs. & Gurau L. 2011: Study on the influence of surface roughness on the adhesion of water based PVAC. – Proceedings of International Conference „Wood Science and Engineering” pp. 411–419.
- Csiha Cs. & Krisch J. 2000: Vessel filtration – a method for analysing wood surface roughness of large porous species. – Drevarsky Vyskum 45(1): 13–22.
- Csiha Cs. 2003: Faanyagok felületi érdességének vizsgálata „P” és „R” profilon, különös tekintettel a nagyedényes fajokra. – PhD értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 148 pp.
- Csiha Cs., Alpár T. & Magoss E. 2004: Surface roughness profile filtering (Curve Cutter). – COST E 35 Proceedings, Cluny, France, pp. 46–48.
- Csiha Cs., Csóka L. & Litresics G. 2012: Effect of nanotreatment on bond strength. In: Neményi M. & Heil B. (eds.): The Impact of Urbanization, Industrial and Agricultural Technologies on the Natural Environment : International Scientific Conference on Sustainable Development and Ecological Footprint. – Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, p. 5.
- Csiha Cs., Papp É. A. & Valent J. 2012: Feature of contact angle of ageing Beech and Birch surfaces. In: Németh R. & Teischinger A. (eds.): The 5th Conference on Hardwood Research and Utilisation in Europe 2012: Proceedings of the „Hardwood Science and Technology” Sopron, Magyarország. – Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, pp. 41–49.
- Diaconu D., Wassenberg M. & Spiecker H. 2016: Variability of European beech wood density as influenced by interactions between tree-ring growth and aspect. – Forest Ecosystems 3: 1–9.
- Dzurenda L. & Dudiak M. 2020: Changes in wood tree species *Fagus sylvatica* L. and characteristics of the thermal process of modifying its color with saturated water steam. – Advances in Ecological and Environmental Research 5(4): 142–156.
- Dzurenda L. 2013: Modification of wood colour of *Fagus sylvatica* L. to a brown-pink shade caused by thermal treatment. – Wood Research 58(3): 475–482.
- Dzurenda L. 2022: Range of Color Change of Beech Wood in the Steaming Process. – BioResources 17(1): 1690–1702.
- EFSA/DATEX/002 2008: A Report from the Unit of Data Collection and Exposure on a Request from the European Commission. Findings of the EFSA Data Collection on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Food. First issued on 29 June 2007 and revised on 31 July 2008. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2007.33r> (Hozzáférés: 2024. 04. 18.)
- Elias H., Ragnar J., Jaana K., Janne J., Marko M., Pekka L. & Lauri H. 2018: Diversification of the forest industries: role of new wood-based products. – Canadian Journal of Forest Research 48(12): 1417–1432.
- EN350 2016: Durability of wood and wood-based products – Testing and classification of the durability to biological agents of wood and wood-based materials. – European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 67 pp.
- ERFARET 2006: „Nyugat-Magyarországi Egyetem – Fahiba adattár – Álgeszt”. http://fahiba.fmk.nyme.hu/20_algeszt.htm (Hozzáférés: 2024. 01. 15.)
- Geffert A., Výbohová E. & Geffertová J. 2017: Characterization of the changes of colour and some wood components on the surface of steamed beech wood. – Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen 59(1): 49–57.
- Gejdoš M. & Potkány M. 2017: The potential of beech wood use in selected countries of the Central Europe for valuable processing purposes. In: Dudík, R. (ed.): 10th International Scientific Conference WoodEMA 2017. More wood, better management, increasing effectiveness: starting points and perspective. Proceedings of Scientific Papers. – Czech University of Life Sciences Prague, Czech Republic, pp. 19–24.
- Göncz B., Divós F. & Bejő L. 2018: Detecting the presence of red heart in beech (*Fagus sylvatica*) using electrical voltage and resistance measurements. – European Journal of Wood and Wood Products 76: 679–686.
- Gryc V., Vavřík H. & Gomola Š. 2008: Selected properties of European beech (*Fagus sylvatica* L.). – Journal of Forest Science 54(9): 418–425.

- Gyarmati B., Igmándy Z. & Pagony H. 1975: Faanyagvédelem. – Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 397 pp.
- Hill C.A.S. 2006: Wood modification: Chemical, Thermal and Other Processes. – John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 239 pp.
- Horváth Gy. 1996: A Veszprémi Erdőgazdaság által kezelt bükkösök korfüggvényű álgesztváltozása és a változással összefüggő ökonómiai és erdőművelési következtetések. – Kézirat, HM Erdőgazdasági Rt., Veszprém.
- Horváth N. 2008: A termikus kezelés hatása a faanyag tulajdonságaira, különös tekintettel a gombaállóságra. – PhD értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 91 pp.
- Horváth N. 2023: MSZ 44:2023 Kivágás hazai fafajokból. 1. sz. melléklet: Fülledékeny fafajok tárolása. Szabványmódosítási javaslati anyag. – Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.
- Horváth N., Csupor K. & Molnár S. 2009: A hőkezelés hatása a faanyagok tulajdonságaira I. rész: A hőkezelt bükk és csertölggy gombaállósága. – Faipar 57(3–4): 20–26.
- Károlyiné Sz. P. 2005: A cellulóz- és papírgyártás tendenciái. – Papíripar 49(1): 30.
- Kolosváry G. 1958: A furfurol faipari jelentősége. – Faipar 8(8–9): 276–279.
- Komán Sz. & Fehér S. 2015: Basic density of hardwoods depending on age and site. – Wood Research 60(6): 907–912.
- Konopka A., Chuchala D., Orłowski K.A., Vilkovská T. & Klement I. 2022: The effect of beech wood (*Fagus sylvatica* L.) steaming process on the colour change versus moth of tested wood layer. – Wood Material Science & Engineering 17(6): 420–428.
- Lagaňa R., Csiha C., Horváth N., Tolvaj L., Andor T., Kúdela J., Németh R., Kačík F. & Urkovič J. 2021: Surface properties of thermally treated European beech wood studied by Peak Force Tapping atomic force microscopy and Fourier-transform infrared spectroscopy. – Holzforschung 75: 56–64.
- Lykidis C., Bak M., Mantanis G. & Németh R. 2016: Biological resistance of pine wood treated with nano-sized zinc oxide and zinc borate against brown-rot fungi. – European Journal of Wood and Wood Products 74(6): 909–911.
- Molnár S. & Bariska M. 2006: Magyarország ipari fái. – Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 206 pp.
- Molnár S. (szerk.) 2000: Faipari kézikönyv I. – Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron, 428 pp.
- Molnár S. 2004: Faanyagismeret. – Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 469 pp.
- Molnár S. 2016a: Fahibák, fakárosítások. – Hillebrand Nyomda Kft., Sopron, 107 pp.
- Molnár S. 2016b: Bükk – *Fagus sylvatica* L. In: Molnár S., Farkas P., Börcsök Z. & Zoltán Gy. (szerk.): Földünk Ipari Fái. – ERFARET Nonprofit Kft., Sopron, p. 44.
- Molnár S., Farkas P., Börcsök Z. & Zoltán G. 2016: Földünk ipari fái. – ERFARET Nonprofit Kft., Sopron, 616 pp.
- Molnár S., Németh R., Fehér S., Tolvaj L., Papp G., Varga F. & Apostol T. 2001: Technical and technological properties of Hungarian beech wood consider the red heart. – Wood Research 46(1): 21–30.
- Molnár S., Pauko A. & Szóják P.-né 2000: Bükk – *Fagus sylvatica* L. In: Molnár S. (szerk.): Faipari Kézikönyv I. – Faipari Tudományos Egyesület, Sopron, p. 96.
- Molnár S., Peszlen I. & Paukó A. 2007: Faanatómia. – Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 224 pp.
- Molnár S., Varga F.-né., Fehér S. & Németh R. 2000: A faanyag műszaki tulajdonságai. In: Molnár S. (szerk.): Faipari kézikönyv I. – Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron, pp. 59–72.
- MSZ EN 113:2021 A fa és a fa alapanyagú termékek tartóssága. A farontó bazídiomos gombák elleni védekezés meghatározásának vizsgálati módszere 1-2. részek.
- MSZ EN 350:2016 A fa és a fa alapanyagú termékek tartóssága. A fa és a fa alapanyagú termékek biológiai anyagainak tartóssági vizsgálata és osztályozása.
- Nečesany V. 1958: Jádno Buku. Struktura, vznik a vyvoj. – Slovenská Akadémia Vied, Slovensko, 231 pp.
- Németh R., Ábrahám J. & Komán Sz. 2008: Hazai lombosfák juvenilis (bél körüli) faanyagának anatómiai és fizikai sajátosságai, különös tekintettel a hazai erdőgazdálkodási viszonyokra. Selected physical, mechanical and anatomical properties of juvenile wood of hardwoods from Hungarian sites regarding the forest management. OTKA Kutatási Jelentések – OTKA Research Reports. http://real.mtak.hu/1895/1/48954_ZJ1.pdf
- Németh R., Bak M. & Csordós D. 2012: Thermische Modifizierung von Buche und Pappel mittels Paraffin. – Holztechnologie 53(6): 5–10.
- Németh R., Tsalagkas D. & Bak M. 2015: Effect of soil contact on the modulus of elasticity of beeswax-impregnated wood. – Bioresources 10(1): 1574–1586.
- Niemz P. & Sandberg D. 2023: Important Data. In: Niemz P., Teischinger A. & Sandberg D. (eds.): Springer Handbook of Wood Science and Technology. – Springer Handbooks, Springer, 2026 pp.
- Niemz P. 2003: Holztechnologie II: Holzwerkstoffe. 2. überarbeitete Auflage. – ETH Zürich, Switzerland, 128 pp.
- Norbert H. & Csiha Cs. 2016: Bondability of Beech Wood with One-component Polyurethane Structural Adhesive. – Acta Silvatica et Lignaria Hungarica 12: 135–143.

- Papp É., Csiha Cs., Tolvaj L. & Csóka L. 2016: Investigation of artificial aged beech wood surfaces with FTIR spectroscopy. In: Teischinger A., Németh R., Rademacher P., Bak M. & Fodor F. (eds.): Eco-efficient Resource Wood with Special Focus on Hardwoods. – University of West Hungary Press, Sopron, pp. 28–29.
- Plaschkies K. & Weiß B. 2008: Dauerhaftigkeit von TMT: Ergebnisse der Freilandprüfung. – 5. Europäischer TMT-Workshop, pp. 65–71.
- Pozgaj A., Chovanec D., Kurjatko S. & Babiak M. 1997: Struktúra a vlasnosti dreve. – Priroda, Bratislava, 485 pp.
- Ratnasingam J., Grohmann R. & Scholz F. 2014: Effects of pre-steaming on the drying quality of Rubberwood. – European Journal of Wood and Wood Products 72(1): 135–137.
- Rumpf J. 1994: Bükk álgesztesedés vizsgálata a zirci erdészetnél. – Kézirat, Erdészeti és Faipari Egyetem, Erdőhasználati Tanszék, Sopron.
- Seeling U., Ohnesorge D., Helzle C., Burgbacher C., Németh R., Tolvaj L., Teischinger A., Hansmann C., Mittelamskogler H. & Huber H. 2007: Red Heartwood Handbook: Integrated concepts for processing European Beech (*Fagus sylvatica* L.) containing red heartwood. – Sorell Impresores, València.
- Sopp L. 1974: Fatömegszámítási táblázatok. – Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 419 pp.
- Stevens W.C. & Turner N. 1948: Solid and laminated wood bending. – Forest Products Research Laboratory, Department of Scientific and Industrial Research, London, 72 pp.
- Szendrey I. 1982: Vegyipari intermedierek erdei biomasszából. – Agrártudományi Közlemények 41(3–4): 820–824.
- Takács D. & Bak M. 2022: Delignification experiments for the production of transparent wood, In: Németh R., Hansmann C., Rademacher P., Bak M. & Báder M. (szerk.): 10th Hardwood Conference Proceedings. – Soproni Egyetemi Kiadó, Sopron, pp. 169–172.
- Takács D. 2022: Transzparens biokompozit előállítás, PLA felhasználásával. In: Molnár D., Molnár D. & Nagy A. Sz. (szerk.): XXV. Tavasz Szel Konferencia Tanulmánykötet I. – Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, pp. 322–331.
- Tolvaj L., Molnár S., Takács P. & Németh R. 2006: A bükk (*Fagus sylvatica* L.) faanyag fehér- és színes gesztje színének változása a gőzölési idő és a hőmérséklet függvényében. – Faipar 54(2–3): 15–20.
- Tolvaj L., Németh R., Varga D. & Molnár S. 2009: Colour homogenisation of beech wood by steam treatment. – Drewno 52: 5–17.
- Tóth R. 2016: Álgesztes bükk színhomogenizálásának vizsgálata különböző hőkezelő eljárásokkal és ezek hatása a mechanikai jellemzőkre. – Szakdolgozat, Soproni Egyetem, 76 pp.
- Tóth S. L. 2022: Paradigma váltás a faanyagok hajlításában. In: Forrai J. (szerk.): Paradigmaváltás a tudományok, a technika és az orvoslás körében. A Magyar Természettudományi Társulat tudománytörténeti kötetei 5. – Magyar Természettudományi Társulat, Budapest, pp. 353–363.
- Trenciansky M., Lieskovsky M., Merganic J. & Sulek R. 2017: Analysis and evaluation of the impact of stand age on the occurrence and metamorphosis of red heartwood. – Biogeosciences and Forestry 10(3): 605–610.
- Tuzson J. 1904: A bükkfa korhadása és konzerválása. – A m. kir. földmívelésügyi minister kiadványai 17. szám, Budapest, 94 pp.
- Varga F. & Csupor K. 1996: A kitermelt faanyag védelmi problémái. – Magyar Asztalos és Faipar 1996/06: 100–101.
- Varga F. 2000: A faanyag álgesztesedése. In: Molnár S. (szerk.): Faipari Kézikönyv I. – Faipari Tudományos Egyesület, Sopron, p. 120.
- Varga F.-né, Varga F. & Hopp T. 2006: Bükk álgeszt vizsgálatok összefoglaló értékelése a ZALAERDŐ Rt. Bánokszentgyörgyi Erdészeténél. – Erdészeti Lapok 141(4): 110–113.
- Vilpponen E., Komán Sz. & Bejő L. 2014: Nemesnyárból készült LVL mechanikai tulajdonságainak javítása lombos fajokból készült furnérretekkel. I. rész: Roncsolásmentes vizsgálat és a tulajdonságok modellezése. – Faipar 62: 24–30.
- Wagenführ R. 1996: Holzatlas. – Fachbuch Verlag, Leipzig, 688 pp.
- Wagenführ R. 2007: Holzatlas, 6. neu bearbeitete und erweiterte Auflage. – Fachbuchverlag Leipzig im Hanser Verlag, Leipzig, 816 pp.
- Yaddanapudi H. S., Hickerson N., Saini S. & Tiwari A. 2017: Fabrication and characterization of transparent wood for next generation smart building applications. – Vacuum 146: 649–654.
- Yuan H., Li J., Chen Y., Yi S.L., Chen W.Z., Dai P.Q., Chen Y.L., Chen D.N. & Jiang Z.Y. 2012: Effects of pre-steaming on the drying quality of Rubberwood. – Automation Equipment and Systems, PTS 1-4 468-471: 2771-2774.