

# Faanyag rostirányú tömörítésével kapcsolatos elméleti és gyakorlati kérdések áttekintése

I. rész: Az alapanyagok és előkészítésük, a tömörítés elmélete

BÁDER Mátyás<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nyugat-Magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Faanyagtudományi Intézet

## Kivonat

A fa longitudinális tömörítésének célja annak hajlékonyabbá, alakíthatóvá tétele. A megfelelő minőségű tömörített faanyag előállításának meghatározó tényezői a fafaj, alapanyag minősége, nedvességtartalom, hőmérséklet, tömörítési arány, stb. A legtöbb 20% feletti kezdeti nedvességtartalommal rendelkező jó minőségű keménylombos fafaj tömöríthető. Az általában gőzöléssel plasztifikált faanyag rostirányú tömörítése során a faanyagot meg kell támasztani az oldalirányú kihajlás megakadályozására, csökkentve eközben a fellépő súrlódási erőknek az egyenletes tömörítést hosszirányban gátló hatását. A rostirányú préselés hatására a fa hidrotermikus kezeléssel meglágyított és folyamatosan legalább 80 °C hőmérsékleten tartott sejtszerkezetében a nagyrészt lignin és hemicellulóz alkotta középlemez engedi elcsúszni egymáshoz képest a magas cellulóztartalmú, szilárdítást biztosító farostokat és egyéb szöveteket, miközben ezeknek a longitudinális irányultságú hosszúkák szöveti elemeknek a sejtfa meggyűrődik. Az eljárással a fa rugalmassági modulusa lecsökken, így a kezeletlen faanyaghoz képest lényegesen könnyebben hajlíthatóvá válik, egyes módszerek szerint akár szárított és szobahőmérsékletű állapotban is.

**Kulcsszavak:** rostirányú tömörítés, rostlágyítás, famodifikáció, hajlítás, bútoripar

## Practical Issues of Longitudinally Compressed Wood

Part 1: The raw material and its preparation; the theory of compression

### Abstract

The purpose of the longitudinal compression of wood is to make it bendable. Several factors influence the outcome of compression (wood species and quality, moisture content, temperature, compression rate, etc.). Most hardwood species with initial moisture contents above 20% can be compressed. The wood is normally softened by steaming and, during the process, kept at a temperature above 80 °C. While compressed in fibre direction it needs to be restricted within the compression chamber to prevent the wood from suckling. Frictional forces need to be minimized so that the transformation is performed at even rate. The middle lamellae, mostly consisting of lignin and hemicelluloses, are softened by thermo-hydro wood processing, allowing of the wood fibres with high cellulose content to slip during compression, and the longitudinal cell walls crinkle. Consequently, the elasticity of the wood decreases, thus it will be much easier to bend, even when dry and at room temperature.

**Keywords:** compression in the fibre direction, longitudinal compression, fibre softening, wood modification, bending, wood industry

### Bevezetés

A gőzöléses fahajlítást sorozatgyártás céljából Michael Thonet alkalmazta elsőként ipari körülmények között. A technológia alkalmazása körülményes, mert a felmelegített faanyag kihűlés után ismét nehezen hajlíthatóvá válik (Kuzsella és Szabó 2006). Ennek során a belső, kisebb íven nyomás alá kerül a fa, míg a külső oldalon a feszültségmentes réteg (semleges szál) elhelyezkedésétől függően húzásnak lehet kitéve. Utóbbit jóval rosszabbul tűri a faanyag, mint a tömörítést.

A rostirányú tömörítésen alapuló eljárás új lehetőségeket mutatott a fa hajlításának technológiájában, mert a folyamat gyakorlatilag bármilyen keresztmetszetben, elsősorban nedvesen, de esetenként hideg és száraz állapotban is a tömörítetlen faanyagnál lényegesen könnyebben hajlítható alapanyagot eredményez a lecsökkent rugalmassági modulus hatására. Az elsődleges probléma a hosszirányú préselés közben fellépő oldalirányú kihajlás, minek következtében a teljes hosszra és keresztmetszetre vonatkozó egyenletes, szabályozott tömörödés elmaradna, valamint a törés veszélye is megnövekedne.

A megfelelő körülményeket legegyszerűbben egy erős falú préhüvellyel lehet biztosítani, mely képes a kihajlást megakadályozni, viszont hátránya, hogy a falának feszülve a faanyag megszorulhat és ekkor a tömörítés szintén nem lesz teljes hosszban azonos mértékű. Tömörítés közben a présforma oldalfalain, illetve bélésén, amely a fa mozgásában nem vesz részt, súrlódás keletkezik és a tömörítő erő nagy részét felemészti (Magyar–Amerikai Faipari Rt. 1927). Ez számottevő különbséget okoz a hossz mentén a mechanikai tulajdonságokban, azaz az egyenletes, jó minőségű hajlíthatóságot befolyásolja. A probléma kiküszöbölésére több megoldást is kidolgoztak, így napjainkban már lehetséges a jó minőségű tömörített faanyag előállítás.

Az eljáráshoz jelenleg alkalmazott fafajokat főként gőzöléssel plasztifikálják és a tömörítés aránya jellemzően 20%, ennek hatására a faanyag hajlítási viszonzyszáma akár 1/4 fölötti érték is lehet. A hajlítási végerő felére és a hajlítószilárdság is harmadára–felére redukálódik éppúgy, mint a rugalmassági modulus. A törésig elnyelt energia többszörösére emelkedik és az ütő-hajlító szilárdság másfél-kétszeresére javul. A nyomóerő megszűnése és a szárítás után a tömörített fa statikus szilárdsági tulajdonságai gyengébbek lesznek, míg a dinamikus tulajdonságai javulnak a kezeletlen faanyaghoz viszonyítva. A rostirányban préselt faanyagok napjainkban elsősorban beltérben vagy fedett helyen alkalmazhatók, mert a tömörített-hajlított fa a nedvességtartalmának növekedésével igyekszik felvenni eredeti alakját és méretét. Felhasználható alapanyagként a bútortiparban (szék, párkány, élléc, farugó, stb.), belsőépítészetben (korlát, szegélyléc, beltéri ajtóalkatrész, iparművészet, stb.) és egyéb célokra is (hangszer, sportszer, szerszámnyél, játék, stb.).

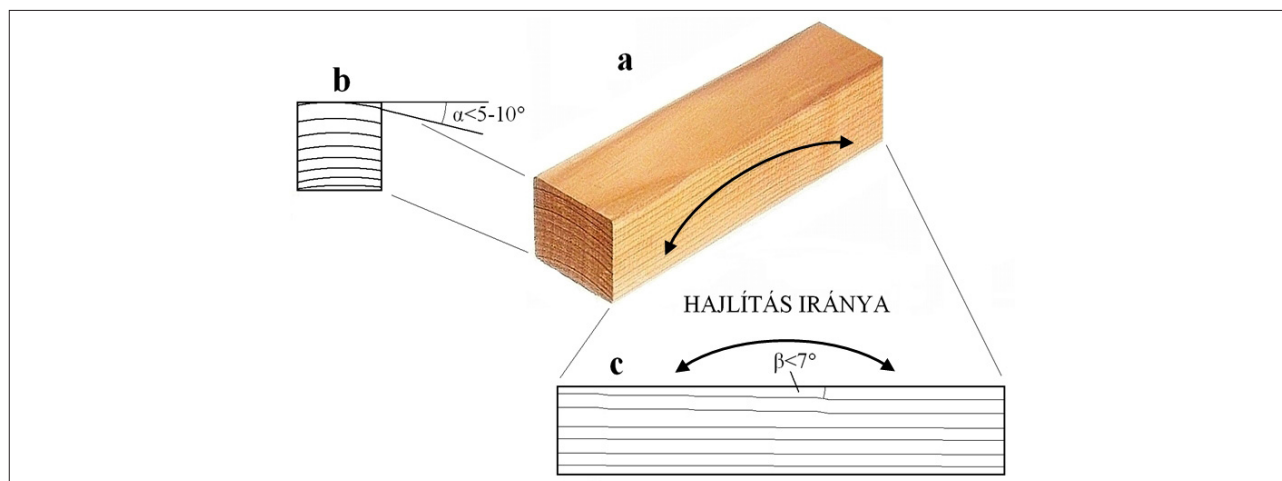
A cikksorozatban a fa tömörítésével kapcsolatos tudnivalók, eddigi fontos kutatási eredmények és alkalmazott módszerek, valamint ipari tapasztalatok, a termékek fizikai-mechanikai tulajdonságai kerülnek bemutatásra, azok kritikai értékelésével. Jelen cikk áttekintést ad a tömörítéshez megfelelő alapanyagokról és ezek előkészítéséről, a fában végbemenő változásokról, míg a következő rész a témával kapcsolatban megjelent szabadalmakkal, a tömörítési folyamat tulajdonságaival és a faanyag tömörítését közvetlenül követő kezelési lehetőségekkel foglalkozik.

### **A rostirányú tömörítéshez alkalmas szöveti felépítés, fafajok, nedvességtartalom**

Ebben a fejezetben ismertetésre kerülnek a rostirányú tömörítéshez alkalmas alapanyagok és az ezekkel szemben támasztott minőségi igények. A megfelelő alapanyagok és előkészítési eljárások ismeretében a tömörítési folyamat elméletének tárgyalása a későbbiekben következik.

A longitudinális tömörítés célja a természetes faanyag hajlíthatóvá tétele. A tömörítés és a hajlítás egymástól függetlenül is jó minőségű alapanyagot igényel, így a fának például a hordógyártásnak, vagy a Thonet-féle hajlításnak megfelelően egyaránt magas minőségi követelményeknek kell eleget tennie. Kovács és tsai. (2006), valamint Szabó (2002) egybehangzóan nyilatkoznak a hajlításra alkalmas alapanyag tulajdonságairól: az egyenes növésű, göcsmentes, keskeny évgyűrűs fák (bükk, kőris, szil, tölgy, akác, nyír, juhar, cseresznye, dió) a legalkalmasabbak. A fa az évgyűrűre merőleges irányban, tehát a bélsugar irányában ideálisan hajlítható (1.a ábra). Az évgyűrűk kismértékű dőlése megengedett ( $\alpha=0-10^\circ$ ), mert ekkora eltérés még nem befolyásolja a hajlítás minőségét (1.b ábra). A száliránynak a munkadarab élével párhuzamosnak kell lennie, mivel a hajlításnál fellépő feszültségek hatására a túlzott rosteltérés (szálkifutás) töréshez vezet. Párhuzamos szálirány mellett maximálisan  $\beta=7^\circ$ -os rostelhajlás engedhető meg (1.c ábra).

A Compwood M. (2008) kiadványa a következőket adja meg a faanyag minőségével és a fafajok egyedi tulajdonságaival kapcsolatosan: a rönk felfűrészelésének módja a tömörítés szempontjából gyakorlatilag mindegy, lehet élesvágás, negyedelő vágás vagy átmeneti a kettő közt. A felhasznált pallóknak fűrészpormentesnek kell lenniük. A bútortipar minőségű alapanyagok göcsössége azok tömöríthetőségét nem befolyásolja, viszont a hajlításnál problémákat okozhatnak ezek a fahibák, így lehetőleg göcsmentes alapanyag ajánlott a tömörítő gépeket gyártó cég szerint is. Ennek ellenére a kőrisben és szilben legfeljebb 3 db kisméretű, 10 mm átmérőjű göcs megengedett pallónként. A szilfának nem szabad szijácsosnak lennie. Bükkfa tömörítése esetén minden



**1. ábra** Faanyag ideális szálszerkezete hajlításhoz (a), évgyűrűk megengedett dőlésszöge (b) és a megengedhető rostelhajlás (c)

**Figure 1** The ideal wood structure for bending (a), allowed angular offset of the annual rings (b) and the allowable grain deflection (c)

oldalon hibátlan alapanyag szükséges és az álgeszt – éppúgy, mint a kőrisnél – nem megengedett. Utóbbi oka nem a mechanikai tulajdonságok eltérésében keresendő, hanem az értékes végtermék egységes megjelenésében, mert a jó minőségű, drága alapanyag és a magas hozzáadott érték megkívánja a legjobb kihozatalt és megjelenést. Minden fajtára vonatkozóan az egyenetlen, durva élek, repedések, íves növekedés és a csavarodottság tömöríthetőséget kizáró fahibák.

Napjainkban elsősorban négyzetes vagy téglalap keresztmetszetű fa tömörítését végzik, de megfelelő megtámasztás mellett a longitudinális préselés szempontjából az alapanyag lehet bármilyen más keresztmetszetű, így például háromszögletű, négyszögletű, ötszögletű, hatszögletű stb. vagy kör, ellipszis, igény szerint bármely más lekerekített idom és ezek kombinációja (Thomassen és tsai. 1990). A kádáripárban a bélsugárnak a hordó palástját alkotó dongák lapjával párhuzamosan kell állnia, vagyis a hajlítás iránya a bélsugárra merőleges, mert így előzhető meg, hogy a bélsugár, mint a fa keresztirányú szállító és raktározó egysége, a folyadékot a hordóból kivezesse. Ebben az esetben a Kovács és tsai. (2006) és Szabó (2002) által leírtakkal ellentétben az évgyűrűkre merőlegesen végzett hajlítás szükséges, még ha nem is ez az ideális. Továbbá minden szignifikáns fahiba és szöveti elváltozás (göcs, repedés, stb.) kizáró okot jelent egyrészt a megfelelő hajlítás, másrészt a folyadékmegtartás biztosítása érdekében. Az előzőek alapján kitűnik, hogy magas minőségű, egységes felépítésű és egészséges alapanyag szükséges a fa hajlításához, mely sugárirányban és húrirányban egyaránt elvégezhető.

Néhány tulajdonság meghatározza, hogy a tömörített fa milyen mértékben hajlítható, például a fafaj, minőség, méretek és a tömörítés aránya éppúgy, mint az alkatrészek alakja és a felhasznált eszközök (Anssary 2006). A tömöríthetőség – ezen keresztül a hajlíthatóság – a sejtszerkezettől függ, ezért fafajonként változó (Szabó 2002). A következő fafajok tömörítéssel kezelhetőnek bizonyultak Dánia, Japán és az USA területéről: bükk (*Fagus sylvatica* v. *Fagus ssp.*), ezüst juhar (*Acer saccharinum*), fekete cseresznye (*Prunus serotina*), fekete dió (*Juglans nigra*), kőris (*Fraxinus excelsior* v. *Fraxinus americana*), hegyi szil (*Ulmus glabra*), tölgy (*Quercus ssp. deciduas*, *Quercus petraea* v. *Quercus velutina*) (Kovács és tsai. 2006). A Compwood Machines Ltd. (2001) a fenti fajok és alfajok többségét szintén megadta a fafajváltozatok említésének mellőzésével, általános nevükön. Emellett tömörítésre alkalmasnak találta a ciprusfát (Észak-Amerika), afzéliát (Észak-Afrika), pau marfimot (Dél-Amerika) is. Deibl és tsai. (1999) és a Material Archiv (2013) az európai választék egy részét említették a korábbi felsorolásból, rajtuk kívül Kuzsella és tsai. (2011) az akácot, hársat sorolták még a tömöríthető fafajok közé. Sparke (1989) csak a keménylombosokat említette általánosságban, kiemelve közülük a bükköt és a tölgyet.

Hyams (2008) ausztrál területen nagy mennyiségben megtalálható ipari fákkal foglalkozott. A hegyi kőris (*Eucalyptus regnans*) jól tömöríthető, hasonlóan az előző keménylombosokhoz. A hamis mahagóni (*Eucalyptus marginata*) a ferdeszalúsága miatt nehezen kezelhető, de a 20% tömörítési arány elérése itt sem okoz problémát. A foltos gumifa (*Corymbia maculata*) szintén nehezen tömöríthető, a származási helyétől függően maximum 12–15%-ban.

Szabó és tsai. (2005) vizsgálatai alapján tömörített alapanyagból lehetséges energiatároló farugó készítése, a kocsánytalan tölgyet és a Magyarországon élő bükkfa fajokat alapul véve. Kutatásaik alapján a Föld más konti-

nensein található fafajok csak igen korlátozott mértékben alkalmasak energiatároló tömörített farugó előállítására. Ivánovics (2012) szerint a fenyőfélék korai pásztáját alkotó vékonyfalú tracheida sejtek szerkezete hajlamos a mikro-kihajlásos tönkrementelre és szálszakadásra, ami alkalmatlanná teszi a fenyőt a tömörítéses hajlításra.

A különböző források által felsorolt fajok jelentős része keménylombos fafaj a világ minden részéről, alkalmanként egy-egy alfaj külön kiemelésével, de a megállapítások ezekre a fafajokra egységesen vonatkoztathatóak. Általánosságban elmondható, hogy a keménylombosok jól tömöríthetőek, a lágylombos fajokról kevés információ áll rendelkezésre, míg a fenyőfélék a fent tárgyalt okból, a gyenge tracheida sejtek miatt nem tömöríthetőek. Peres és tsai. (2013), Kuzsella és tsai. (2011) és Szabó (2002) egyaránt megállapították, hogy a szijács és a geszt aránya, valamint az évgyűrűk elhelyezkedése a tömörítés minőségét nem befolyásolja.

Hajlításkor a faanyagnak lehetőleg a bélhez közelebb eső oldalát (jobb oldal) kell a nyomott részen használni, mert a bél felőli részen a fa érettebb és kevésbé tűri a húzást. Egységesen tömöríthető és hajlítható alkatrészek sorozatgyártásban történő előállításához az alapanyag kiválasztásánál célszerű meghatározni annak a fatörzsből elfoglalt helyét, tekintettel az alkotók arányára és a mikrofibrilla-szögére, ezeken keresztül pedig a mechanikai tulajdonságok, tehát a tömöríthetőség változékonyságára.

Az alapanyag kiindulási nedvességtartalma szintén fontos tényezője a tömörítési folyamatnak. A víz a fában négy formában lehet jelen: szabad folyadékvízként és vízgőzként a sejtüregekben, kötött vízként a sejtfalakban és kristályvízként a fa kémiai alkotórészeihez kapcsolódva (Németh 2002). A tömörítés előkészítéseként szükséges rostlágyítás szempontjából a kötött víznek van fontos szerepe, mint a rosttelítettség legjelentősebb tényezőjének. A rosttelítettség az elsődleges meghatározás szerint a második deszorpciós görbe 100%-os relatív páratartalomra való extrapolálása, gyakorlatilag valamely fizikai jellemző és a nedvességtartalom összefüggésének megváltozásához tartozó, általában 24–30%-ra becsült nedvességtartalom (Németh 2002).

Kuzsella (2011a) a 32% nedvességtartalmú akácfa sikertelenül próbálta tömöríteni, viszont 20–25% közötti nedvességtartalommal már a 7,5% és 15% tömörítési arány sem okozott problémát. A nyár faanyag tömörítése gyűrődések keletkezése miatt még kisebb mértékben sem sikerült. Deibl és tsai. (1999) szabadalmukban a tömörítéshez elsősorban nyers, élőnedves állapotú fűrészárut ajánlanak körülbelül 100x120 mm keresztmetszettel, melyet hozzávetőleg 6 órán keresztül kell gőzölni, amíg nedvességtartalma rosttelítettség közeli állapotba áll be. A tömörítéshez a 20–25% közötti nedvességtartalmú faanyagot autoklávban vagy gőzölő berendezésben kell kezelni (Compwood M. 2001, Szabó 2002 és Szabó és tsai. 2005, Rasmussen 2014). A Compwood M. (2008) által közzétett információk szerint a frissen kitermelt faanyag az ideális, egyéb esetben a fűrészáru minden pontján minimum 16% fölötti nedvességtartalom szükséges. „A rosttelítettségi ponttól 2...8%-kal kisebb nedvességtartalmú faanyag alkalmas rostirányú tömörítésre” (Kuzsella és tsai. 2011).

Megállapítható, hogy tömörítéssel a faanyag hajlíthatóvá tétele és ezt követően az előre meghatározott célnak megfelelő felhasználása a legtöbb keménylombos fa esetében lehetséges. Magas minőségi követelményeknek kell megfelelnie az alapanyagoknak, így a lehető legjobb kihozatal elérése rendkívül fontos a költséghatékony termelés érdekében. A szakirodalom a tömörítéshez szükséges nedvességtartalmat legalább 20%-nak javasolja, mely a rosttelítettségig emelkedhet.

### Rostlágyítás

A plasztifikálás elve a faanyag nedvesség jelenlétében történő termikus kezelésén alapszik. Az alkalmazott hőmérséklet és nyomás a kívánt eredményektől függően széles skálán mozoghat. A sejtfal nagyrészt cellulózból és hemicellulózból épül fel, elsősorban ezek hidroxil csoportjai okozzák a sejtfal higroszkópikus tulajdonságait. A lignin összetartja a rostokat és merevíti a sejtfalat (Rowell és tsai. 2005). Németh (2002) a disszertációjában megállapította, hogy a cellulóz áll leginkább ellen a hidrotermikus kezelésnek, és a gőzölés különösen a hemicellulóz állományra van hatással. A szerző szerint a bomlást a hemicellulózokból, fapoliókokból és ligninből lehasadó ecetsav és hangyasav gerjeszti, a folyamatok eredményeként a szövetek fellazulása következik be, mivel az említett savak többek között a középlamellában található pektint is megtámadják, melynek a sejtek egymáshoz ragasztásában van szerepe. Bak (2012) egyértelműen rámutatott, hogy a sejtfalalkotó makromolekulák közül a hemicellulózok a legérzékenyebbek a hőhatásra, ezek roncsolódása a legnagyobb 160–200 °C közötti tartományban. Németh (2002) munkája szerint a kiindulási nedvességtartalmon keresztül az átmelegedés ideje lényegesen befolyásolja a hemicellulózok degradációját. Alacsonyabb nedvességtartalom esetén az adott keresztmetszetű faanyag lassabb átmelegedésével, azaz nagyobb mértékű hemicellulóz bomlással kell számolni.

Mivel a felületükön található a legtöbb víz megkötésére alkalmas hidroxil-csoport, a hemicellulózok az egyensúlyi nedvességtartalomban is kulcsfontosságú szerepet játszanak.

*„Ha a fát felmelegítjük, abban a hőmérséklet és a melegbehatás időtartamától függően vegyi folyamatok mennek végbe. E vegyi folyamatok közül a lignin oxidációja a faanyag fokozatos lágyítását eredményezi, mivel a lignin és cellulóz-hemicellulóz közötti kötés az oxidációs-redukciós folyamatok következtében meglazul. Ha a hőt vízgőzzel közvetítjük, a hemicellulózok egy része kilúgozódik. A kilúgozott hemicellulózok túlnyomó részben nedvszívó tulajdonságúak, tehát kilúgozódásuk után a fa kevésbé lesz nedvszívó, annál is inkább, mert az oxidálódott, illetve degradációt szenvedett lignin víztaszító képessége is megnövekszik” (Barlai 1955).*

Németh (2002) munkájában bemutatottak alapján a kezelt tölgy egyes kémiai alkotórészeit és termikus bomlásukat vizsgálva 100–150 °C-on az tapasztalható, hogy a cellulóz csekély degradáción ment keresztül, a hemicellulózok a kezelési időtől függetlenül jelentős bomlást szenvedtek, a lignin a legstabilabb. Alpár (2011) szerint víz jelenlétében a lignin-hemicellulóz és a lignin-cellulóz kötések már 90 °C-on felszakadnak, magasabb hőmérsékleten (180–220 °C) pedig a lignin viszkózussá alakul. A hemicellulózok 150 °C fölött kezdenek bomlani, némely összetevőnek azonban már 100 °C alatti hőmérsékleten megindul az átalakulása (Hofmann 2013). Oxidatív atmoszférában, jelen esetben vizes-párás közegben a bomlásfolyamatok alacsonyabb hőmérsékleten indulnak (Németh 1998). Kovács és tsai. (2006) munkájukban megállapították, hogy a fa gőzöléssel történő lágyítása utáni jó hajlíthatóságának az a magyarázata, hogy a fában a lignin amorf állapotban van jelen, és a cellulózzrostokat úgy veszi körül, mint beton a vasbetétet. Ezért főzés vagy gőzölés hatására a faanyag plasztikussá válik, ami hajlításkor lehetővé teszi a rostok elmozdulását. Megállapították továbbá, hogy a fa maximális plaszticitása 25–30% nedvességtartalom és legalább 70–80 °C hőmérséklet mellett érhető el, majd lehűlést, ill. száradást követően újra megszilárdul a sejteket összekapcsoló középlemez.

Kuzsella és Szabó (2006), valamint Rasmussen (2014) szerint tömörítés előtt a faanyagot plasztifikálni kell kb. 100 °C-on, minek következtében nyomószilárdsága lecsökken, alakíthatóbbá válik és képes elviselni a zsugorodást jelentősebb károsodás nélkül. A hőközlés idejét az alkatrész geometriai méretei határozzák meg, elsősorban a keresztmetszete. Ivánovics (2008) kutatásai alapján a tömörítéshez alkalmas, rosttelítettségi határnak megfelelő nedvességtartalmú faanyag normál nyomáson 90–100 °C hőmérsékletre gőzölve megegyezik a Thonet-technológia hajlítás előtti anyagával. Az előkészített fahasáb csak melegen tömöríthető megfelelően. A Compwood M. (2001) leírása szerint a fa gőzölése meglágyítja a hemicellulózokat, ezután hosszirányban, a rostok irányában tömöríthetővé válik egy különleges hidraulikus présben. Végül a fa rostjainak a falai meggyűrődnek.

A Holzveredelung (1926) szabadalmában a következők találhatók a plasztifikálásra vonatkozóan: a fát csökkentett légnyomáson tartva, majd főzve vagy gőzölve a lágyítás idejét 1/3-ra lehet rövidíteni. Még gyorsabb és egyszerűbb eljárás az alacsony légnyomáson tartott fát rövid ideig gőzöléssel, vagy víz jelenléte mellett történő gőzöléssel kezelni, így kb. 1/5–1/6-ra rövidül a lágyítás ideje. Ehelyett a fát tartalmazó légritka térbe csupán kis mennyiségű forró vizet engedve a fa bármilyen további kezelés nélkül megfelelően meglágyul. Ebben az esetben a lágyítási idő 1/3–1/4-e a korábban szükséges időnek. Az egyenletesebb lágyítás segít az egységes tömörítést, és ezáltal a fa megfelelő hajlíthatóságát elérni. A fa szerkezete nem egyenletes, ezért főzés vagy gőzölés előtt, vagy még inkább a főzés vagy gőzölés közben vákuumot alkalmazva a fa különböző szerkezeti egyenetlenségeiből származó eltérő lágyítása lényegesen csökkenni fog, és következőképpen a tömörített fa is egyenletesebben és nagyobb méretben hajlítható lesz.

Az egységes előkezelés szerepe tehát rendkívül fontos a megfelelő tömörödés és egyenletes hajlíthatóság elérésében. A megfelelő rostlágyítás alapfeltétele nedves alapanyag felhasználása és a víz forráspontjához közeli hőmérsékleten történő kezelése (90–110 °C), mely során a cellulóz tulajdonságai annak stabil felépítése és erős kötése miatt nem módosulnak. Minimálisan 80 °C hőmérséklet megtartása szükséges az anyag teljes hosszában és keresztmetszetében a tömörítés folyamán. A tömörítési rostirányú tömörítése és hajlítása szempontjából egyaránt az erős és ellenálló cellulózzrostokat összekapcsoló részek a leglényegesebbek, vagyis a P-M-P kötőszövet (elsődleges sejtfa-középlemez-elsődleges sejtfa), melyek jelentős részben ligninből és hemicellulózokból épülnek fel és hidrotermikus kezeléssel lágyíthatóak. A lignin stabil rostlágyítási hőmérsékleten, de kötése gyengülnek vagy megszűnnek, míg a hemicellulózok egy része módosul. A plasztifikálásnak köszönhetően a nagyrészt cellulózból felépülő rostkötegek el tudnak csúszni egymáshoz képest, de a köztük lévő kötést a középlemez a hűtés és szárítás, vagyis a lágyított állapotot követő visszasilárdulás után továbbra is biztosítani képes.

### A rostirányú tömörítés elmélete

Az előzőekben bemutatott tulajdonságoknak megfelelő, jól előkészített alapanyagok felhasználásával lehetséges megfelelő minőségű rostirányú tömörítést kivitelezni. A fát általában teljes hosszában egyenletes előkezelésnek vetik alá, azonban a fatömb hosszmenti részleges összenyomása szakaszos rostlágyítással vagy a préselés során a melegítés változtatásával is elérhető (Thomassen és tsai. 1990).

A rostirányú fatömörítési eljárás lényege a rúd alakú faanyagok keresztmetszet változása nélküli, hossz-tengely mentén végrehajtott zömítése (Kuzsella és Szabó 2006). A folyamat a fa gőzöléses lágyításán alapszik, ezután tömöríthető hosszirányban különleges szerszámok segítségével (Anssary 2006). Tömörítés közben az alkatrészeket oldalról meg kell támasztani a nyomás hatására fellépő kihajlás megakadályozására (Szabó 2002). A fatömb végein bevezetett ellentétes irányú tömörítő erők az oldalfelületeken is hatnak, mint súrlódási erők (Thomassen és tsai. 1990). A rostirányú zsugorítás hatására a rostfalak harmonikaszzerűen gyűrődnek, a fa tömörödik, ezáltal a faanyag hajlíthatóvá válik (Szabó és tsai. 2005). Tömörítés után fokozatos nyomáscsökkentéssel a rugalmas deformáció kiegyenlítődik az anyagban, végül a tömörítés fokától függő, maradandó hosszcsökkenés figyelhető meg. A faanyag kiválóan hajlítható lesz, majd száradás után a kívánt formában újra merevvé válik (Kuzsella és Szabó 2006). Ideális tömörítés során minden keresztmetszet alakváltozása körülbelül azonos mértékű, nagyobb tömörítésnél kisebb változékonysággal, és a faanyag tönkremenetele nem kezdődik meg a leggyengébb helyen. A nagyobb mértékű tömörítéshez nagyobb erő szükséges, így a kevésbé tömörödött részek, melyeknek adott tömörítési arány eléréséhez nagyobb erőre van szükségük, szintén elszenvedik a többi résznél már korábban létrejött tömörödést. Az elérhető legnagyobb tömörítési fok legfeljebb 25–28% lehet, utána egy vagy több helyen nem kívánt károsodásokat szenved, tehát a művelet kitűzött céljához képest tönkremegy a faanyag (Ivánovics 2012).

A tömörítés lehetőségét a faszövet üreges volta adja, illetve azon tulajdonsága, hogy plasztifikált állapotban a fa a szerkezet tönkremenetele nélkül összenyomható (Ivánovics 2008). A kezeletlen faanyaghoz képest a tömörített faanyag mechanikai tulajdonságainak változása (statikus tulajdonságok romlása és dinamikus tulajdonságok javulása), a rostszerkezet bizonyos mértékű változásán kívül a lignin-kötések gyengülésének és a hemicellulózok plasztifikálás során végbemenő részleges átalakulásának is tulajdonítható. A rostirányú tömörítés hatására az anyag szerkezetében szükségszerűen módosulások történnek, amelyek a fizikai-mechanikai tulajdonságok megváltozását okozzák. A tömörített faanyag előállításakor a faanyag hosszirányú merevségét biztosító rostok helyzete és alakja ugyan megváltozik, de felépítésük változatlan marad a tömörítési eljárás következtében megrövidült faanyagban (Ivánovics 2012).

A különböző mértékű tömörítések által okozott mikroszkopikus szintű elváltozások vizsgálati kimutatták, hogy a bükkfában a 15%-os tömörítési arány eléréséig már szinte az összes edény (a vízszállításért felelős tracheák) sejtfa meggyűrődik, egyúttal valószínűsíthető, hogy a farostok is hasonlóan viselkednek. *„A bükk faanyag rostirányú makroszkopikus tömörítésének mikroszkopikus szerkezetre gyakorolt hatásának vizsgálata megmutatta, hogy hogyan változott az egy látótérben felfedezhető gyűrődött falú tracheák aránya a látótérben lévő összes tracheák számához képest. A vizsgált tömörítési szinteken az azonos látótérben látható gyűrődött tracheák aránya növekedett (0%; 13%; 63%; 98%; 99%) a tömörítés mértékének növelésével [mely rendre 0%, 5%, 10%, 15%, 23% volt]”* (Kuzsella 2011).

Egy tömörítetlen állapotú bükkfa metszetről készült elektronmikroszkopos felvételhez képest (2.a ábra) jól látható, hogy a rostirányú tömörítés hatására az edény fala hullámossá válik (2.b ábra). A trachea gyűrődéséről készült felvételek mutatják legjobban a fa szerkezetének változását tömörítés hatására, de fontos szem előtt tartani, hogy a fatest legjelentősebb, nagy arányban megtalálható mechanikai eleme a farost, amely vastagabb fallal rendelkezik és a szilárdítás a fő feladata (Ivánovics 2012). A farostokról készített felvételek kevésbé látványosak, de a változások egyértelműen megmutatkoznak a tracheákról készült képekkel összehangban.

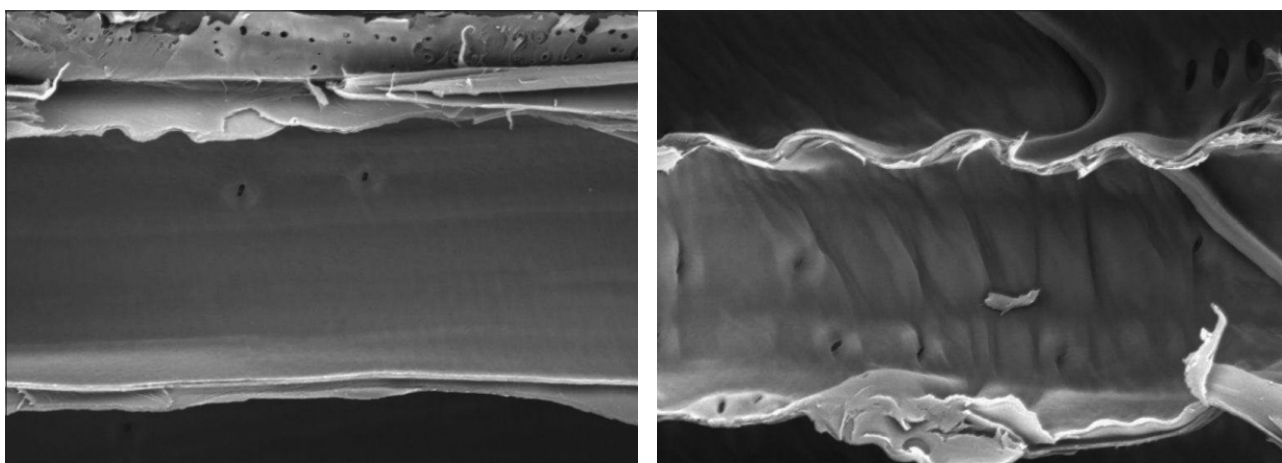
A makroszkopikus alakváltozás a bükkfa mikroszerkezetében is változásokat idéz elő, a sejtfaakat harmonikaszzerűen összegyűri, ami egyértelműen összefüggésbe hozható a makroszkopikus tulajdonságok nagymértékű megváltozásával (Kuzsella 2011). A rostkötegek a plasztifikált mátrixban elmozdulnak, esetleg sejtek közti repedések is megjelenhetnek. A sejtek elcsúszása a szomszédos sejtfaalak mentén, és a sejtfaalak vastagodása egyaránt megjelenhet a tömörödés hatására. Mindkét alakváltozás eredménye a keresztmetszet kismértékű növekedése, de jelentős az anyag sejtüregbe való benyomódása is (3. ábra) (Ivánovics 2012). Az előző megállá-

pításokkal konszenzusban Deibl és tsai. (1999) szerint a 20% mértékű rostirányú tömörítés folyamán a farostok egymásba csúsznak, míg a Compwood Machines Ltd. (2001) a fa rostfalainak meggyűrődéséről tájékoztat. Elektronmikroszkópos szöveti vizsgálatok azt mutatták, hogy a tömörített faanyag képlékeny alakíthatóságát a sejtfalak alakváltozása teszi lehetővé. Tömörítéskor harmonikaszzerűen hullámosodnak, majd a továbbalakítás, hajlítás során a húzott oldalon újra kiegyenesednek (Ivánovics 2006).

Amennyiben longitudinális irányú préselés hatására a minta nem tud kihajolni, törni, vagy nem szenved egyéb mechanikai sérüléseket, a rövidülés miatt az előbbieken megállapított mikroszkopikus változásoknak szükségszerűen nem csak a bükk, hanem az összes rostirányban egyenletesen tömöríthető fafaj esetében végbe kell menniük. A szilárdságot biztosító farostok elcsúsznak egymáshoz képest, meggyűrődve roncsolódnak és ennek köszönhetően válik plasztikusabbá, nagyobb mértékben hajlíthatóvá a végtermék.

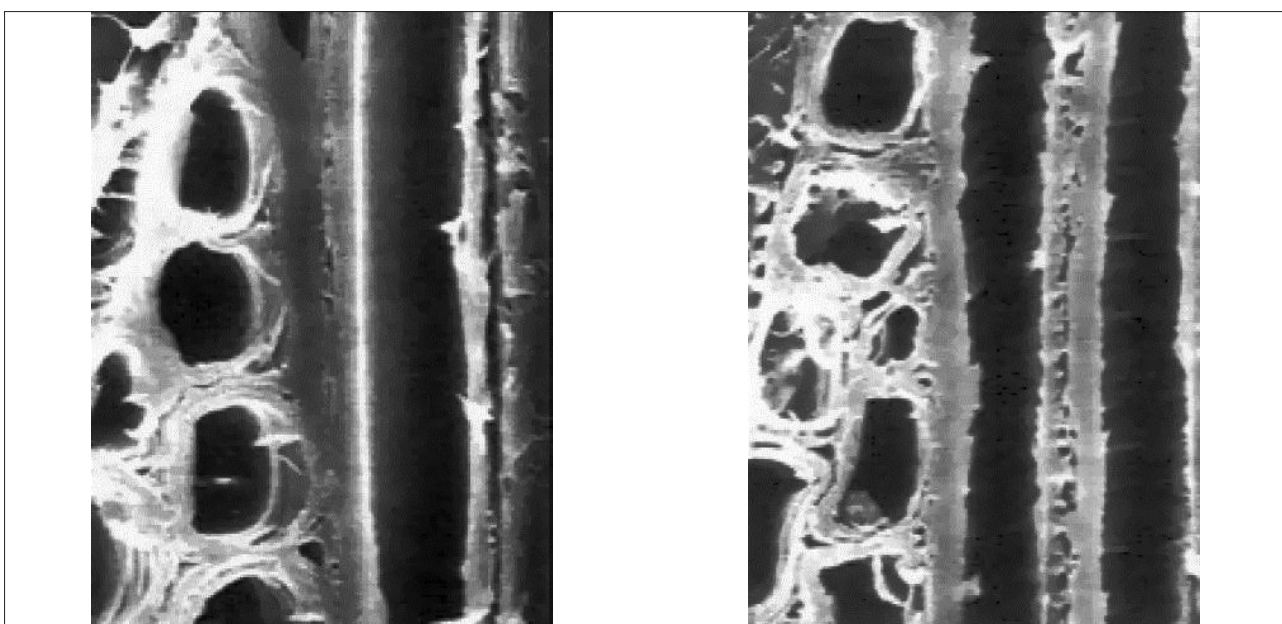
A tömörítés miatt a bélsugáron és a farostokon bekövetkező változásokat szemléltetik Buchter és tsai. (1993) által bemutatott felvételek. A 3.a ábrán egy normál bükkfa, a 3.b ábrán a rostirányú tömörítés során mechanikai változásokat szenvedett bükkfa metszete látható.

A nagymértékű tömörítés hatására végbemenő változások, a sejtszintű, és utána szabad szemmel is láthatóvá váló tönkremenetel Ivánovics (2012) szerint a következő módon történik: a hosszanti sejtek igen rövid szak-



**2. ábra** Bükkfa vízszállító edényéről készített SEM felvételek normál fa (a) és tömörített fa (b) esetében (forrás: Kuzsella 2011)

**Figure 2** SEM photographs of the beech wood's trachea in case of a normal wood (a), and a longitudinally compressed wood (b) (source: Kuzsella 2011)



**3. ábra** Bükkfa mikroszkopikus fényképe tömörítés előtt (a) és tömörítés után (b) (forrás: Buchter és tsai. 1993)

**Figure 3** Microscopic photographs of beech wood before compression (a) and after compression (b) (source: Buchter és tsai. 1993)

szon kihajlanak, esetleg jelentős nyírási alakváltozást szenvednek. A terhelés növekedésével a mikro-kihajlások vagy az elnyíródások kiterjednek az egész keresztmetszetre, melyeket a sejtfalak tönkremenetele (szakadása, felrepedése, réteg-elválása) kíséri. A terhelést tovább növelve egyre több keresztmetszet megy tönkre állandó rostirányú feszültségérték mellett. Sejtek közötti törések jönnek létre a bélsugarak alatt és felett, majd makroszkopikusan is láthatóvá válik, ahogy a rost és bélsugár határfelületeken is megkezdődik az elválás a legtöbb esetben. A tömörítés, és az azt követő hajlítás során bekövetkező veszteségek minimalizálása érdekében célszerű próbatömörítéseket végezni nagyobb mennyiségű termék előállítására, esetleg sorozatgyártás megkezdése előtt, hogy szükség esetén az adott alapanyag legnagyobb hajlékonyságát lehessen elérni minél jobb kihozatal mellett.

### Összefoglalás

Jelen cikk áttekintést ad a fa rostirányú tömörítéséhez megfelelő alapanyagokról és ezek előkészítéséről, a fában végbemenő változásokról.

Magas minőségű, egységes felépítésű és egészséges alapanyag szükséges a fa tömörítéséhez és a következő kényes művelethez, a sugárirányban és húrirányban egyaránt elvégezhető hajlításhoz. A következő fafajok – többnyire keménylombosok – bizonyultak eddig tömörítéssel járhatóknak: afzélia, akác, bükk, ciprusfa, cseresznye, dió, foltos gumifa, hamis mahagóni, hárs, juhar, kőris, pau marfim, szil, tölgy. A fenyőfélék alkalmatlanok a tömörítéssel járhatóak. A szijács és a geszt aránya a tömörítés minőségét nem befolyásolja, ez az évgyűrűk elhelyezkedésére is vonatkozik, viszont rendkívül lényeges a párhuzamos szálirány és a minimális rostkifutás. A hosszirányú tömörítés akkor valósítható meg, ha a faanyag egyenes állapotban marad a teljes folyamat alatt és nem tud kihajolni.

Minimálisan 20% nedvességtartalmú fa alkalmas a rostirányú tömörítés alapanyagaként való felhasználásra, mely legalább 80 °C hőmérsékleten történő hidrotérmikus kezeléssel lágyítható. Ezt a hőmérsékletet tartani kell az anyag teljes keresztmetszetében a préselés során.

A rostlágyítás hatására a cellulóz tulajdonságai annak stabil felépítése és erős kötése miatt nem módosulnak. A fa plasztifikálódását a ligninnek és a hemicellulózoknak – mint a sejtek közti P-M-P kötőszövet fő alkotóinak – a változása okozza, minek következtében a nagyrészt cellulózból felépülő, szilárdságot biztosító farostok elcsúsznak egymáshoz képest, meggyűrődnek, esetleg roncsolódnak és ennek köszönhetően válik plasztikusabbá, nagyobb mértékben hajlíthatóvá a végtermék. 15% tömörítési arány eléréséig már szinte az összes nedvességszállító edény sejtfala meggyűrődik, a tracheák átalakulásával összhangban a farostok is hasonlóan módosulnak. A rövidülés miatt a bemutatott mikroszkopikus változásoknak szükségszerűen az összes, rostirányban egyenletesen tömöríthető fa esetében végre kell menniük. Nem megfelelően kivitelezett vagy túl nagy mértékű préselés esetén apró, sejtszintű kihajlások és elnyíródások következnek be egyre több helyen, ami a faszervezet szabad szemmel is láthatóvá váló tönkremeneteléhez vezet.

A sorozat következő cikke a témával kapcsolatban megjelent szabadalmakkal, a tömörítési folyamat tulajdonságaival, változatos lehetőségeivel és a faanyag tömörítést követő kezelésének ismertetésével foglalkozik, majd a harmadik részben a mechanikai tulajdonságok kerülnek bemutatásra.

### Irodalomjegyzék

- Anssary E. A. (2006) An Approach to Support the Design Process Considering Technological Possibilities. Doktori értekezés, University of Duisburg-Essen, Department of Art and Design, Essen, Németország, 207 o.
- Alpár T. (2011) Faalapú lemezek. Kézirat, NymE Faipari Mérnöki Kar, Sopron, 118, 259–275. o.
- Bak M. (2012) Növényi olajokban hőkezelt nyár faanyag tulajdonságainak vizsgálata. Doktori értekezés, NymE Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola, Sopron, 247 o.
- Barlai E. (1955) Az akác ipari felhasználhatósága. Erdészeti Lapok, 97(02): 62.
- Buchter J., J. Adelhoej, J. Ljoerring, O. Hansen (1993) Introduction to Compressed Wood. Danish Technological Institute, Department of Wood and Furniture, Taastrup, Dánia, 2–32. o.
- Compwood M. Ltd. (2001) Advanced wood bending technology - Compressed hardwood for easy and cold bending. Compwood Machines, Slagelse, Dánia, 2–3. o.
- Compwood M. Ltd. (2008) English Manual. <<http://www.compwood-eng.dana8.dk/data/images/man%20eng.pdf>> Megtekintve: 2008.09.14.



- Deibl H-J., J. Illhardt, H-J. Walter (1999) Verfahren zur Herstellung von Halbzeugen aus biegbarem Holz. Deutsches Patent- und Markenamt, DE19913775 A1 sz. szabadalmi leírás, 1–2. o.
- Hofmann T. (2013) Fakémia – Fakomponensek bomlása hő hatására. Kézirat, NymE Erdőmérnöki Kar, Sopron, 8. o.
- Holzveredelung GmbH. (1926) Verfahren zum Biegsammachen von Holz. Deutsches Reich Reichspatentamt, 488765 sz. szabadalmi leírás, 1–2. o.
- Hyams M. L. (2008) Can design generate information to aid in technological innovation? An investigation using industry based case studies. Diplomamunka, Swinburne University of Technology, Hawthorn, Ausztrália, 165 o.
- Ivánovics G. (2006) Rostirányban tömörített faanyagok szilárdsági vizsgálata. In: Konferencia kiadvány, Belina K. és tsai. szerk. AGTEDU 2006, Műszaki és Természettudományi Szekció, Kecskeméti Főiskola, Kecskemét, 2006. november, 171–176. o.
- Ivánovics G. (2008) Fatömörítő célgép tervezése. Gép, 59(10-11): 56–59.
- Ivánovics G. (2012) Nyomott faanyag alakváltozási folyamata. Kézirat, Kecskeméti Főiskola, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Gépszerkezettani és Terméktervező Tanszék, Kecskemét, 2–6. o.
- Kovács Zs., J. Süveg, T. Papp (2006) Mechanikai megmunkálás II. - A fa hajlítása. Kézirat, NymE Faipari Mérnöki Kar, Sopron, 57–68. o.
- Kuzsella L., I. Szabó (2006) A fa tömörítésének hatása a mechanikai tulajdonságokra. In: Konferencia kiadvány, Bitay Enikő szerk. XI. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2006.03.24–25., 233–236. o.
- Kuzsella L. (2011) Rostirányú tömörítés hatása a bükk faanyag szerkezetére és mechanikai tulajdonságaira. Doktori értekezés, Miskolci Egyetem Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Miskolc, 151 o.
- Kuzsella L., P. Bárczy, I. Szabó (2011) Ősi anyag új feldolgozása, avagy tömörített fából energiatároló rugó. Bányászati és Kohászati Lapok, 144(2): 40–41.
- Magyar–Amerikai Faipari Rt. (1927) Eljárás és berendezés hosszabb fahasábok állandó hajlékonytételére. Magyar Királyi Szabadalmi Bíróság, 96736 sz. szabadalmi leírás, 1–2. o.
- Material Archiv (2013) Patent-Biegeholz (MA-1493). <<http://www.materialarchiv.ch/detail/1493/cms/de/cms/de/cms/de/sponsoren.html#/detail/1493/patent-biegeholz>> Megtekintve: 2014.02.02.
- Németh K. (1998) A faanyag degradációja. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 11–29. o.
- Németh R. (2002) A hidrotermikus kezelés hatása az akác faanyagának szorpciós tulajdonságaira. Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 105 o.
- Peres M. L., D. A. Gatto, R. A. Delucis, R. Beltrame (2013) Vergamento de Madeira Sólida: Quallade de Processo e Matéria-Prima (Tömörfa hajlítása: a folyamat és az alapanyag minősége). Nativa-Agricultural and Environmental Research 01(01): 56–61.
- Rasmussen Engineering Aps. (2014) Bendwood Engineering. <<http://bendwoodengineering.com/>> Megtekintve: 2014.02.13.
- Rowell R. M., R. Pettersen, J. S. Han, J. S. Rowell, M. A. Tschabalala (2005) Cell Wall Chemistry. In: Rowell, R. M. szerk. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, Amerikai Egyesült Államok, 37–45. o.
- Sparke B. (1989) Fremgangsmåde til fremstilling af træ med blivende fleksibilitet, især til anvendelse som kantlister, møbeldele og lignende formål, hvor der stilles s tore krav til træets bøjelighed (Eljárás tartósan rugalmas faanyag előállítására részben élzáró anyagnak, bútorkatrésznek és ahol igény van a fa hajlíthatóságára). Denmark Patentdirektoratet, 170364 sz. szabadalmi leírás, 1–6. o.
- Szabó I. (2002) A fa hajlítása. In: Molnárné Posch P. szerk. Faipari kézikönyv II., Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron, 60–61. o.
- Szabó I., L. Eckhardt, Gy. Czél (2005) Energiatároló tömörített farugó. Magyar Szabadalmi Hivatal, 226783 sz. szabadalmi leírás, 2–5. o.
- Thomassen T., J. Ljorring, O. Hansen (1990) Method and Apparatus for Compressing a Wood Sample. United States Patent Office, 5190088 sz. szabadalmi leírás, 1–5. o.

# Faanyag rostirányú tömörítésével kapcsolatos elméleti és gyakorlati kérdések áttekintése

II. rész: Történelem és szabadalmak. A tömörítési folyamat tulajdonságai és a tömörítést követő eljárások

BÁDER Máttyás<sup>1</sup>, NÉMETH Róbert<sup>1</sup>, ÁBRAHÁM József<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Faanyagtudományi Intézet

## Kivonat

A tanulmány áttekintést ad a fa rostirányú tömörítésével kapcsolatban megjelent szabadalmakról, a tömörítési folyamat jellegzetességeiről, és a faanyag tömörítését követő kezelési lehetőségekről. 1917 óta számos szabadalomban megjelent a fa rostirányú tömörítése, cikkek és könyvek egyaránt foglalkoznak a technológiával. A plasztifikálás utáni tömörítés során a faanyagot meg kell támasztani az oldalirányú kihajlás megakadályozására, csökkentve eközben a fellépő súrlódási erőknek az egyeneses préselést hosszirányban gátló hatását. Két fő eljárást lehet alkalmazni az eredeti mérethez viszonyított, általában 10–25% mértékű longitudinális irányú tömörítés után, melyek eltérő tulajdonságú termékeket eredményeznek. A nyomást a préselés után megszüntetve a faanyag „visszarugózik”, 3–5% maradandó rövidülés mellett a hajlíthatóságát a kiszáradásig őrzi meg, ezt követően újra merevvé válik. A másik módszer szerint a tömörítés befejeztével a faanyag redukált hosszúságát rögzíteni kell, majd szárítani-hűteni, minek következtében a beállított hosszát megtartva lényegesen nagyobb sűrűségű, és a későbbiekben is hajlékony lesz a faanyag. A tömörített fa kisebb keresztmetszetek esetében kézzel is hajlítható, nagyobb keresztmetszeteknél szerszámokat, vagy célgépeket kell alkalmazni a megfelelő rádiusz eléréséhez, viszont mindenkor lényegesen kisebb erővel, és a repedések-gyűrődések megjelenéséig nagyobb mértékben hajlítható a normál rostlágyított faanyaghoz képest.

**Kulcsszavak:** rostirányú tömörítés, történeti áttekintés, famodifikáció, hajlítás

## Overview of the Theoretical and Practical Issues of Longitudinally Compressed Wood

Part 2: History and patents. The properties of the compression process and the treatments after compression

### Abstract

This study presents an overview of the patents concerning the longitudinal compaction of wood, the characteristics of the compression process and the treatment of wood directly after compression. Several patents, articles and books have been published since 1917 on the longitudinal compression of wood. There are two main methods used after completing the compression process, resulting in products with different properties. One method is eliminating the pressure after 10–25% reduction in length, in which case the wood springs back. There is a residual shortening of 3–5% of the initial length, but the wood is still bendable until dried. After that it will be rigid again. The other method is restraining the longitudinal springback of wood after compression while cooling and drying, resulting in higher density and permanently flexible wood. The compressed wood is bendable by hand for low cross-sections. However bending tools and machines shall be used for large cross sections, even if it can be bent using much less force and to a larger extent, compared to normal softened wood.

**Keywords:** compression in the fibre direction, longitudinal compression, historical overview, wood modification, bending

## Bevezetés

Thonet első szabadalma után 75 évvel, 1917-ben jelent meg az első rostirányú tömörítésen alapuló eljárás, amely új lehetőségeket mutatott a fa hajlításának technológiájában. Azonban ennek a megoldásnak alkalmazásához még sok évtizednyi fejlesztésre és az eredeti szabadalmon alapuló módosított eljárások és találmányok sorára volt szükség, mire 1988-ban piacra került a rostirányú tömörítésen alapuló, ipari célokra alkalmas modern berendezés (Compwood M. Ltd. 2008). A folyamat gyakorlatilag bármilyen keresztmetszetben elsősorban nedvesen, de akár hideg és száraz állapotban is hajlékony alapanyagot eredményez, mely a normál (tömörítetlen) faanyaghoz képest sokkal szélesebb intervallumban felhasználható: kisebb sugárba, alaktartó módon hajlítható, különleges körülményeket nem igénylő módon.

Több tanulmány és szabadalom foglalkozik a longitudinális irányú tömörítéssel (Hanemann 1917a és 1917b; Holzveredelung GmbH. 1926a és 1926b; Magyar–Amerikai Faipari Rt. 1927; Thurn 1932; Thurn és Thurn 1943; Sparke 1989; Thomassen és tsai. 1990a és 1990b; Buchter és tsai. 1993; Deibl és tsai. 1999; Volkmer és tsai. 2001; Szabó 2002; Szabó és tsai. 2005; Kuzsella és Szabó 2006; Ivánovics 2008; Kuzsella 2011a és 2011b; Kuzsella és tsai. 2011; Ivánovics 2012).

A cikksorozatban a fa hosszirányú tömörítésével kapcsolatos tudnivalók, eddigi fontos kutatási eredmények és alkalmazott módszerek, ipari tapasztalatok, valamint a termékek mechanikai tulajdonságai kerülnek bemutatásra, azok kritikai értékelésével. A sorozat előző cikke ismertette a rostirányú tömörítési eljáráshoz alkalmas alapanyagokat, ezek előkészítési módjait és a tömörítés sejt szintű elméletét (Báder 2015). E rövid áttekintés a longitudinális préselés innovációjának történelméről kíván információt nyújtani. Egyúttal a tömörítési folyamat tulajdonságai és a faanyag tömörítését követő kezelési lehetőségek tudományos szinten is bemutatásra kerülnek, míg a következő rész a tömörítés hatására bekövetkező mechanikai változásokkal, a megmunkálási tulajdonságokkal és a termékek felhasználási lehetőségeivel foglalkozik.

## A rostirányú tömörítés története, szabadalmak

E fejezet nem tér ki a faanyag hajlításával kapcsolatos történelem áttekintésére, mely az időszámítás kezdete előtti évezredekbe nyúlik vissza, csupán a rostirányú tömörítéssel foglalkozik, a cikksorozat tematikájának megfelelően. A tömörítés történelme a XX. század elejétől indul, mely időszakban már a modern kor követelményeinek megfelelően voltak dokumentálva fejlesztések, szabadalmak, könyvek, esetleg tanulmányok formájában. Ezáltal lehetséges az időrendet követve a tömörítés fejlődésének irodalomhű bemutatása.

1841 után, amikor Michael Thonet német születésű, az Osztrák–Magyar Monarchiában tevékenykedő bútortaláló és gyártó jogot kapott, hogy bútoralkatrészeket a módszerének megfelelően hajlított fából készítsen, a tervezők és a gyártók felfedezték ezen új termék konstrukciós és gazdasági előnyeit. A korabeli, fahajlításon alapuló bútorokra világszerte növekvő igény mutatkozott, aminek hatására kutatásokat kezdtek, hogy jobb (olcsóbb és egyszerűbben kivitelezhető, sorozatgyártásba jobban illeszkedő) megoldásokat találjanak a tömörfa ipari hajlítására. A hajlítás folyamata, amely során gőzöléses melegítéssel a tömörfa időlegesen rugalmassá tehető, évezredek óta ismert. Hajlításkor a belső, kisebb íven nyomás alá kerül a fa, míg a külső oldalon a feszültségmentes réteg (semleges szál) elhelyezkedésétől függően húzásnak lehet kitéve. A repedés- és törésmentes hajlítás elve szerint a semleges szál minél közelebb kell vinni a húzott oldalhoz, például acél húzószalag alkalmazásával, mert húzás hatására a fa alig tud megnyúlni, inkább szakadnak a rostjai (Hanemann 1917b). Ez adhatta az ötletet a longitudinális irányú tömörítésre: a fát összenyomva a későbbi hajlításkor a húzott oldalon eredeti állapotához képest nem, vagy csak kis mértékben lesz nyújtásnak kitéve a faanyag, tehát az a repedéstörés megjelenéséig kisebb sugárba hajlítható. Nem mellékes, hogy a fa rugalmassági modulusa is jelentősen csökken, tehát a tömörítés következtében könnyebben alakítható alapanyag áll rendelkezésre.

1917-ben jelent meg az első szabadalom a fa rostirányú tömörítésére vonatkozóan. A későbbiekben a döntő áttörést egy tömörítő gép hozta meg, amely megfelelő minőségben volt képes tömöríteni a természetes faanyagot, és így lehetővé vált az egyszerű és jó minőségű hajlítás. A longitudinális irányban préselt fa nagymértékű alakváltozásokra képes, bármely irányban kis repedés és törés miatti veszteséggel hajlítható. A hajlítás egyszerű eszközökkel és sablonokkal megoldható, melyek használatát könnyű megtanulni (Anssary 2006), de ezek taglalása jelen cikkben terjedelmi korlátok miatt nem megoldható. Mára a fa tömörítésével és tömörítés utáni hajlításával kapcsolatosan tudományos publikációk, szabadalmak és élő szaktudás is rendelkezésre állnak. Magyarországon szakkönyvben először Szabó (2002) ismertette a tömörítéses hajlítással kapcsolatos legfontosabb tudnivalókat,

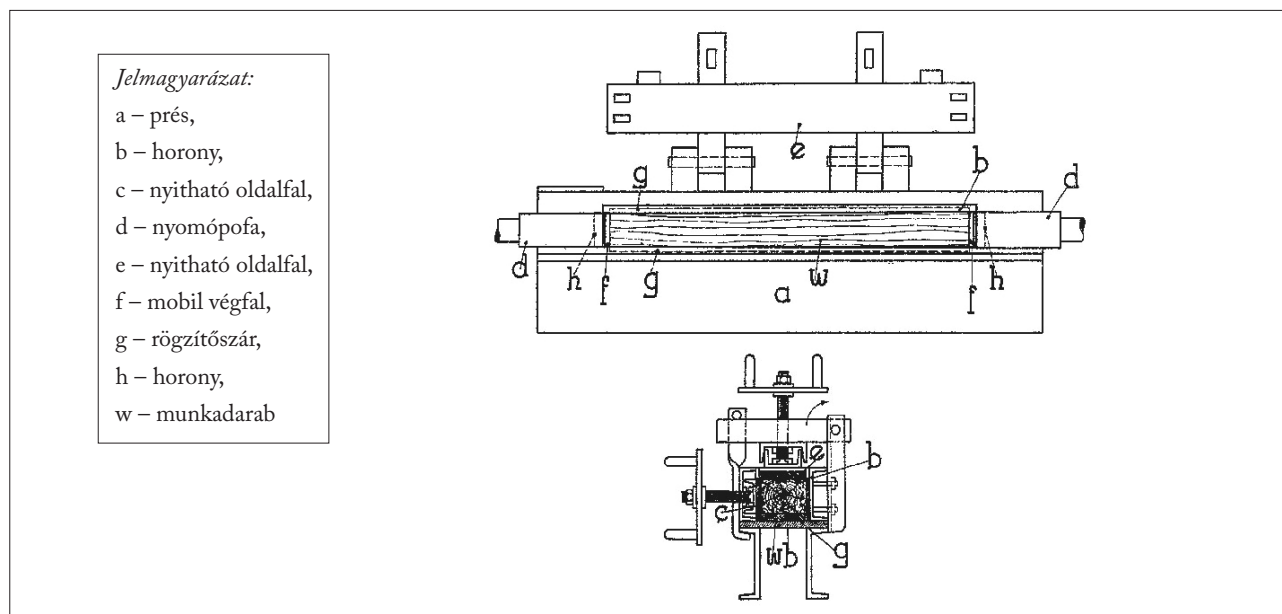
tudományos és ipari eredményekre egyaránt támaszkodva. A következő, időrendben felsorolt ismertető a fa rostirányú tömörítésével közvetlenül kapcsolatban álló újításokat, szabadalmakat mutatják be.

A fa rostirányú tömörítésén keresztüli hajlíthatóvá tételével kapcsolatos első szabadalmat 1917-ben a Deutsches Reich Reichspatentamt (Német Birodalmi Szabadalmi Hivatal) jegyezte be a Max Hanemann (1917a) által benyújtott fejlesztés alapján. E szerint a fát először főzni vagy gőzölni kell, majd forró és nedves állapotban a présbe helyezni, ahol a munkadarabokat a kihajlás megakadályozása végett egy vastag burkolat, a préhüvely veszi körbe a folyamat során. A nyomópofákkal a fát szálirányban összepréselve, majd szárítva és lehűtve a faanyag fűrészeltető és megmunkálható, egyúttal hajlítható lesz. Az előkészítési eljárás legfőbb jellemzője, hogy a fa nincs deszkákra vágva, hanem nagyobb méretekben főzés vagy gőzölés útján úgy van lágyítva és a rostok irányában tömörítve, hogy lehűtés és kiszáritás után nem nyeri vissza újra a régi hosszát, következésképpen tartósan hajlékony marad. A munkadarabok a későbbiekben tetszőleges alakban előállíthatóak lesznek.

Az első szabadalom beadása után néhány hónappal készült egy kiegészítő dokumentum is, melyben a tömörítő berendezésnek egy termelékenyebb változata kerül bemutatásra, valamint szó esik a rostirányra merőleges tömörítésről, mert előtte csak szálirányban történő préselés szerepelt. A nyomás fenntartása a szárítás és lehűtés idejére jobban alakítható faanyagot eredményez. A végtermékhez megfelelő méretűre előkészített fát egy kihajlást megakadályozó, kiegészítő fémszalagokkal ellátott erős hüvelybe kell helyezni. A megfelelő mértékű préselés után a fejlapok egymáshoz rögzíthetőek az előzetesen behelyezett fémszalagokkal, és utána a nyomópofákat vissza lehet húzni. Így a tömörített fadarab rögzített hosszúsággal kivehető a préhüvelyből, szárítható és lehűthető lesz, majd a rögzítő készülék levétele után megmunkálható. A kísérletek szerint a rostirányú és a rostirányra merőleges tömörítés egy időben megtörténhet és szintén hajlítható fát ad, de ekkor igénybevétel esetén a lehetséges törésvonal a rostirányban fekszik (Hanemann 1917b). A fenti megállapításból következően a kombinált tömörítés hatására a rostelválás veszélye megnövekszik – hiába kapunk könnyen hajlítható faanyagot, valamint a szálszakadás esélye hiába csökken le – nem lehet elfogadható kihozattal a céloknak megfelelő félkész- vagy készterméket létrehozni. Az előzőek miatt a rostirányra merőleges irányú tömörítéssel hajlítás céljából nem érdemes foglalkozni, csupán a rostirányú tömörítésnek van létjogosultsága.

A későbbiekben újabb szabadalmak, technológiák jelentek meg, melyek Hanemann kísérleteinek gyakorlati alkalmazását, tökéletesítését, továbbfejlesztését célozták. Elsőként a Holzveredelung GmbH. (1926a) az előzőekben felvázolt szabadalom téziseinek megfelelően üzemelő, ipari körülmények között alkalmazható gépet mutatott be, a berendezés felépítésére vonatkozó jellegrajzokkal kiegészítve. A gépet használták az akkori Német Birodalom területén, tehát a rostirányban tömörített hajlékony fa ipari előállításának kezdete az 1920-as évek második felére tehető. A leírtak szerint a cél hajlítható fadarabok készítése főzés vagy gőzölés utáni szálirányú tömörítéssel úgy, hogy a készülék tevékenysége a nedvesség eltávolítása előtt befejeződjön. A tömörítő berendezés olyan kialakítású, hogy – bár a tömörítés során megnövekedő keresztmetszetű egy vagy több munkadarab oldalai a présfalnak nekifeszülnek – ennek ellenére elcsúsztathatóak annak mentén (1. ábra). A rögzítő készülék a présformán belül a munkadarabot nyomó préslap alatt fekszik, tömörítés után a munkadarabra erősíthető és így a présformából kivéve tömörített állapotban tartja a fát a gyors szárítás érdekében (2. ábra). A szabadalom kiterjed a félkész termékek megmunkálására is. Ahhoz, hogy a munkadarab egy kívánt formát tartósan megőrizzen, sablonra kell hajlítani, majd a teljes kiszáritást követően a fa tetszőleges ideig a beállított alakját megtartja (Holzveredelung GmbH. 1926a).

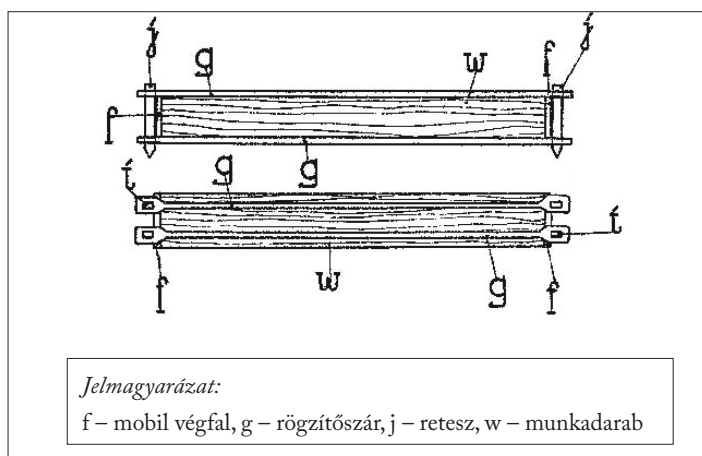
A rostlágyítás a fa tömörítést megelőző előkészítésének egyik kritikus pontja. Megfelelő lágyítás hiányában nem lesz egyenletes a tömörítés, ebből következően a hajlíthatóság sem lesz egyenletes a munkadarab hossza mentén. A szintén 1926-ban bemutatott eljárások a rostlágyítás gyorsítására, tökéletesítésére és a faanyag szerkezeti különbségeiből adódó tömörítési egyenlenségek kiküszöbölésére lettek megalkotva. A tömörítési folyamat előtt a fát jól ismert módon főzni vagy gőzölni kell. Csökkentett légnyomáson gőzölve a fűrészárut, vagy még inkább víz jelenléte mellett gőzölve, esetleg légritka térbe csupán forró vizet engedve a normál lágyítási időnek csak a töredéke szükséges. A cikksorozat első részében részletesebben megtalálhatók az említett módszerek (Báder 2015), melyekkel a fa normál lágyítási idejének jelentős része további kezelés nélkül elhagyható, és a tömörített faanyag egyenletesebben és nagyobb méretben hajlítható lesz. A művelet bármilyen szivattyúhoz csatlakoztatható tartályban vagy helyiségben megvalósítható, és a fát rakatokba rendezve is lehet plasztifikálni (Holzveredelung GmbH. 1926b).



**1. ábra** Az első ipari tömörítő gép metszeti rajzai (forrás: Holzveredelung GmbH. 1926a)

**Figure 1** Longitudinal and cross-sections of the first compressing machine (source: Holzveredelung GmbH. 1926a)

A következő évben világszerte bejegyzett magyar találmány (Magyar–Amerikai Faipari Rt. 1927) a hosszú faanyagok egyenes tömöríthetőségének irányában fejlesztette tovább az eddig megismerteket. A bemutatott módszerrel csökkenteni lehet a fa és a prészüvely közötti súrlódást. A másik újító megoldása, hogy a hosszirányú tömörítő erőt a berendezés nem kizárólag a bütüfelületeken, hanem egy részét szükség esetén az oldalfalak mentén is átadhatja. A szabadalom indoklása szerint Max Hanemann fejlesztése hosszabb fahasábok állandó hajlékonyá tételére nem alkalmas, mert a tömörítési munka közben a présforma oldalfalain, bélésein aránytalanul nagy súrlódás keletkezik és ez a tömörítő erő jelentős részét felemészti. A két végén nyitott sajtolóforma belsejét olyan támasztó- és vezetőlapokkal vagy lécekkel burkolva, melyek a formában a fával együtt el tudnak mozdulni, és a fával érintkező felületeiken a finom recézéssel, kiugrásokkal és mélyedésekkel, hullámvonal vagy kilincsfogazásszerű profilozással vannak ellátva, megoldódik a probléma (3. ábra). A fának a tömörítés irányában való mozgását megengedik, viszont az ellenkező irányba való elmozdulását gátolják. Lehetséges a tömörítés folyamán a préselő erő irányában a támasztó- és vezetőlapokat is elmozgatni, melyek ebben az esetben, mint szerszámok, ad-dicionális tömörítő erőt adnak át a fa végeitől távolabb eső szakaszokon. A bemutatott rendszer hátránya, hogy a kialakításából adódóan a munkadarabok felületét roncsolja.

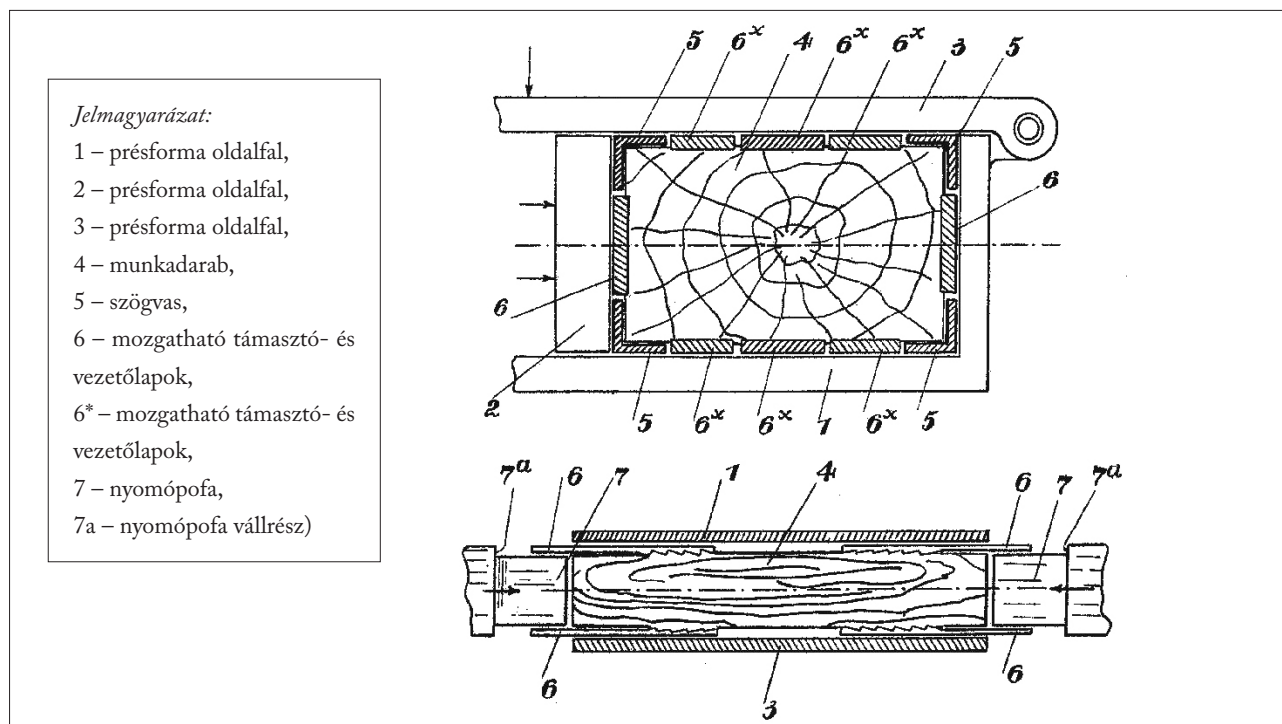


**2. ábra** A rögzítő készülék rajzai (forrás: Holzveredelung GmbH. 1926a)

**Figure 2** Sketches of the clamp (source: Holzveredelung GmbH. 1926a)

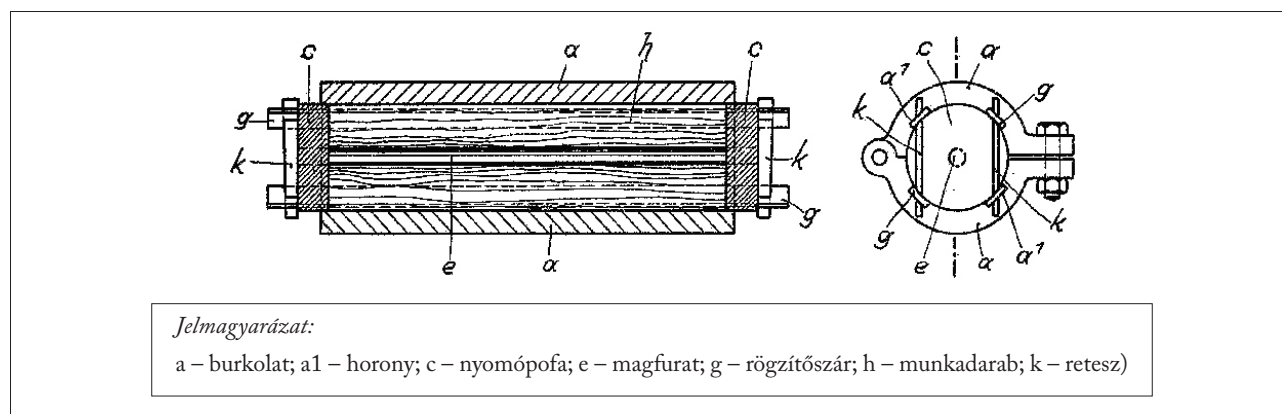
A tömörítésnek egy egészen más megközelítését mutatta be August Thurn (1932), a technológiai részletek kidolgozása nélkül. Korábban a kizárólag hibamentes, szögletes keresztmetszetű tömörített faanyag előállítása nagy anyagvesztéssel jelentett, mert az alapanyagként szolgáló hengeres fából leeső, szintén jó minőségű részek hulladékká váltak. Kör keresztmetszetű faanyag használata esetén a szálszerkezetet zavaró hibák kevésbé befolyásolják a tömörítés minőségét. A hengeres vagy kúpos fa alapanyagot egy kihajlást megakadályozó burokba kell helyezni, melyben akár különböző átmérőjű rönkfák is tömöríthetők megfelelő vastagságú helykitöltő köpenyvel körbevéve (4. ábra). A rostlágítás és a későbbi szárítás felgyorsítható a belet is tartalmazó gesztrész eltávolításával, ami keményebb a többi farésznél, és így a tömörítés során megbontaná a faanyag egységét.

A tömörítésnek egy egészen más megközelítését mutatta be August Thurn (1932), a technológiai részletek kidolgozása nélkül. Korábban a kizárólag hibamentes, szögletes keresztmetszetű tömörített faanyag előállítása nagy anyagvesztéssel jelentett, mert az alapanyagként szolgáló hengeres fából leeső, szintén jó minőségű részek hulladékká váltak. Kör keresztmetszetű faanyag használata esetén a szálszerkezetet zavaró hibák kevésbé befolyásolják a tömörítés minőségét. A hengeres vagy kúpos fa alapanyagot egy kihajlást megakadályozó burokba kell helyezni, melyben akár különböző átmérőjű rönkfák is tömöríthetők megfelelő vastagságú helykitöltő köpenyvel körbevéve (4. ábra). A rostlágítás és a későbbi szárítás felgyorsítható a belet is tartalmazó gesztrész eltávolításával, ami keményebb a többi farésznél, és így a tömörítés során megbontaná a faanyag egységét.



**3. ábra** A tömörítő gép metszetei (forrás: The Anglo European Comp. Ltd. 1928)

**Figure 3** Compressing machine sections (source: The Anglo European Comp. Ltd. 1928)



**4. ábra** Hengeres faanyagot hosszirányban tömörítő gép metszetei (forrás: Thurn 1932)

**Figure 4** Sketches of the clamp (source: Holzveredelung GmbH. 1926a)

Tömörítéskor ezt helyettesíteni kell egy nyomásálló fém magrésszel, hogy ne maradjon üreg, ahová a körülötte lévő fatest roncsolódva benyomódhat, a művelet után pedig el kell azt távolítani. A szárítási folyamat gyorsítása érdekében a bél helyén található lyukon is forró sűrített levegő keringethető. A szabadalomban megadott módon előállított tömörített fa előállítási költsége a leírtak szerint körülbelül a negyedére csökken, ezen felül nagyobb terhelhetőséget lehet elérni a korábban előállított kisebb keresztmetszetű prizmatikus termékekhez képest. Lehetségessé válik tömörített fából hámozott furnér előállítása is.

A leírt újítási lehetőségeknek csak utóbbi tétele tűnik érdemlegesnek, mert a faipar hajlítható fával foglalkozó területein jellemzően fűrészárura van igény, ami nagyon leszűkíti a hengeres választék felhasználási lehetőségeit.

Az August Thurn nevével fémjelzett, de halála után megjelent dokumentumban egy minden tömörített faanyagra vonatkozó leírás található a fa szárítás utáni hajlíthatóságának beállítására vonatkozóan. Az elérhető legnagyobb hajlékonyság nem mindig szükséges, de a kézenfekvő módszer, mellyel kisebb mértékű tömörítés mellett ugyan kevésbé, de a célnak megfelelően hajlítható anyagot kívántak előállítani, nem bizonyult megvalósíthatónak. A szerzők valószínűleg a kis tömörítési arány miatti kevésbé egyenletes préselés és hajlíthatóság okán jutottak erre a következtetésre. Normál tömörítés után a fának összepréselt állapotban tartása közben

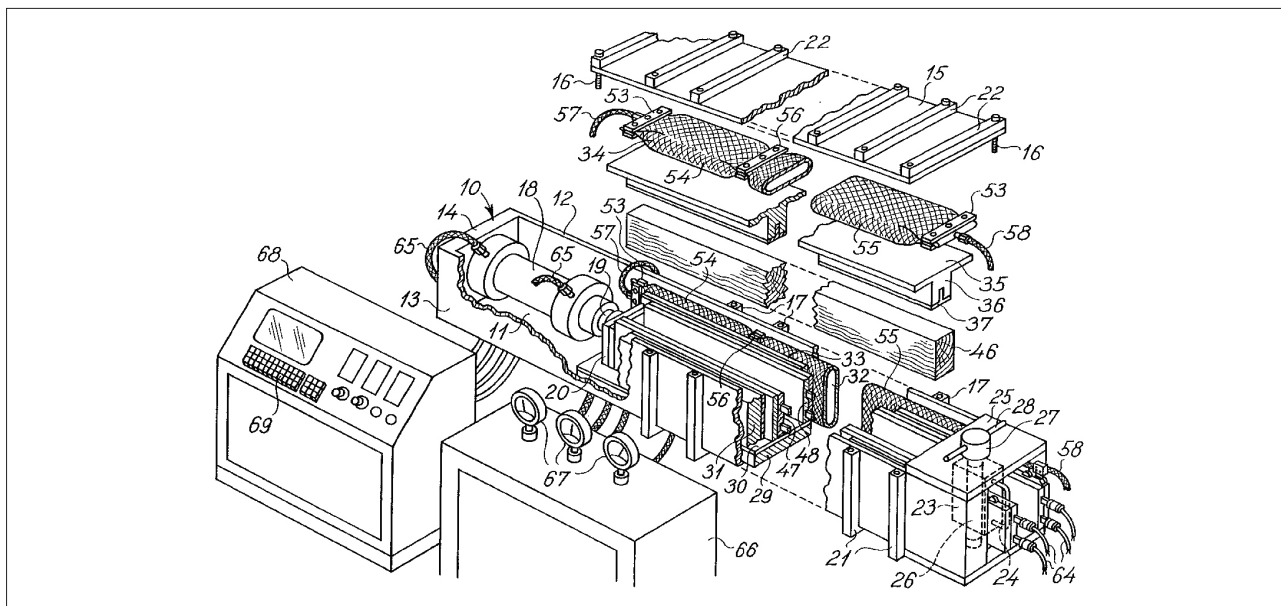
végzett hűtése és szárítása nagyon hajlékony faanyagot eredményez. Ez fordítva is igaz: a tömörítést követően a fát hosszirányú visszarugózása után hűtve-száritva az kevésbé lesz hajlítható. A normál tömörítés utáni rostirányú nyúlás szabályozásával tehát a hossz mentén egyenletes rugalmasság mellett kívánt hajlékonyságú faanyag állítható elő a mindenkor felhasználati céloknak megfelelően (Thurn és Thurn 1943).

Kollmann (1936) fatechnológiával foglalkozó könyvében a rostirányban tömörített fa jellemzése már éppúgy helyet kap, mint a Thonet-technológiával készülő hajlított faanyagé. A tömörített fát Schneider (1939) is említi repülőgépekkel és repülőgép alkatrészekkel foglalkozó könyvében, mint alapanyag-beszerzési és -felhasználási lehetőség. Egy amerikai szabadalomban Curtis (1948) a szövőszék-alkatrészként hiánycikknek számító, és más akkoriban elérhető anyagokkal nem megfelelően helyettesíthető somfa pótlására törekszik, speciálisan tömörített juhar, bükk és nyír alapanyagot felhasználva. A 12% alatti nedvességtartalmú fát 2 órán keresztül kell főzni kőolajszármazékokban a könnyebb préselés, a lignin lágyítása érdekében, majd 2 nap száradási idő szükséges. Hosszabb főzési idő esetén az igényelt nyomóerő jelentősen megnövekszik a faanyag telítődése miatt, tehát a fa nem érheti el a rosttelítettségi állapotot. A fűtött présformába rostirányban belenyomva a legalább 100 °C hőmérsékletűre előmelegített fatömböt annak szélessége 84%-ra tömörödik össze, míg a vastagsága változatlan marad. A technológiából kifolyólag a hossza is lecsökken. A 41 cm hosszúságú lécs tömörítése körülbelül 2 percet vesz igénybe és 23–46 MPa nyomóerő szükséges hozzá. Nincs szó a fa hajlíthatóvá tételéről, a fenti művelet csupán a somfa mechanikai tulajdonságának beállítását célozza, egyéb fafajokból, egy adott technológia kiszolgálására, melyet a lágyítás utáni hosszirányú és keresztirányú tömörítés együttes alkalmazásával ér el.

Az egymás utáni kétszeri rostirányú tömörítés száraz állapotban is megmaradó, plasztikus állapothoz közeli állandó rugalmasságot ad a fának Sparke (1989) szerint, és akár 4 méter fölötti hosszúságban is megvalósítható. A megfelelő lágyítás után a fát rostirányú nyomásnak kell kitenni egy erre a célra fejlesztett présben, amit hűtés és legalább részben szárítás követ, miközben a fa a présbe van szorítva. Ezután újra rostlágyítás következik, majd ismételt tömörítés. Ennek az a hatása a fa szerkezetére, hogy a rostok kötőanyagaként szolgáló lignin-hemicellulóz közléplemez és a sejtfal közötti kötés gyengül, vagy a sejtfal maga roncsolódik, így biztosítva a fa állandó rugalmasságát. Hűvös helyen, száraz állapotban, normál páratartalom mellett is megmarad ez a tulajdonsága. A másik lehetőség az első folyamatban 20%-ban tömörített fa fokozatos tehermentesítése lassú nyomáscsökkentéssel. Ebben az esetben a kezelés második részében a fát változó nyomásnak, vagy szakaszos tömörítő hatásnak kitéve a sejtelcsúszás, vagy deformáció gyorsítására a tömörítés változó oldalnyomással történik. További lehetőségek, hogy a második kezelés folyamán a fa nyomás alatt marad a préselés után, amíg le nem hűl, és a hossza a tömörítésnek megfelelő marad, vagy a második kezelés végén, a tömörítés után a présnyomás hirtelen megszűnik. A szerző a felsorolt tömörítési változatok fizikai, mechanikai eredményére és előnyeire-hátrányaira nem tér ki, csupán mint a kétlépcsős tömörítési folyamat lehetséges kiviteli változatait mutatja be.

Thomassen és tsai. (1990a és 1990b) tömörítő berendezést állítottak össze. A szövegezés jellegrajzokkal kiegészítve került levédésre, mely a megelőző bejegyzett találmányokat és a kor technológiai újdonságait is felhasználja az eredeti, 1989.08.24-i dán szabadalom elsőbbségére hivatkozva. A berendezésben a hidraulikus dugattyú által az ellentétes irányú tömörítő erők nem csak a fatömb végein hatnak, hanem az oldalfelületeken is, mint súrlódási erők. A fát az oldalfal alkatrészekkel körülvett tömörítő formába kell helyezni, melyek együttesen elmozdíthatók a forma hossza mentén. Az oldalfal alkatrészeket hozzá kell nyomni a fatömbhöz, például egy felfújható tömlő segítségével (5. ábra). Ilyen módon súrlódásos kapcsolatba kerülnek, és a fának hosszirányú tömörítő erőket tudnak továbbítani. Együttal a munkadarab kihajlása megelőzhető a keresztirányú erőknek az oldalfelületekre történő rugalmas alkalmazásával oly módon, hogy a fa a hossz tengelyére merőleges irányban bizonyos mértékig kitérjen. A fatömb oldalfelületeire gyakorolt keresztirányú erők változtathatók, és a hossz mentén akár különböző értékűek is lehetnek. Legelőnyösebb az ellenkező irányú összenyomó erőket a fatömb oldalfelületeire és végeire egyaránt kifejteni, így akár egy, a végektől távolabb elhelyezkedő szakasz kizárólagos tömörítése is megoldható, mert a dugattyú a bütök nyomásával egyidejűleg elmozdíthatja az oldalfal alkatrészeket is. Napjainkban e szabadalom elvén működő tömörítő berendezések üzemelnek számos országban.

Az előkészítés és a tömörítés szokásos folyamatát adott keresztmetszetű faanyag felhasználásával mutatják be, és a rostirányban tömörített faanyag előnyeit, felhasználási lehetőségeit taglalják Deibl és tsai. (1999). A gyártási idő és a hajlításhoz szükséges fizikai erőfeszítések csökkentéséhez a fa tulajdonságait úgy kell módosítani, hogy az alkalmas legyen például fémek hajlítására használt gépeken való alakításra. A tömörített fa a sok



**5. ábra** Tömörítő gép elvi összeállítása (forrás: Thomassen és tsai. 1990a)

**Figure 5** Theoretical scheme of a compressing machine (source: Thomassen et al. 1990a)

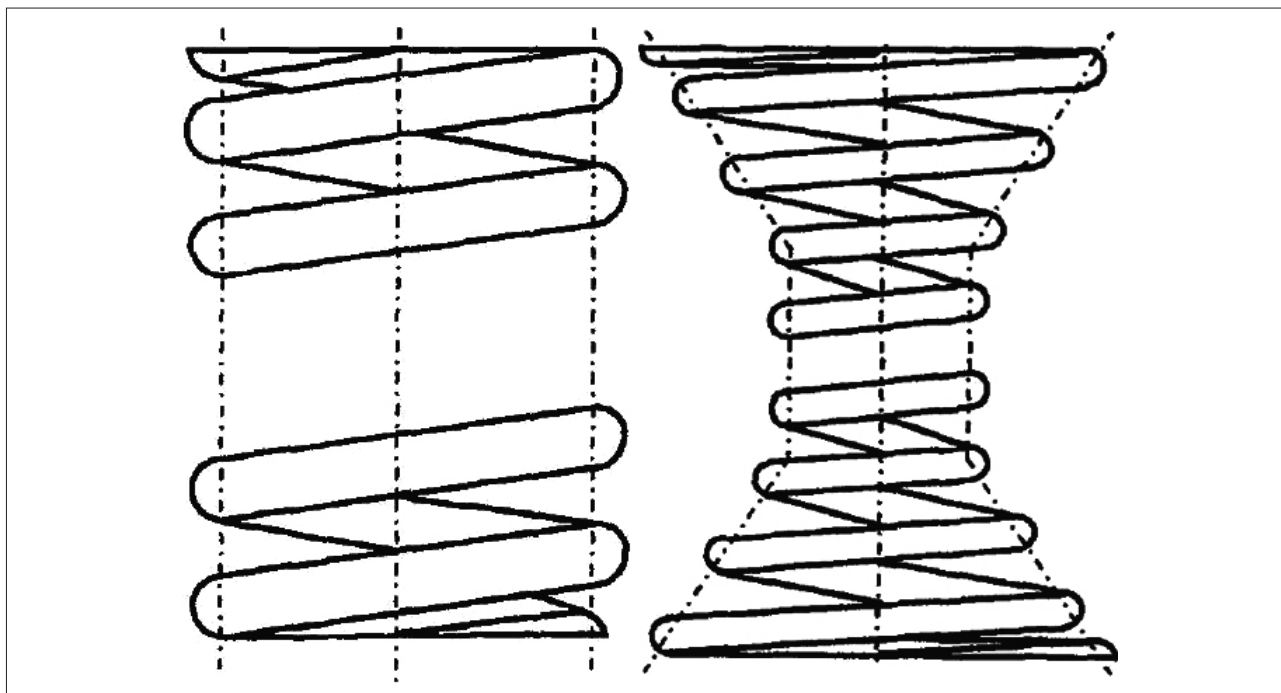
esetben alkalmazott többretegű hosszoldott íves alkatrészek helyett felhasználható, és akár nagyobb méretekben is elérhető. Tömörítés után a hajlítást követően alacsony rugalmasságának köszönhetően megtartja a formáját, és ragasztva vagy mechanikusan rögzítve is felhasználható. Beépítéskor lehetőség van kis korrekciókra, például a hajlítási sugár módosítására a pontos helyszíni beállításhoz.

Volkmer és tsai. (2001) továbbfejlesztették a XX. században alkalmazott módszereket. A cél náluk is olyan eljárás és berendezés megalkotása volt, mellyel egyenletesen lehet hosszirányban tömöríteni prizmatikus, kör, vagy ovális keresztmetszetű faanyagot. Az első munkamenetben a rostlágtyítás után előtömörítést kell végezni a munkadarab teljes keresztmetszetében két, a kihajlást, elmozdulást és keresztirányú méretnövekedést megakadályozó befogás között szabadon maradó szakaszon, mely a teljes hossz 10–20%-át teszi ki. A szabad rész mindig egy szakasznyival arrébb kerül, ennek végül egy teljes hosszában előtömörített munkadarab lesz az eredménye. Célszerű legfeljebb 5% tömörítési arányt alkalmazni, és ehhez fafajtól függően egy maximális nyomóerőt meghatározni, amit elérve az aktuális szakasz tömörítése leáll. Minden szakasz préselése után pihentetni kell a fát, ami ekkor kissé visszarugózik. A második ciklusban a korábbi szabadalmakból megismert módon az előtömörített fát teljes hosszában rögzíteni kell a kihajlás megakadályozására úgy, hogy a fa a berendezésben rostirányban el tudjon mozdulni. Így az előre meghatározott hosszúságúra préselhető lesz, a dokumentum szövegezése szerint a kétlépcsős tömörítési eljárásnak köszönhetően eredeti hosszának akár a felénél is kisebbre. Ha a fát egy pontos végleges hosszra szükséges beállítani, akkor tömörítés után a hosszúságát rögzítve (nyomás alatt tartva) kell szárítani. A fát a kívánt végső méretnél kb. 10%-kal rövidebbre préselve, a nyomás alatti szárításhoz szükséges rögzítő eszközök elhagyhatóak. Az előzőek szerint tömörített és szárított faanyag 5%-os hosszirányú nyújtásával a merevség tovább csökken, így a hajlítás még könnyebbé válik.

Bár ez a fejezet a tömörítés különböző kivitelezési lehetőségeivel foglalkozik, mindenképpen említést érdemel egy magyar szabadalom, melyben tömörített fából készíthető különböző különleges termékek és ezek mechanikai adatai szerepelnek. A korábban ismertetett tömörítési technológia fő paramétereit írja le, miszerint a fa nedvességtartalma 20–25% kell legyen, a tömörítés mértéke 10–30%, miután a fa visszarugózva 3–10% maradandó hosszirányú alakváltozást szenved. Újdonságként tárgyalja a találmány szerinti tömörített fából készült farugót, ami megfelelő rugógeometria mellett képes az energiatárolási- és leadási, ebből következően csillapítási műveletekre (6. ábra). Elsősorban gépészeti, gyógyászati, esetleg bútort- vagy játékszerkezetekbe építve használható fel, valamint irányított mozgáshoz, rugalmas tehermentésre, esetleg rezgéscsillapításra lehet alkalmas (Szabó és tsai. 2005).

Amint a bemutatott találmányi leírásokból kitűnik, a rostirányú tömörítés fejlődése során számos felhasználói igényrel, és sok, a technológiával kapcsolatban felmerült problémával kellett megküzdeni az elmúlt közel





**6. ábra** Néhány, fából készíthető spirálrugó forma (forrás: Szabó és tsai. 2005)

**Figure 6** Some spring shapes can be made from wood (source: Szabó et al. 2005)

száz évben. Ezek kiküszöbölésére több megoldást kidolgoztak, így napjainkban már lehetséges a jó minőségű tömörített faanyag előállítása. A fejlesztések célja a mai napig a korábbiaknál jobb kihozatal elérése az előre meghatározható és egyenletes terméktulajdonságok beállítása mellett, miközben a gyengébb minőségű alapanyag felhasználhatóvá tételére is igény mutatkozik gazdaságossági és környezetvédelmi okokból.

#### **A tömörítés aránya, tömörítési nyomás, és a tömörítés utáni közvetlen kezelés**

A sorozat előző cikkében (Báder 2015) bemutatásra került a fa rostirányú tömörítésének elmélete a szükség-szerűen bekövetkező mikroszkopikus és makroszkopikus elváltozásokkal együtt, valamint az elengedhetetlenül szükséges rostlágnyítás. E fejezet a tömörítés módját, körülményeit, véghezvitelét és a műveletet közvetlenül követő eljárásokat ismerteti.

Ivánovics (2012) leírása alapján a fa plasztifikált állapotban kerül a présbe, ahol a hosszának megfelelően 10–25%-kal összenyomják. A legnagyobb tömörítési arány legfeljebb 25–28% lehet, utána egy vagy több helyen tönkremegy a présben a faanyag. Komáromy (1999), Szabó (2002), Szabó és tsai. (2005), valamint Sőregi (2007) munkáikban tömörítési arálynak 10–30%-ot adnak meg. Sőregi (2007) szerint a napjainkban használatos technológiával a 3 m hosszúságú faanyagot első lépésben 2,4 méterre zsugorítják, majd engedik visszarugózni 2,8 méteres méretig, így javítva a félkész termék szilárdsági értékeit. A lágnyított faanyag tömöríthetőségi aránya legnagyobb részben a fafajtól és a végtermékkel szemben támasztott követelményektől függ (Thomassen és tsai. 1990a), a legáltalánosabban alkalmazott 20% mértékű tömörítés mindegyik fenti megállapításnak megfelel. A plasztifikálás hőmérsékletéhez közeli hőfokot a teljes tömörítési folyamat alatt tartani kell a sorozat előző cikkében tárgyaltak szerint.

A 15–30 perc alatt az eredeti hossz 75–85%-ára tömörített fát két fő módon lehet tovább kezelni. Egyrészt rövid pihentetés és a tömörítő erők megszüntetése után az anyag mindössze 3–5% maradandó rövidülést szenved, és amíg 20% fölött van a nedvességtartalma, megtartja alakíthatóságát. Szárítás és hűtés után rögzül a forma. Ez a nedvesen hajlítható tömörített fa. Komáromy (1999) és Szabó és tsai (2005) megfogalmazásában nedvesen hajlítható fa előállításakor a nyomás csökkenésével a faanyag 'visszarugózik'. A maradandó hosszcsökkenés a tömörítési fok, mely az összenyomás nagyságától függően 3–10%.

Másik esetben a tömörítő erők fenntartásával szárítva és hűtve a teljes rövidülés maradandó lesz, minek következtében a szárazon hajlítható, nagymértékben tömörített fa mindig hajlékony marad (Thomassen és tsai. 1990a, Deibl és tsai. 1999, Compwood M. Ltd. 2001, Kovács és tsai. 2006).

Egyenletes intenzitást feltételezve, az előzőekben megadott időhöz tartozó tömörítési arány körülbelül 0,6–2,0%/min préselési sebességnek felel meg. A Rasmussen Eng. Aps. (2014) ismertetője szerint a 20–25% nedvességtartalmú faanyag 80%-ra történő tömörítése 9–10 percet vesz igénybe. Az ismertetőben bemutatott gép teljes kihasználtságával számolva 2–2,2%/min (60–66 mm/min) sebességgel tömörít a berendezés. Dienes (2013) szerint a préselési idő 15–30 perc, mely során 5–20%-os hosszcsökkenés történik. Ez maximummal 0,67%/min sebességet jelent, ami 3 méteres alapanyaggal számolva 20 mm/min értéket eredményez. Sőregi (2007) 80 mm/min tömörítési gyorsaságot ad meg, amely szintén 3 méteres hosszúságú alapanyaggal 2,67%/min relatív sebességet jelent.

Az olasz Candidus P. Sas. cég (2013) adatai alapján a tömörítés során a bükk sűrűsége 730 kg/m<sup>3</sup> értékről 890 kg/m<sup>3</sup> értékre, átlagosan 21,9%-kal növekedett. A 20%-os tömörítési arányt figyelembe véve a különbség azzal magyarázható, hogy a présformából csak szobahőmérsékletűre hűtés és 12% nedvességtartalomra való szárítás után lett kivéve a faanyag, tehát a maradandó hosszcsökkenése 20%-os volt, és ezzel együtt a fatömb keresztmetszeti méretei a tömörítés hatására kissé növekedtek, majd a szárítás során csökkentek, de összességében kisebb mértékben, mint a tömörítetlen fa szárítása esetében.

Kuzsella (2011a) szerint a különböző fokú tömörítések után visszarugózott hasábok hosszának és keresztmetszetének módosulása megközelítőleg kiegyenlíti egymást, minek következtében a sűrűség változása nem nevezhető szignifikánsnak. A Compwood M. Ltd. (2008) tömörítő gépeket gyártó cég a sűrűség 5%-os átlagos növekedéséről számol be. A szintén 20%-os tömörítés hatására tapasztalható jelentős különbség annak tulajdonítható, hogy a préselést követő rövid pihentetés után szüntették meg a nyomóerőt, így a visszarugózás miatt lényegesen kisebb lett a fa maradandó hosszcsökkenése, ezzel együtt a sűrűsége is. A visszarugózott faanyag kismértékű maradandó rövidülést szenved, míg a tömörített állapotában szárított-hűtött anyag hossza megfelel a présben beállított tömörítési aránynak. A szárítási idő 5%-kal csökken a gőzöletlen faanyagéhoz képest a rostlágýtásnak köszönhetően. A félkész termék a szárítás után megmunkálható (Deibl és tsai. 1999). Thomassen és tsai. (1990a) megállapítása alapján a dugattyú által kifejtett nyomás értéke elérheti a 35 MPa értéket, míg Dienes (2013) munkájában 25 MPa nyomásérték található.

Kidolgoztak többféle megoldást a technológia termelékenyebbé tételére is. Merev rögzítő készüléket lehet alkalmazni, melyet a tömörített fára erősítve és a présből kivéve megtartja a beállított hosszúságot és a szárítás-hűtés ideje alatt a prés dolgozhat tovább, vagy ennek a rögzítő készüléknek egy flexibilis változatában a tömörítés után, szárítás alatt már egy kívánt formára, sablonra alakítható a termék (Holzveredelung GmbH. 1926a). A préselés utáni visszarugózás szabályozásával a fa elérhető legkisebb rugalmasságánál bármilyen nagyobb maradandó érték beállítható a normál faanyag rugalmassági határáig (Thurn és Thurn 1943). Volkmer és tsai. (2001) szerint a körülbelül 5%-ban előtömörített faanyagot az eredeti hosszúsághoz képest 20–30%-kal, de akár 50% mértékben újból tömörítve a hajlíthatóság tovább növekszik. Egyúttal célszerű a fát a kívánt végső méretnél kb. 10%-kal rövidebbre tömöríteni, az utókezelési folyamatot egyszerűsítve és gyorsítva. A kétszer tömörített faanyag 5%-os megnyújtásával a hajlítás még könnyebbé válik.

Sparke (1989) arra az eredményre jutott, hogy a fát két egymást követő hosszirányú tömörítési folyamatnak kitéve az eljárás képlékeny állapothoz közeli rugalmasságot biztosít a rostoknak hűvös, száraz körülmények között is. Speciális hajlítási igényekhez a szakaszos tömörítés szintén megoldható. Minden rostirányban tömörített fa a szokásos faipari műveletekkel megmunkálható az eljárás befejezése után akár azonnal, vagy szükség esetén tárolást követően. E kérdéskört a sorozat következő cikke tárgyalja.

## Összefoglalás

A cikk áttekintést ad a fa rostirányú tömörítésével kapcsolatban megjelent szabadalmakról, a tömörítési folyamat jellegzetességeiről, és a faanyag tömörítését követő kezelési lehetőségekről.

A XX. század eleje óta foglalkoztak a Thonet-technológiát leegyszerűsítő fahajlítási módszer létrehozásával. A rostirányú tömörítés bizonyult járható útnak e téren. 1917-ben született meg német nyelvterületen az első szabadalom ezzel kapcsolatosan, aminek alapelveire épül az azóta létrehozott összes többi fejlesztés. Az 1990-es évektől már elérhető az ipari célokra alkalmas technológia sorozatgyártás szintjén, a modern kor egyes vívmányait is felhasználva. A tömöríteni kívánt fát plasztifikált állapotban kell a berendezésbe helyezni, mely meggátolja a rostirányú nyomás hatására létrejövő kihajlást. Eleinte nehézséget jelentett a présforma oldalfalainak nekinyomódó faanyag súrlódása, mely gyengítette, vagy akár meg is szüntette a tömörítési erőt az

anyag hossza mentén annak közepe felé haladva, ezért a végekhez közel eső részek sokkal nagyobb mértékben összenyomódtak, mint a közbülső szakasz. Mára ezt a problémát elfogadható módon sikerült kiküszöbölni, így 2,5 méteres hosszúság felett is hozzá lehet jutni tömörített faanyaghoz.

A plasztifikált faanyag a napjainkban alkalmazott technológiával – legnagyobb részben a fafajtól és a végtermékkel szemben támasztott követelményektől függően – 10–30%-ban tömöríthető. Általában a 20% mértékű tömörítési arány megfelelő. A nedvesen hajlítható tömörített fa préselés után visszarugózik, és 3–10%-os marandó rövidülést szenved. Amíg 20% fölött van a nedvességtartalma, megtartja alakíthatóságát és szárítás-hűtés után rögzül a forma. A tömörített állapotában szárított és hűtött anyag hossza a présben beállított tömörítési arálynak megfelelő. Ezzel az eljárással a szárazon hajlítható tömörített fa mindig hajlékony marad.

Egy merev rögzítő készüléket erősítve a tömörített fára, az a présből kivéve megtartja a beállított hosszúságot és a szárítás-hűtés ideje alatt a prés tovább dolgozhat, így lényegesen termelékenyebbé válik a folyamat. Kétlépcsős longitudinális irányú összenyomással a korábban említett 10–30%-os tömörítési arány tovább növelhető, nyújtással kombinálva megközelíthetőek a plasztikus állapotú faanyag tulajdonságai szobahőmérsékleten is.

A tömörített fa a normál tömörítetlen alapanyagnál hajlékonyabb, feldolgozható a szokásos faipari műveletekkel és az eredeti alapanyag minden egyéb jellemzőjével rendelkezik. A hosszirányban préselt fatömb sokkal könnyebben hajlítható, alakítható formailag, mint egy hasonló, de tömörítetlen faanyag. A tömörített fa lényegesen kisebb sugárba hajlítható repedésmentesen, valamint a többirányú hajlítást és csavarást is jobban tűri, mint a normál plasztifikált faanyag.

A longitudinális irányú tömörítés mikroszkopikus és makroszkopikus aspektusainak áttekintése után a sorozat következő cikke a tömörítés hatására bekövetkező mechanikai változásokkal, megmunkálási tulajdonságokkal és a termékek felhasználási lehetőségeinek bemutatásával foglalkozik majd.

## Irodalomjegyzék

- Anssary E. A. (2006) An Approach to Support the Design Process Considering Technological Possibilities. Doktori értekezés, University of Duisburg-Essen, Department of Art and Design, Essen, Németország, 207 o.
- Báder M. (2015) Faanyag rostirányú tömörítésével kapcsolatos elméleti és gyakorlati kérdések áttekintése 1. rész. Az alapanyagok és előkészítésük, a tömörítés elmélete. Faipar 63. évf. 1. szám - <http://dx.doi.org/10.14602/WOODSCI.2015.1.8>
- Buchter J., J. Adelhoej, J. Ljoerring, O. Hansen (1993) Introducing Compressed Wood. Danish Technological Institute, Department of Wood and Furniture, Taastrup, Dánia, 2–32. o.
- Candidus P. Sas. (2013) Bendywood - 1st Time User Guide. Candidus Prugger Sas, Bressanone, Olaszország, 3. o.
- Compwood M. Ltd. (2001) Advanced wood bending technology – Compressed hardwood for easy and cold bending. Compwood Machines Ltd., Slagelse, Dánia, 2–3. o.
- Compwood M. Ltd. (2008) English Manual. <http://www.compwood-eng.dana8.dk/data/images/man%20eng.pdf> Megtekintve: 2008.09.14.
- Curtis J. R. (1948) Method of Making Shuttle Blocks. United States Patent Office, 2586308 sz. szabadalmi leírás, 1–4. o.
- Deibl H.-J., J. Illhardt, H.-J. Walter (1999) Verfahren zur Herstellung von Halbzeugen aus biegbarem Holz. Deutsches Patent- und Markenamt, DE19913775 A1 sz. szabadalmi leírás, 1–2. o.
- Dienes Zs. (2013) Terméktervezés tömörített faanyag felhasználásával. Szakdolgozat, Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Sopron, 58 o.
- Hanemann M. (1917a) Holzaufbereitungsverfahren. Deutsches Reich Reichspatentamt, 318197 sz. szabadalmi leírás, 1. o.
- Hanemann M. (1917b) Holzaufbereitungsverfahren - Zusatz zum Patent 318197. Deutsches Reich Reichspatentamt, 321629 sz. szabadalmi leírás, 1. o.
- Holzveredelung GmbH. (1926a) Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von weichbiegsamen Holz. Deutsches Reich Reichspatentamt, 458923 sz. szabadalmi leírás, 1–3. o.
- Holzveredelung GmbH. (1926b) Verfahren zum Biegsammachen von Holz. Deutsches Reich Reichspatentamt, 488765 sz. szabadalmi leírás, 1–2. o.

- Ivánovics G. (2008) Fatömörítő célgép tervezése. *Gép*, 59(10–11): 56–59.
- Ivánovics G. (2012) Nyomott faanyag alakváltozási folyamata. Kézirat, Kecskeméti Főiskola, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Kecskemét, 2–6. o.
- Kollmann F. F. P. (1936) *Technologie des Holzes*. Springer Verlag, Berlin, Németország, 690–691. o.
- Komáromy G. (1999) A fa hajlításának elméleti alapjai és néhány gyakorlati kérdése. Szakdolgozat, Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Sopron, 41 o.
- Kovács Zs., J. Süveg, T. Papp (2006) Mechanikai megmunkálás II. – A fa hajlítása. Kézirat, NymE Faipari Mérnöki Kar, Sopron, 57–68. o.
- Kuzsella L., I. Szabó (2006) A fa tömörítésének hatása a mechanikai tulajdonságokra. In: Konferencia kiadvány, Bitay E. szerk. XI. Fial Műszaki Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2006.03.24–25., 233–236. o.
- Kuzsella L. (2011a) Rostirányú tömörítés hatása a bükk faanyag szerkezetére és mechanikai tulajdonságaira. Doktori értekezés, Miskolci Egyetem Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, Miskolc, 151 o.
- Kuzsella L. (2011b) Rostirányú tömörítés hatása a bükk logaritmikus dekrementumára. In: Konferencia kiadvány, XVI. Fial Műszaki Tudományos Ülésszaka, Kolozsvár, 2011.03.24–25., 173–176. o.
- Kuzsella L., P. Bárczy, I. Szabó (2011) Ősi anyag új feldolgozása, avagy tömörített fából energiatároló rugó. *Bányászati és Kohászati Lapok*, 144(2): 40–41.
- Magyar–Amerikai Faipari Rt. (1927) Eljárás és berendezés hosszabb fahasábok állandó hajlékonya tételére. *Magyar Királyi Szabadalmi Bíróság*, 96736 sz. szabadalmi leírás, 1–2. o.
- Rasmussen Engineering Aps. (2014) Bendwood Engineering. <http://bendwoodengineering.com/> Megtekintve: 2014.02.13.
- Schneider H. (1939) *Flugzeug-Typenbuch, Handbuch der deutschen Luftfahrt- und Zubehör-Industrie*. Hermann Beyer Verlag, Leipzig, Németország, 596. o.
- Sőregi R. (2007) Vitorláshajó kabinbelső kialakítása tömörített fa alkalmazásával. Diplomamunka, Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Sopron, 55 o.
- Sparke B. (1989) Fremgangsmåde til fremstilling af træ med blivende fleksibilitet, især til anvendelse som kantlister, møbeldele og lignende formål, hvor der stilles s tore krav til træets bøjelighed (Eljárás tartósan rugalmas faanyag előállítására részben élzáró anyagnak, bútoralkatrésznek és ahol igény van a fa hajlíthatóságára). *Danmark Patentdirektoratet*, 170364 sz. szabadalmi leírás, 1–6. o.
- Szabó I. (2002) A fa hajlítása. In: Molnárné Posch P. szerk. *Faipari kézikönyv II.*, Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron, 60–61. o.
- Szabó I., L. Eckhardt, Gy. Czél (2005) Energiatároló tömörített farugó. *Magyar Szabadalmi Hivatal*, 226783 sz. szabadalmi leírás, 2–5. és 9. o.
- The Anglo European Company Ltd. (1928) Verfahren und Einrichtung zum ständigen Biagsammachen von langen Holzscheiten. *Deutsches Reich Reichspatentamt*, 516801 sz. szabadalmi leírás, 4. o.
- Thomassen T., J. Ljorring, O. Hansen (1990a) Eljárás és berendezés fatömb összenyomására. *Magyar Szabadalmi Hivatal*, HUT63087A sz. szabadalmi közzétételi példány, 2–19. és 25–26. o.
- Thomassen T., J. Ljorring, O. Hansen (1990b) Method and Apparatus for Compressing a Wood Sample. *United States Patent Office*, 5190088 sz. szabadalmi leírás, 1. o.
- Thurn A. (1932) Verfahren zur Herstellung dauernd biegsamen Holzes. *Deutsches Reich Reichspatentamt*, 636232 sz. szabadalmi leírás, 1–3. o.
- Thurn A., A. Thurn (1943) Verfahren zum Herstellen von weichbiegsamen Holz. *Deutsches Patentamt*, 946479 sz. szabadalmi leírás, 1–2. o.
- Volkmer T., A. Wagenführ, B. Buchelt (2001) Verfahren zur Herstellung von dauernd weichbiegsamen Holz sowie Einrichtung hierzu. *Deutsches Patent- und Markenamt*, 10141391 C1 sz. szabadalmi leírás, 1–4. o.

# Közönséges nád (*Phragmites australis*) pelletálási technológiájának vizsgálata

## I. rész: Az alapanyag tulajdonságai

RICHTER Zoltán<sup>1</sup>, VITYI Andrea<sup>2</sup>, MAGOSS Endre<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Gépészeti és Mechatronikai Intézet

<sup>2</sup> Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-Műszaki és Környezettechnikai Intézet

### Kivonat

A megújuló energiaforrások kiaknázásának ígéretes új területe a közönséges nád biomasszájának hasznosítása, melynek egy lehetséges megvalósítási módja a pelletált nád tüzelése, arra alkalmas berendezésekben. A kutatás, melyet ez a cikk és folytatásai dokumentálnak, az elméleti eredményekre támaszkodva a gyakorlati megvalósítást is vizsgálja. Az általunk vizsgált közönséges nád minták tüzeléstechnikai tulajdonságai (fűtőérték, hamutartalom, hamu olvadáspont) az agripelletekkel összehasonlítható eredményt adott.

A közönséges nád pelletálásánál alkalmazott aprítási technológia alkalmazása esetén, a mezőgazdasági szár anyagokhoz hasonlóan, a fa alapanyaghoz képest a nagyobb mérettartomány felé tolódott el. A felhasználási lehetőségek behatárolása után a kísérleti gyártás során kívánjuk elemezni a közönséges nád légszállítási és üzemi pelletálhatósági lehetőségeit.

**Kulcsszavak:** közönséges nád (*Phragmites australis*), pelletálás, méreteloszlás, fűtőérték

## Investigation of common reed's pelletizing technology

### Part 1: Properties of the raw material

#### Abstract

A promising new field of renewable energy sources is the utilization of common reed's biomass, and a possible way of this is to pelletize and burn it in suitable furnaces or stoves. The research documented by this and subsequent publications analyze the production process, based on the results of the research.

The results from testing the combustion properties (calorific value, ash content, ash melting point) of common reed samples are comparable with the properties of agripellets. By using the conventional grinding technology the common reed – similarly to agricultural stalk materials – moved towards the larger size range as compared to the woody raw material.

After the delimitation of uses we intend to analyze the possibilities of air transportation and utility pellet production of common reed in pilot production.

**Keywords:** common reed (*Phragmites australis*), pelletizing, particle size distribution, calorific value

### Bevezetés

Napjaink egyik legnagyobb kihívása, hogy hogyan tudjuk megújuló energiaforrásainkat hatékonyan, természetkárosítás nélkül kiaknázni. A nyugat-dunántúli régió bővelkedik a közönséges nád élőhelyeiben. A szűkebb Fertő–Hansági kistérségben évente több tízezer tonna nádmennyiség learatása lenne természetvédelmi szempontból kívánatos (Kask Ü., Kask L., Link S. 2013), ennek jelenleg csak töredéke kerül betakarításra és hasznosításra. Az így rendelkezésre álló olcsó alapanyag energetikai hasznosításának egyik lehetősége egy gazdaságos pelletálási technológia kidolgozása (Burján E. 2009).

Mivel a nád energetikai hasznosítása ma még nem elterjedt, fontos megismerni a tüzeléstechnikai tulajdonságait (nedvességtartalom, fűtőérték, térfogatsűrűség, hamutartalom és hamu olvadáspont), valamint vizsgálni a tüzelőberendezésre gyakorolt hatását (Németh G., Konrád K. 2013). Ez utóbbit alapvetően a nedvességtartalom, a hamutartalom, a hamu olvadáspontja és a tüzelőanyag kémiai összetétele határozza meg. Ugyanakkor nem hagyható figyelmen kívül az sem, hogy a tüzelőanyag tulajdonságait a termőhelyi viszonyok és a betakarítás ideje is jelentősen befolyásolja. A tüzelőanyag tulajdonságainak ismerete a felhasználási lehetőségek és korlátok beazonosítása mellett az energiatermelés teljes technológiai rendszerének optimális kialakításához és működtetéséhez, továbbá a környezetvédelmi vonatkozások vizsgálatához is elengedhetetlen.

A betakarított nád tárolása és feldolgozása alapvetően befolyásolja a pelletálhatóságot. Ezért az ide tartozó részfolyamatok (tárolás, feldolgozás előtti mozgatás, előkészítés – előaprítás/szárítás/utóaprítás, pelletálás, utókezelés) mindegyikének szükséges megtalálni az optimális kivitelezési módját. A térfogatsűrűség meghatározó tulajdonság a tüzelőanyag betáplálás, szállítás, tárolás szempontjából. A nád térfogatsűrűsége – és egyúttal energiasűrűsége is – alacsony, kb.  $0,13 \text{ MWh/m}^3$  (Komulainen M., Simi P., Hagelberg E., Ikonen I., Lyytinen S. 2008). Ez egyben a szállítási és tárolási igény növekedését is jelenti, ezért nagyobb távolságokra történő szállítás esetén a térfogatsűrűséget növelni kell bálázással vagy pelletálással.

Ez a cikk egy sorozat bevezető része, amely a közönséges nád pelletálásra történő előkészítésével foglalkozik. A második rész a kísérleti gyártás tapasztalatait foglalja majd össze. A harmadik, záró részben a közönséges nádból gyártott pellet tulajdonságait fogjuk összehasonlítani ugyanazon a gyártósoron gyártott, más alapanyagból készült pelletek tulajdonságaival.

### A közönséges nád termőhelye és előfeldolgozása

A közönséges nád (továbbiakban: nád) tömegesen az álló vagy lassan folyó vizekben (legfeljebb 2 m vízmélységig, azaz a parti részeken), illetve mocsarakban, nedves réteken fordul elő. Ideális körülmények mellett – mint pl. a Fertő-tó, vagy a Kis-Balaton – nagy, összefüggő területeket boríthat. Ezek a helyeken a nád szakszerű hasznosítása már gazdasági és környezetvédelmi tényezővé válik, egyrészt a hasznosítható alapanyagpotenciál, másrészt a megfelelő mértékű hasznosítás elmaradása esetén felgyorsuló eutrofizáció miatt (Kask Ü., Kask L., Link S. 2013).

A nád betakarításához az élőhely fent ismertetett jellemzői miatt többnyire nem használhatók a hagyományos mezőgazdasági gépek. Ma Magyarországon a legelterjedtebb betakarítási mód a Seiga gyártmányú speciális nádaratógépre épülő technológia. Itt a hidraulikus hajtású gumikerekes önjáró nádaratógép rakfelületén álló munkások kötik kérébe a gép által levágott nádat. Ez a módszer leginkább jégen vagy szilárdabb talajon hatékony, iszapban vagy vízben haladva a gép kerekei komoly kárt tehetnek a nád rizómáiban, ami nádpusztuláshoz vezethet. Megfelelő vízmélység esetén alkalmazható úszó aratógép is. Maga az aratás általában a levelek lehullása után, novemberben–decemberben kezdődik, és egészen tavaszig tarthat. Gazdasági szempontból legértékesebb az egyéves nád, a „klasszikus” nádtermékekhez (tetőfedő nád, nádpalló, nádszövet) csak ez felel meg, azonban biomasszaként történő hasznosítás esetén learatható a gazdasági okokból korábban be nem takarított többéves nád is.

A kérébe kötött nádat a parton kúpokba rakva tárolják, amely elősegíti az önszáradást, illetve megakadályozza a későbbi újranedvesedést. Energetikai célú hasznosítás esetén szóba jöhet a bálázás is, mivel így kisebb lehet a fajlagos rakodási és szállítási költség. E módszer azonban nem segíti az önszáradást és a száraz állapot megőrzését, ami viszont veszteséget jelent a felhasználáskor. A két tárolási mód jellemzőinek, előnyeinek és hátrányainak részletes vizsgálata a kutatás későbbi részét fogja képezni.

A szálal anyagok – köztük a nád – aprítása a további felhasználás függvényében egy vagy több lépésben történhet. Amennyiben a cél beszántás vagy almózás, elegendő egy lépésben aprítani rögtön a betakarításkor az aratógéphez csatlakozó szecs-kázó adapterrel vagy később a bálában – nádnál kérében – tárolt anyag esetén egy bálabontó aprítóval (ez lehet késes vagy rosta nélküli kalapácsos). Ennek eredménye egy zömében 5–15 cm közötti hosszúságú szálakat tartalmazó halmaz. Brikett vagy pellet gyártásához ennél lényegesen kisebb átlagos méretű és homogénebb frakció-eloszlású anyag szükséges (Sitkei Gy. 1981), bár bizonyos típusú brikettprések képesek közvetlenül feldolgozni a hosszabb szálakat is. Ennek eléréséhez az előaprított anyagot második lépésként rostával ellátott kalapácsos darálóban tovább kell aprítani. Az első gyakorlati tapasztalatok szerint a takarmány- és fapelletüzemekben általános kalapácsos daralók megfelelő kalapácskészlettel (élek száma, anyag-

vastagság, keménység – ezek hatással vannak az aprítás minőségére is, de döntően inkább a kalapácsok élettartamára) és rostamérettel alkalmasak a feladatra.

Az utóaprításhoz ideális rostaméret meghatározása annak a függvénye, hogy a préselés szempontjából milyen frakcióeloszlás az optimális.

Léteznek olyan megoldások, melyek a nád és más szál as anyagok finomaprítását egy lépésben próbálják megoldani (kombinált késes-kalapácsos aprító, illetve kalapácsos bálabontó rostával és elszívással kiegészítve), de még tisztázásra szorul, hogy a pelletálás által támasztott további követelményeknek is meg tudnak-e felelni ezek a rendszerek. Amennyiben igen, az több előnnyel járna. Az egyik, hogy csökken a beépítendő gépek száma és összes teljesítményigénye. A másik előny akkor jelentkezik, ha a nád nedvessége magasabb, mint ami a pelletáláshoz ideális és emiatt szárításra van szükség. Erre a kétlépcsős aprítás esetén az előaprítás után kerül sor, mivel a nedves anyag hatékony finomaprítása szinte lehetetlen. Azonban az előaprított anyag hosszabb szálú frakciója dugulásokat okozhat a levegős továbbítású szárítóknak (jelenleg a pelletüzemek nagyobb részében ilyen használnak). Megoldást jelenthet más rendszerű szárító alkalmazása vagy az említett egylépcsős aprítás, mivel itt a szárítóba már a finomra darált anyag kerül.

### Anyagok és módszerek

Első lépésként a nád tüzeléstechnikai jellemzőinek – fűtőérték, hamutartalom, hamu-olvadáspont – meghatározása történt meg, amiből egyértelműen kiderült, hogy van létjogosultsága a további vizsgálatoknak. Második lépésként a száraz nád aprításának analízise, illetve az apríték részecskéinek méreteloszlás-meghatározása történt meg. Ez kétféle szempontból is jelentőséggel bír: egyrészt az aprítás utáni méreteloszlás befolyásolja a tömöríthetőséget (Kocsis Z., Varga M. 2013) – kész pellet tömörsége, állékonytsága, a tömörítés energiaszükséglete, alkalmazandó présmatrica és görgők kialakítása. Másrészt az egyes gépek közötti levegővel történő anyagszállítás paramétereinek meghatározásához is szükségesek ezek az adatok (Reisz L., Magoss, E. 2013).

A laborvizsgálatokhoz és a kísérleti gyártáshoz az alapanyagot a Fertő-tavi Nádgazdaság Zrt. biztosította az alábbi formában:

- 3 tonna száraz, 8–10% nedvességtartalmú, kalapácsos darálón finomaprított nád az előzetes pelletálási próbákhoz.
- 15 tonna aprítás nélküli bálázott nád (0,6 x 1,2 x 2,5 m-es bálák) betakarítás utáni nedvességtartalommal (10–25% között változó).

A kapott alapanyag a GSD Agrárprodukt Kft. zsirai pelletüzemében került feldolgozásra (a 3 tonna finomaprított nád teljes egészében, a 15 tonna bálázottból csak 7 tonna), a következő gépekkel:

- RotoGrind bálabontó-aprító
- MGF-OB dobszáritó, sajátanyag-tüzelésre átalakítva
- Friedli Sigma kalapácsos daráló 120 db lépcsős élű kalapáccsal, 90 kW elektromos teljesítménnyel, többféle rostamérettel
- 2 db Salmatec Maxima ECO 450 típusú 1 tonna/óra kapacitású pelletprés, keményfákhoz gyártott henger-matricával, 6 mm-es furattal.

Kiegészítő berendezések:

- gépek közötti transzportelemek (szállítószalag, elevátor, transzportventilátor)
- puffertartályok
- nedvességmérő/vízadagoló rendszer
- kész pellet hűtését, rostálását, csomagolását végző berendezések

### A nád fűtőértékének, hamutartalmának és hamu-olvadáspontjának meghatározása

A kutatás létjogosultságát eldöntő alapvető vizsgálatok részben Sopronban, a Nyugat-magyarországi Egyetemen (fűtőérték), részben Gödöllőn, a VM Mezőgazdasági Gépesítési Intézetében (hamutartalom- és olvadáspont) kerültek elvégzésre. A vizsgálatokhoz a Fertő-tavi Nádgazdaság Zrt. által biztosított 8–10% nedvességtartalmú finomaprított nádból végeztünk próbapelletálást 1 tonna mennyiségben, a gyártás folyamán több mintavétel történt egyenlő időközönként (összesen ötször 1 kg minta), majd az így kapott minták keveréke szolgált a vizsgálatok alapjául, melyek elvégzése az alábbi módokon és eszközökkel történt:

- fűtőérték: IKA C 2000 típusú bombakaloriméterben az MSZ 18000/5-71 szabvány alapján
- hamutartalom: MSZ EN 14775:2010 szabvány szerinti méréssel
- hamu-olvadáspont: CEN/TS 15370-1:2006 szabvány szerinti méréssel

### Az apríték részecskeeloszlásának vizsgálata

A nád méreteloszlásának vizsgálatához referenciaként légszáraz tölgyfa aprítékot alkalmaztunk. A fa porforgács tömörfa-parkettát gyártó üzem gépeinek (rönkhasító szalagfűrészgép, többfejes gyalugépek) melléktermékeként keletkezett, mely gépek részletes adatainak nyilvánosságra hozatalához az üzem nem járult hozzá.

A Friedli Sigma típusú 90 kW-os kalapácsos darálón, 5 mm-es rostamérettel finomaprított nád, és utánaprított faforgács/fűrészpor részecskeeloszlásának vizsgálata szitaanalízissel történt. A minták térfogattömegének meghatározásához és a szitaanalízishez az alábbi hitelesített mérőeszközöket alkalmaztuk:

Térfogattömeg meghatározása:

- 5,02 dm<sup>3</sup>-es mérőhenger
- KERN PCB 3500-2 típusú digitális precíziós mérleg

Frakcionálás:

- CISA BA 200 N típusú elektromágneses szitarázó készülék (beállítások: rázási idő 10 perc, amplitúdó 1,5 mm)
- 0,63 – 0,2 – 0,5 – 0,8 – 1,0 – 2,5 mm-es szitasorozat

Frakciók mérése:

- KERN PCB 3500-2 típusú digitális precíziós mérleg

A vizsgálatokat 6-6 mintán hajtottuk végre, a vizsgált nádapríték össztömege 643 g, a tölgy fűrészpor tömege 958 g volt. Az egyes frakciókat a későbbi vizsgálatok céljára félretettük feliratozott, zárható műanyagtasakokban.

### Eredmények és értékelésük

*A nád tüzeléstechnikai tulajdonságai*

A ledarált alapanyagminta vizsgálata alapján a nád, illetve az abból készült pellet égési tulajdonságai semmivel sem rosszabbak, sőt több szempontból jobbak is, mint más agripelletekéi. A vizsgált minták fűtőértékei közül a legalacsonyabb érték 18,61 MJ/kg, a legmagasabb 18,73 MJ/kg volt, ez a fapellellet egyenértékű. A hamutartalom átlaga 3,80% (ez az agripelletek között közepes értéknek számít), a hamu olvadáspontja 1000 °C feletti (ez az agripelletek között nagyon jó érték, de szükséges a pontosabb meghatározása is, ami később fog megtörténni). Tehát a korábbi szakirodalmi adatok (Kask Ü., Kask L., Link S. 2013) és (Kask Ü. 2011), valamint saját méréseink szerint is a közönséges nádból készült pellet megfelelő lehet az agripelletek tüzelésére alkalmas kazánokban való égetésre, amit reményeink szerint a kísérleti gyártás után elvégzendő gyakorlati égetési próbák igazolni is fognak.

*A nádapríték méreteloszlása*

A korábban említett Friedli kalapácsos darálóval utánaprított (azaz pelletálásra előkészített) nád és az azonos gépen utánaprított fűrészpor méreteloszlását az 1. és 2. táblázat, illetve az 1. ábra mutatja be.

#### 1. táblázat Fertői nádapríték méreteloszlása

**Table 1** Size distribution of milled reed grown at the lake Fertő

Frakció	1. mérés	2. mérés	3. mérés	4. mérés	5. mérés	6. mérés	Össztömeg	Tömegarány (%)
2,5 mm felett	0,59	0,66	0,82	0,70	0,93	0,98	4,68	0,73
1,0–2,5 mm	67,00	60,67	65,33	71,23	77,40	86,25	427,88	66,51
0,8–1,0 mm	3,69	3,44	3,62	3,59	4,18	3,51	22,03	3,42
0,5–0,8 mm	13,03	11,60	12,20	13,41	14,13	16,76	81,13	12,61
0,2–0,5 mm	12,57	10,94	11,41	12,70	13,09	13,83	74,54	11,59
0,063–0,2 mm	4,19	3,46	3,90	4,30	4,44	5,53	25,82	4,01
0,063 mm alatt	1,14	1,03	1,04	1,22	1,27	1,54	7,24	1,13



A két anyag aprítás utáni méreteloszlásának különbözősége egyértelműen látszik az összehasonlításból. A nád frakcióarányainak erőteljes eltolódása a nagyobb értékek felé – 1 mm és 2,5 mm közötti méret túlsúlya, 0,8 mm alatti részek alacsony aránya – feltehetően a fától eltérő anyagi összetételnek, a hosszabb cellulózrostoknak köszönhető. Emiatt kisebb az aprított nád térfogattömege is: 128 g/dm<sup>3</sup>, szemben a keményfa fűrészporminta 191 g/dm<sup>3</sup>-ével.

A gyakorlati próbák azt mutatták, hogy ez az eltérés a levegővel történő szállíthatóságot érdemben nem befolyásolja, a pelletálás optimalizálásában viszont jelentős szerepe lehet. Vélhetően a préselés energiaigényét megemeli a hosszabb szálak nagyobb aránya (illetve az adagolási beállításokat befolyásolni fogja a kisebb térfogattömeg), viszont a szálabb szerkezet pozitív hatással lehet a tömörségre és az állékonyságra. Ezek a feltételezések csak a kutatás következő fázisában elvégzendő kísérleti gyártási próbák után válhatnak majd megállapításokká.

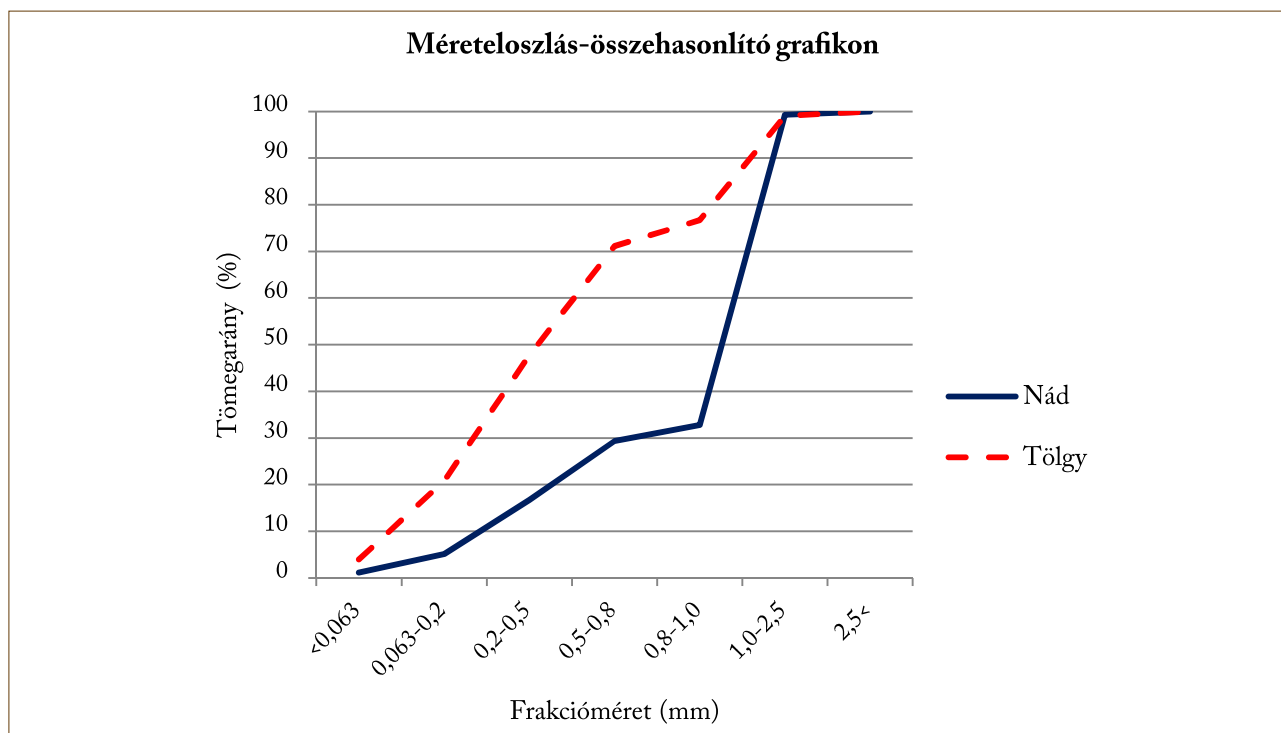
### Következtetések

A közönséges nád biomasszájának megújuló energiaforrásként való hasznosítása pelletált formában a bevezető részben említett okok miatt több szempontból is előnyös lehetne. Az ilyen irányú hasznosítás létjogosultságát a kutatás első szakaszának eredményei egyértelműen alátámasztják, ugyanakkor rámutatnak néhány megoldatlan problémára is.

### 2. táblázat Keményfa (tölgy) fűrészpor

Table 2 Hardwood (oak) sawdust

Frakció	1. mérés	2. mérés	3. mérés	4. mérés	5. mérés	6. mérés	Össztömeg	Tömegarány (%)
2,5 mm felett	1,05	1,38	1,24	1,53	1,63	1,87	8,70	1,44
1,0–2,5 mm	31,21	35,47	34,83	36,40	36,89	38,24	213,04	35,26
0,8–1,0 mm	10,60	10,69	7,47	7,85	7,54	8,87	53,02	8,77
0,5–0,8 mm	34,37	35,89	36,28	39,09	39,70	36,69	222,02	36,74
0,2–0,5 mm	43,56	42,37	40,30	44,84	42,69	42,21	255,97	42,36
0,063–0,2 mm	25,04	24,86	26,67	30,67	27,62	25,93	160,79	26,61
0,063 mm alatt	7,55	8,43	4,53	4,82	4,83	7,36	37,52	6,21



1. ábra Fertői nád és keményfa (tölgy) fűrészpor eredményeinek összehasonlítása

Figure 1 Size distributions of common reed's and hardwood' (oak) chips

- A vizsgált nád minták fűtőértéke a fa mintákkal egyenértékű.
- A vizsgált nád minták hamutartalma közepes értéket képvisel az agripelletek között.
- A minták elégetésekor kapott hamu olvadáspontja magasabb az agripelletek többségénél, ami különösen előnyös a felhasználás szempontjából.
- Pelletté préselve az energiasűrűség jelentősen megnő, ami gazdaságosabbá teszi a tárolást, szállítást, illetve megfelelő tüzelőberendezésben hatékonyan és kényelmesen égethető el.
- Azonos aprítási eljárás esetén a nád részecske összetétele a nagyobb méretek felé tolódik el, szemben a tölgy egyenletesebb méreteloszlásával – ez problémákat okoz az anyagszállító rendszerekben illetve a szárítás során és befolyásolhatja a préselést is.
- Az alapanyag betakarításának, előkészítésének, tárolásának hatékony technológiája, logisztikája még nem alakult ki, ez elengedhetetlen a gazdaságos hasznosításhoz.

Kutatásunk első szakaszában megállapítottuk, hogy a nád alapvető tüzelési tulajdonságai megfelelnek az agripelletekkel szemben támasztott elvárásoknak, sőt akár meg is haladhatják azokat (pl. fűtőérték és hamu-olvadáspont tekintetében). A feldolgozás aprítási és préselési szakaszai komoly problémákat nem rejtenek, a későbbiekben jól optimalizálhatók lesznek, azonban a betakarítás, előkészítés és tárolás munkaszakaszai jelentős mértékű kutató-fejlesztő munkát igényelnek még.

### Köszönetnyilvánítás

Ez a cikk a Környezettudatos energia hatékony épület című TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0068 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

This article was supported by the Environment conscious energy efficient building TAMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0068 project sponsored by the EU and European Social Foundation.

### Irodalomjegyzék:

- Sitkei Gy. (1981) A mezőgazdasági anyagok mechanikája. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Burján E. (2009) „A pelletgyártás helyzete és fejlődési irányai” InnoLignum Konferencia Kiadvány, Sopron, 2009. 09. 04.
- Reisz L., Magoss E. (2013) Particle size distribution for different wood species and woodworking operations *Derevoobrabatyvayushchaya Promyshlennost*: (1):38-45. (2013) (ISSN: 0011-9008)
- Kask Ü., Kask L., Link S. (2013) Combustion characteristics of reed and its sustainability as a boiler fuel. Department of Thermal Engineering, Tallinn University of Technology (ISSN: 1819-754X)
- Kask Ü. (2011) Reed as bio-energy: opportunities to use it boiler-houses and as biogas source. Seminar „Reed for Bio-energy and Construction”, College of Landbased Studies, Piikkiö, Finland
- Komulainen M., Simi P., Hagelberg E., Ikonen I., Lyytinen S. (2008) Reed energy – possibilities of using the Common Reed for energy generation in Southern Finland. Reports from Turku University of Applied Sciences 67., 19. p.
- Németh G., Konrád K. (2013) Fa- és agripelletek tüzeléstechnikai tulajdonságaival összefüggő kutatások alapjai. *Faipar* 61(1):28-34 (HU ISSN: 0014-6897)
- Kocsis Z., Varga M. (2013) Application of a Non-linear Rheological Method for the Compaction of Wood-based Materials. 21st International Wood Machining Seminar (IWMS-21) Tsukuba, Japan, 2013.08.04-2013.08.07. Wood Research Society, pp. 315-322. ISBN: 978-4-9903467-9-9

# Fokozott fahozamú új akácfaajták, ill. fajtajelöltek faanyagszínének törzsön belüli változatossága

CSORDÓS Diána<sup>1</sup>, NÉMETH Róbert<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Faanyagtudományi Intézet

## Kivonat

Kutatásunk célja a fokozott fahozamú, új akác fajtajelöltek színvizsgálata volt. Munkánk során különböző kelet-magyarországi termőhelyről származó új akác fajtajelöltek faanyagát vizsgáltunk meg. A színkoordináták meghatározása a nemzetközileg elfogadott CIELab rendszerben történt. Kimutattuk, hogy a fajtajelöltek faanyagát nagy színbeli változékonyság jellemzi. A vörös színezet értéke a kontroll mintákhoz képest többnyire növekedett. Az irodalmi értékekhez képest eredményeink valamennyi színkoordináta esetében nagyobb szórást mutattak.

**Kulcsszavak:** színmérés, CIELab, akác, *Robinia pseudoacacia* L., akác fajtajelöltek

## Between- and within-tree variation of the colour properties of new robinia varieties with enhanced growing rate

### Abstract

The aim of the research project was to analyse the colour properties of new robinia varieties with enhanced growing rate. The investigations involved new robinia varieties grown on different East-Hungarian sites. The colour coordinates were determined in the international CIELab system. The woods of different varieties grown on different sites showed significant differences in terms of colour. An elevated red hue value could be measured compared to the controls, generally. The standard deviation of the measured colour coordinates showed higher values compared to the controls.

**Keywords:** colour measurement, CIELab, *Robinia pseudoacacia* L., Robinia variety candidates

## Bevezetés

Az akác (*Robinia pseudoacacia* L.) hazánk egyik legértékesebb fája. Gyors növekedésű, tartós, jól megmunkálható, alakítható, sokoldalúan felhasználható. Fáját színbeli gazdagság jellemzi. Szijácsa világossárga, gesztje világos sárgásbarnától a zöldesszürkéig változik (Jereb 1979; Molnár és Bariska 2005). Míg kezdetben elsősorban tűzifaként, valamint nem látható szerkezeti elemként (például bútortváz) került felhasználásra, addig napjainkban igen értékes belsőépítészeti alapanyaggá vált. Ez a gyökeres nézőpontváltás köszönhető többek között a különféle nemesítési eljárásoknak, amelyek lehetővé teszik a tarka faanyag színének megváltoztatását, illetve homogenizálását (Tolvaj és Varga 2002; Tolvaj és munkatársai 2006; Varga és munkatársai 2009; Horváth-Szováti és Varga 2000; Takáts 2004). Nagy hatása van továbbá a nemzetközi divatirányzatokra, amelyek rendre megmutatkoznak a hazai bútortiparban és építészetben egyaránt.

Modern világunk növekvő igényei az energiaforrásokat sem kímélik. Ezek korlátozott mennyisége és a folyamatosan növekvő energiaárak miatt egyre inkább a figyelem középpontjába kerülnek az alternatív, megújuló energiaforrások, valamint a rövidebb vágásfordulóval bíró energiaerdők létesítése (Bai és Sipos 2007).

A SOSKLIMA kutatás-fejlesztési projekt fő célkitűzése, hogy megfelelő háttérrel biztosítson a hazai, valamint a nemzetközi faenergetikai programokhoz. A cél új növényfajták létrehozása szelekció útján. Így lehetővé válik az erősen aszályos vagy éppen ellenkezőleg, a gyakran vízzel borított, ártéri területek hasznosítása dendromasszatermelő ültetvények segítségével.

Az új akác fajtajelöltek Dr. Kapusi Imre erdőmérnök nemesítési munkájának eredményei, amelynek alapja az egyszerű szelekció. A fajtacsoport nemesítése közel 20 éves múltra tekint vissza. 1983 és 1988 között alföldi

csemetekertekben nevelt csemeték közül válogatta ki a kiemelkedő növekedésű egyedeket, amelyek kísérleti erdőültetvényekbe kerültek kiültetésre. A gyors növekedésű akác a hagyományos akáchoz képest akár 200%-os hozamtöbblet elérésére is képes (S. Nagy és Halász 2011). A kimagasló teljesítményt a Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal Erdészeti Szaporítóanyag Felügyeletének utódvizsgálatai is alátámasztják. A hazai fajtavédelemi eljárás folyamatban van. A gyors növekedésű akác méltán válhat a jövő energetikai célú erdők alanyává (Németh és Szánthó 2010).

Korábban már sor került a fokozott fahozamú nemesített akácfaanyag fizikai, mechanikai és anatómiai jellemzőinek vizsgálatára a termőhely függvényében. Előkísérletekkel és helyszíni bejárással kijelölésre kerültek a vizsgálatba bevont termőhelyek, valamint fajtajelöltek. Az új jelöltek a kontroll fajtákhöz képest nagyobb évi növedéket produkáltak. A fizikai-mechanikai vizsgálatok eredményeit vizsgálva megállapítható, hogy az új fajtajelöltek eredményei elérik, és sok esetben meg is haladják a kontroll mintákét, amely az ipari hasznosíthatóság szempontjából rendkívül kedvező lehet (Németh, 2008).

Információink jelentős részét látás útján szerezzük, így a vizuális érzékelésnek és annak ránk gyakorolt hatásainak rendkívül nagy jelentősége van. Napjainkban a faanyag műszaki tulajdonságai és a tartósság mellett az esztétikumnak, megjelenésnek is kiemelt szerep jut. Sok esetben az anyag színe a mérvadó a végfelhasználást illetően. Az akác faanyag színére egyébként is jellemző gazdag változatosság a gyors növekedésű jelöltek esetében még inkább igaz. Ezt jól szemlélteti az 1. és a 2. ábra is.

A jelöltek gyors növekedésükből adódóan eltérő anatómiai felépítéssel (évyűrűszélesség, korai-kései pásztaarány) rendelkeznek. A korábbi mechanikai, fizikai vizsgálatok alapján a jelöltek fontos ipari nyersanyaggá válhatnak, de a színbeli tarkaság így további fontos kérdéseket (például számítógépes optimalizálás, felületkezelés) vet fel. Munkánk fő célja az új fajtajelöltek színbeli változékonyságának feltérképezése. A nemesítők által elért fokozott növekedési ütem várhatóan hatással lesz a faanyag színére, ami befolyásolja az ipari – elsősorban belsőépítészeti – felhasználást.

### Vizsgálati anyagok és módszerek

Hat kelet-magyarországi termőhelyről származó, összesen 30 különböző törzsfá színvizsgálatát végeztük el, amelyek közül négy minta (IV/0, IV/Ü, IV/NY, V/0) közönséges akác, kontroll volt. A vizsgálatba bevont fák



**1. ábra** IV/0 jelű közönséges akác (kor: 12 év)  
**Figure 1** IV/0 Control Robinia disc (age: 12 years)



**2. ábra** IV/0 jelű közönséges akác (kor: 12 év)  
**Figure 2** IV/0 Control Robinia disc (age: 12 years)

főbb jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza. Az egyes termőhelyekről származó jelöltek száma eltérő, 2–9 között változik, így a termőhelyet természetes változónak tekintjük, és az egyes törzsfákat külön vizsgáljuk (1. táblázat).

A törzsekből 1,3 m magasságban egy-egy korongot vettünk ki. Minden korongból egy, béli áthaladó próbatest került kialakításra. A légszáraz nedvességtartalmú mintákon KONICA-MINOLTA CM – 2600d típusú spektrofotométer segítségével béli a szijács irányába haladva centiméterenként végeztünk színmérést. A próbatestek mérési eredményeit, színkoordinátáit ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) a színmérő készülékhez csatlakoztatott számítógép segítségével rögzítettük. Adataink D65 fényforrásra,  $10^\circ$ -os mérőszögre, valamint 3 mm átmérőjű megvilágított felületre vonatkoznak.

### Vizsgálati eredmények

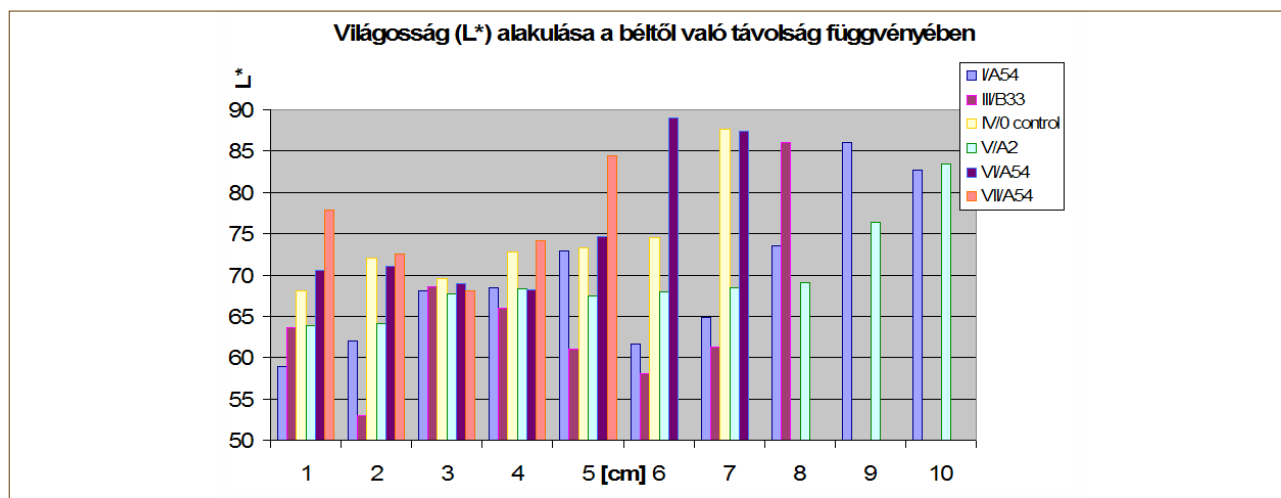
A világosság ( $L^*$ ) értékeit vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a béli a szijács irányába haladva eltérő intenzitással ugyan, de valamennyi minta esetében általános növekedés volt tapasztalható. A béli a távolságtól, ill. a minták természetes foltosságából adódó világosságváltozást a 3. ábra szemlélteti, ahol néhány tetszőlegesen választott minta került ábrázolásra. Megfigyelhetjük, hogy a béli közeli első (1 cm) világossági értékhez képest a szijács előtti utolsó, a gesztbe eső  $L^*$  érték nagyobb. A béli a szijács felé általában növekszik a geszt világossága. A 3. ábrán megfigyelhető világossági értékcsökkenéseket a minták természetes foltossága okozza (pl. III/B33, VII/A54, I/A54).

A színvizsgálathoz tartozó ábrák elkészítésekor (4–5. ábra.) a törzsfákhoz tartozó átlagértékek kerültek ábrázolásra mind geszt, mind szijács farész esetén. A geszt részre vonatkozó színmérési eredményeket a 4. ábrán szemléltetjük. Láthatjuk, hogy a kontroll minták gesztjéhez átlagosan 65, míg a szijács részéhez 85 körüli vilá-

#### 1. táblázat Vizsgálati termőhelyek és fajtajelöltek

Table 1 Test production sites and types of candidates

	Termőhely	Törzsfák	Ültetési hálózat	Ültetés ideje
I.	Napkor 7/E	A2, A7, A32, A33, A54, B2, B7, B32, B54	5x5	1997
III.	Hajdúböszörmény 0370/5 hrsz.	B2, B7, B32, B33, B54	5x5	1999
IV.	Penészlek 12/I	A32, A33, A54, 0 jelű közönséges akác (kontroll ófehértói) Ü – üllői (kontroll) Ny – nyírségi (kontroll)	2,5x1	1986
V.	Hajdúhadház 26/D	A2, A7, 0 jelű közönséges akác (kontroll ófehértói)	2,5x1	1985
VI.	Hajdúhadház 26/F	A2, A7, A32, A33, A54	2,5x1	1995
VII.	Hajdúhadház 20/J	A2, A54	2,5x2	1999



3. ábra Világosság ( $L^*$ ) alakulása a béli a távolság függvényében

Figure 3 Lightness ( $L^*$ ) values against the distance from the pith

gossági ( $L^*$ ) értékek tartoznak. Geszt esetében a B/33 jelű mintánál tapasztalhatjuk a legalacsonyabb értéket, amely 61,65. Szijácsnál a B/54 mintánál élhetünk hasonló megállapítással, amely 73 körül alakul. Ez utóbbi esetében a kontroll mintákhoz viszonyítva, mintegy 15%-os csökkenést jelent. A legmagasabb értéket a B/2 mintánál tapasztalhatjuk, amely közel 12%-kal haladja meg a közönséges akáchoz tartozó értéket.

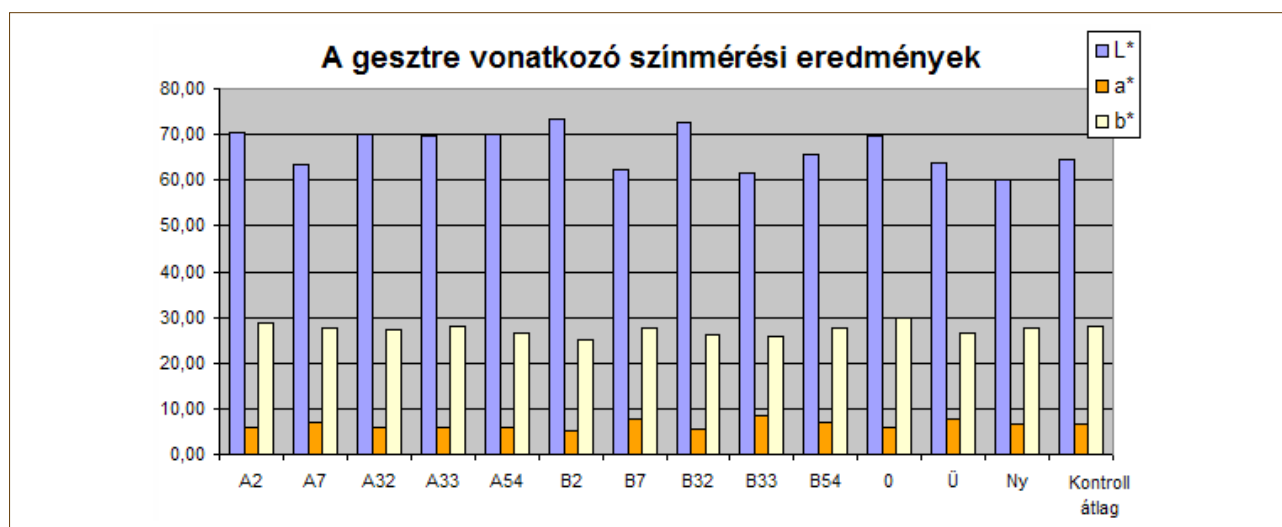
A vörös színezet ( $a^*$ ) esetében a kontroll minták gesztjéhez tartozó átlagérték 6,7 körül, a szijácshoz 0,3 körül alakul. A vörös színösszetevők túlsúlya figyelhető meg a B/33 mintánál, amely geszt esetében 8,35, míg szijács esetében 0,63 körüli értékeket eredményez. B/2 minta geszt részénél találkozunk a legalacsonyabb (5,27) vörös színezeti értékkel, amely közel 20%-os különbséget jelent a közönséges mintákhoz képest.

Láthatjuk a világosság és a vörös színezet közötti szoros összefüggést, hiszen B/2 minta esetében, míg előbbinél kimagasló, a kontroll mintákhoz képest közel 12%-os emelkedést, addig utóbbinál a legalacsonyabb értéket mértük.

Az A/32 jelű minta esetében szinte valamennyi törzsfaj szijácsára negatív mérési eredmény született, amely a -0,73 átlagértéket eredményezte. Hasonló megállapítást tehetünk az A/33 jelű minta esetében is.

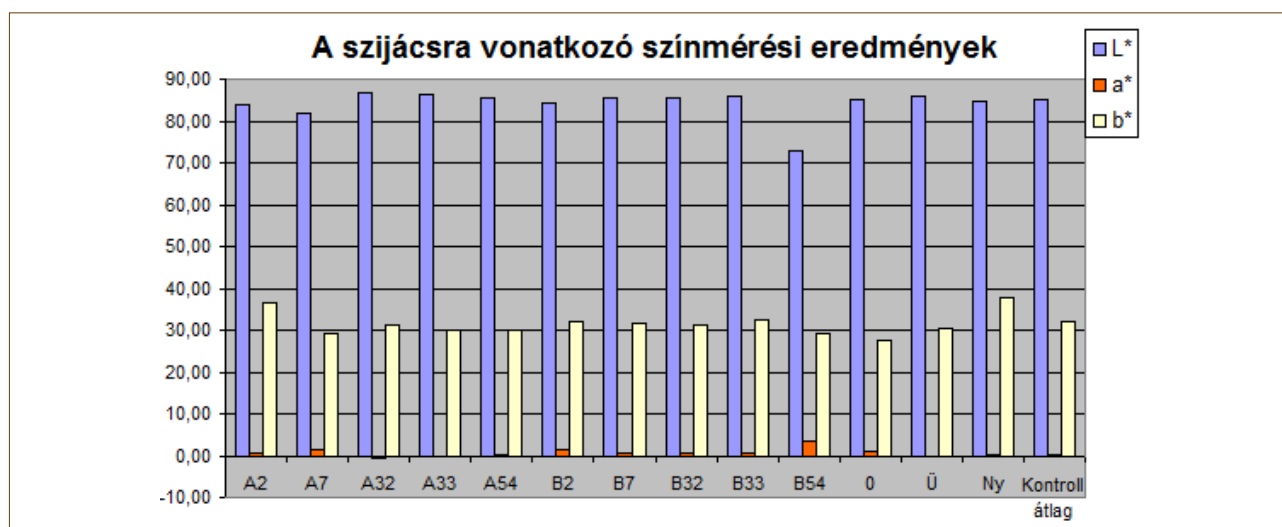
A fatesten szabad szemmel látható sötétebb, barnás foltosság ezen eredményekben is megfigyelhető. Magyarázatul szolgálhat, hogy a gyors növekedés eredményeként a korai és kései pászta arányaiban megváltozik, amely szélesebb évgűrűszerkezetet eredményez. A korai pászta világossága nagyobb, mint a késői pásztaé, amely a lazább szerkezettel és az eltérő kémiai összetétellel magyarázható (Németh 1998).

A sárga színezet ( $b^*$ ) átlagértékeit vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a geszt sárga színezet tartalma vala-



4. ábra Az akác gesztjére vonatkozó színmérési eredmények

Figure 4 CIELab measurements of robinia heartwood



5. ábra Az akác szijácsára vonatkozó színmérési eredmények

Figure 5 CIELab measurements of robinia sapwood

mennyi fajtajelölt esetén a kontroll közelében (28,13) alakul. Szijács esetében azonban az A/2 törzsfánál kimagasló (36,59) értékkel találkozunk, amely a kontroll értékekhez képest 23%-os növekedést jelent.

Tolvaj és munkatársai (2013) 17 hazai fafaj átfogó színvizsgálatát végezték el. Az akác (*Robinia pseudoacacia* L.) mérési eredményeket a 2. táblázatban összevetettük a saját vizsgálatunk során kapott eredményekkel.

Mérési eredményeinket vizsgálva elmondhatjuk, hogy az irodalmi értékekhez képest világosság esetében szinte kivétel nélkül nagyobb szórással találkozunk. A vörös színezethez tartozó átlag- és szórásértékek valamennyi vizsgált minta esetében meghaladják az irodalmi értékeket. A sárga színezet esetében eredményeink többsége kismértékben ugyan, de meghaladja a Tolvaj és társai által meghatározott 26,6 átlag-, valamint 2,43 szórásértéket.

## Összefoglalás

Korábbi vizsgálatok eredményei alapján az új, fokozott fahozamú akác fajtajelöltek ipari felhasználás szempontjából ígéretesnek bizonyultak, így szükségszerűvé vált az objektív színmeghatározás. A mérési eredmények tükrében megállapíthatjuk, hogy a mért színkoordináták ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) közül a világosság ( $L^*$ ) értéke valamennyi jelölt és kontroll esetében, a beltől a szijács irányába növekedett. A kontroll, közönséges akác mintához képest az új jelölteknel a világosság emelkedést mutat.

Az új akác fajtajelölt minták vörös színezete ( $a^*$ ) B2 és B32 minták kivételével megközelíti, ill. meghaladja a kontroll mintákhoz tartozó értékeket. A jelöltek sárga színezet ( $b^*$ ) tartalma szinte valamennyi minta esetében kontroll alatt vagy kontroll közelében alakult. Megállapítást nyert továbbá, hogy az új fajtajelöltek faanyagánál valamennyi színkoordináta esetében nagyobb szórással kell számolni.

A szabad szemmel is látható, sötét foltok pontos magyarázatához azonban további vizsgálatokra van szükség. Folyamatban van a tartósság laboratóriumi körülmények között (komposztláda) történő vizsgálata, az IR-vizsgálatok előkészítése, valamint a gombaállósági vizsgálatok mérési eredményeinek kiértékelése.

## Köszönetnyilvánítás

Ez a tanulmány a Magtermő törzsültetvény és termelési rendszer kifejlesztése kiemelkedően nagy hozamú, magról jól örökítő, gyorsan növekvő TURBO akác törzsfaj klónokkal energiaültetvények és produktív erdők szaporítóanyagának előállításához GOP-1.3.1-08/2-2009-0080 projekt keretében valósult meg.

Minta	$L^*$		$a^*$		$b^*$	
	átlag	szórás	átlag	szórás	átlag	szórás
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.*	70,14	1,80	4,18	0,66	26,60	2,43
A2	70,30	5,69	5,80	1,94	28,63	3,51
A7	63,59	6,62	6,97	1,11	27,83	2,96
A32	69,91	3,44	5,87	0,90	27,40	1,37
A33	69,72	4,70	6,02	1,18	28,18	3,00
A54	69,89	6,91	5,89	2,13	26,43	2,26
B2	73,26	6,28	5,27	1,58	25,08	2,87
B7	62,14	6,00	7,57	1,09	27,51	3,17
B32	72,46	3,14	5,54	0,90	26,28	3,05
B33	61,65	5,17	8,35	1,40	25,95	2,69
B54	65,73	6,68	6,83	1,26	27,54	3,26
<b>Kontroll</b>						
0	69,85	2,86	5,74	0,99	29,95	1,61
Ü	63,85	4,59	7,69	1,45	26,72	2,43
Ny	60,23	9,09	6,79	0,59	27,73	3,03

**2. táblázat** Irodalmi és mért értékek alapstatisztikai összegzése (Forrás: Tolvaj és munkatársai, 2013)

**Table 2** Basic statistics and comparison with the literature data (Source: Tolvaj and co-workers, 2013)

**Irodalomjegyzék:**

- Bai A., Sipos G. (2007) A hagyományos erdők és az energetikai faültetvények sokrétű jelentősége. Erdészeti Lapok. 142. (4):106-109
- Horváth-Szováti E., Varga D. (2000) Az akác faanyag gőzölése során bekövetkező színváltozás vizsgálata. II. A 105, 110 és 115 °C-on történő gőzölés eredményei, javaslat az ipari hasznosításra. Faipar 48(4):11-13
- Jereb O. (1979) Erdőműveléstan I. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- Molnár S., Bariska M. (2005) Magyarország ipari fái. Szaktudás Kiadó Ház Rt., Budapest
- Németh J., Szánthó J. (2010) A klímaváltozás okozta szélsőséges termőhelyek kiszámítható energetikai hasznosítása kiemelkedő hozamú hazai fafajok új fajtáival a SOSKLIMA KF.20-0024/2007 sz. projektzáró szakmai beszámolója <http://www.silvanusforestry.com/gallery/files/SOSKLIMA%20Z%C3%A1r%C3%B3%20jelenet%C3%A9s%281%29.pdf> (2013. február 13.)
- Németh K. (1998) A faanyag degradációja. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
- Németh R. (2008) Fokozott fahozamú nemesített akácfajták faanyaga fizikai, mechanikai és anatómiai jellemzőinek vizsgálata a termőhely függvényében. OTKA F046443. pp. 1-16. Kutatási zárójelentés
- S. Nagy L., Halász G. (2011) Tanulmányút a Kapusi erdőben, Erdészeti Lapok. 146. (9) 272
- Takáts P. (2004) Szárítás és gőzölés. NymE- FMK Sopron 112-119
- Tolvaj L., Molnár S., Takáts P., Németh R. (2006) A bükk (*Fagus silvatica* L.) faanyag fehér és színes gesztje színének változása a gőzölési idő és a hőmérséklet függvényében. Faipar. 54(2-3):15-20
- Tolvaj L., Persze L., Lang E. (2013) Correlation between hue angle and lightness of wood species grown in Hungary. Wood Research. 58(1):141-146
- Tolvaj L., Varga D. (2002) Az akácgőzölés színváltoztató hatása. Intarzia 6(6):19-22
- Varga D., Németh R., Molnár S., Tolvaj L. (2009) Bükk (*Fagus silvatica* L.) faanyag színének homogenizálása gőzöléssel. Faipar 51(2):20-27



# A falemezipar alapanyag-ellátásának alakulása Magyarországon

WINKLER András<sup>1</sup>, LABORCZY Gábor<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Faalapú Termékek és Technológiák Intézet

## Kivonat

A tartamos erdőgazdálkodás eredményeként hazánkban egyre növekszik az évente kitermelhető – főként az őshonos tölgy, cser – faanyagmennyiség, melyet a faipar jelenleg alkalmazott technológiai csak korlátozott mértékben tudnak felhasználni. Az utóbbi időszakban a megújuló energiaforrások felhasználásával történő energiatermelés mint jelentős fafelhasználó megjelenése hozzájárult ahhoz, hogy verseny alakult ki a megfelelő alapanyag beszerzése terén a fafeldolgozók között. A rendelkezésre álló statisztikai adatokból kitűnik, hogy ezt a versenyt tovább fokozza az erdei fatermékek exportjának növekedése is, melynek térnyerése alapvetően befolyásolhatja a hazai faanyagellátást és ezen keresztül a fafeldolgozó iparágak jövőjét is. A kialakult helyzetre hosszabb távon megoldást jelenthet az ültetvényes fagazdálkodás további fejlesztése, a faipari másodlagos nyersanyagok és a faanyagon kívüli egyéb további alapanyagok felhasználása falemezgyártásra.

**Kulcsszavak:** faipari alapanyag-termelés, erdei fatermékek kereskedelme, megújuló energiatermelés, fafelhasználás jövőképe

## State-of-the-art of the wood-based panel industry in Hungary

### Abstract

As a result of the sustainable forest management in Hungary, the yearly amount of exploitable timber, first of all the indigenous Sessile oak Downy oak and Turkey oak is continuously growing; however current technologies used within the wood branch are capable of utilising part of this amount only. Recently the advance of energy generation based on renewable resources has largely contributed to the contest for raw material between the wood processing companies. It is clear from the available statistical data the increase in the export of forest products further provokes the contest which may fundamentally influence domestic timber supply, consequently the future of woodworking industries. Development of plantation forestry and utilisation of waste wood and non-ligneous materials for panel production may be a solution in the long term.

**Keywords:** wood-based raw material production, trade of forest products, renewable energy production

### Jelenlegi fahozam és fafaj-összetétel adatok és tendenciák

Az első világháborút lezáró trianoni békeszerződés következtében Magyarország erdősültsége 11,8%-os szintre csökkent és Európa fában egyik legszegényebb országává vált. Az ország jelentős ráfordításokkal és erdősítésekkel 2013-ra elérte a 20,8%-ot. A magyar erdőgazdaság távlati stratégiai célja a 26–27%-os erdősültség megvalósítása. Ez a jelenlegi európai átlaghoz (35%), de Közép-Európában Szlovénia (62%) vagy Lengyelország (30%) erdőterületének arányaihoz mérten is szerény érték, azonban Magyarország adottságait figyelembe véve elérhető célkitűzés (FAO Adattár 2010; NÉBIH Adattár 2012).

Az erdőtelepítések által keletkezett erdőterületeknek csak egy része (62,6%) az ipari szempontból fontos gazdasági rendeltetésű erdőterület, mely figyelembe vehető alapanyag-termelés céljából (1. ábra).

Az erdősültség növekedésével együtt évről évre növekszik az évi folyónövedék mennyisége, és ezzel a felhasználható élőfa-készlet is.

Magyarország fahozamának hosszú távú prognózisa a kismértékű és a nagyarányú erdőtelepítést is feltünteti. A jelenleg megvalósult beruházások eredményeképp a derűlátó erdőtelepítéssel tervező verzió látszik megvalósulni (2. ábra). Amennyiben a jelenlegi ütemben folynak tovább az erdőtelepítések, abban az esetben várhatóan az erdőgazdaságok elegendő faanyagot termelnek a hazai fafelhasználással foglalkozó valamennyi iparág számára.

Az 1. számú táblázat adataiból látható, hogy a hazai élőfa-készlet az évek során folyamatosan és jelentősen emelkedett, így a hazai erdőkben képződő összes folyónövedék mértéke napjainkra már elérte 13 millió bruttó m<sup>3</sup>-t évente (NÉBIH Adattár 2013). Ez a folyamat egyrészt a tartamos fakitermelési gyakorlat, az erdőtelepítés és az erdőszerkezet-átalakítás, másrészt pedig az utóbbi években az erdőtervi fakitermelési lehetőségekhez képest jelentősen lecsökkent faipari feldolgozás eredménye. A fakitermelés mennyisége jelenleg az évi folyónövedék mintegy 60–70 százaléka.

Az ipari alapanyagként rendelkezésre álló hazai erdők fajaj-összetétele Európában egyedülállóan sokféle (3. ábra). Magyarországon az összes erdőterület 88,9%-án lombos erdő található, a tűlevelű erdők területe 11,1%.

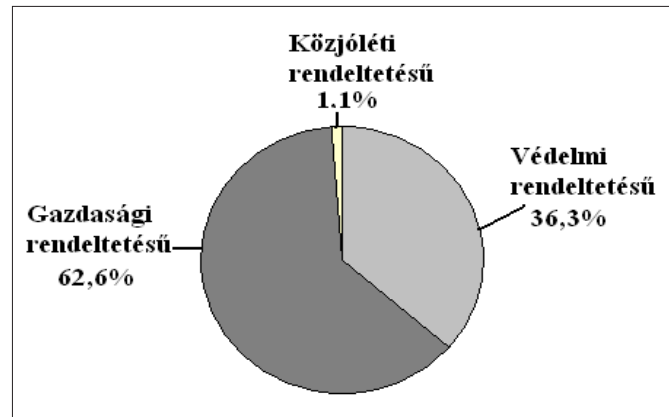
Az erdőterület 63%-át az őshonos fajok (tölgy, cser, bükk, gyertyán), 37%-át idegenhonos fajok (akác, vörös tölgy, egyes fenyők), illetve klónozott fajták (nemesnyárok) foglalják el (3. ábra). A fajaj-összetétel változatossága meghatározza a kitermelendő erdei választékok összetételét. Az ipari erdőtelepítések eredményeként a rövidebb vágásfordulójú különféle nyárok és lágylombos fajok (pl: fűz) egyre nagyobb mennyiségben jelennek meg erdeinkben. Az erdőtelepítések további folytatása újabb és újabb földterületeket igényel. A 4. ábra adataiból kitűnik, hogy az összes földterület közel egyötöde hasznosítatlan, művelés alól kivett terület, mely alkalmas lehet erdőtelepítésre.

Ezért a racionális termőföld-hasznosítás keretén belül az olyan területeken, ahol különböző okok (lejtős, nehezen megközelíthető, vadkáros stb.) miatt gazdaságtalan a mezőgazdasági termelés, érdemes megfontolni az erdőtelepítést, ill. ültetvényes fagazdálkodást (hózzávetőlegesen 650–700 ezer ha, Molnár és tsai. 2008). Az ilyen területeken célszerű felmérni az ültetvényeszerű fatermesztés lehetőségét, különösen azért, mert az ilyen művelésből származó faanyagok kedvezőbb méretű tulajdonságokat mutatnak, azonos fajon belül.

**1. táblázat** A fahozam és az élőfa-készlet alakulása Magyarországon, millió bruttó m<sup>3</sup> (MgSzH, NÉBIH adatbázis 2013)

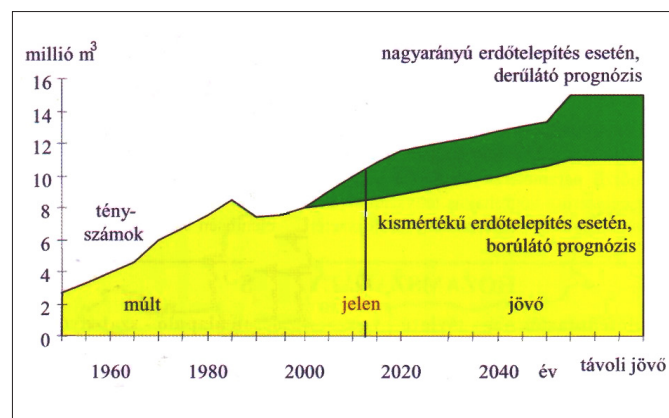
**Table 1** Yield and forest stock in Hungary, million m<sup>3</sup> gross

	Erdők élőfa-készlete	Éves folyónövedék	Éves fakitermelés
2007	347,4	13,0	6,6
2008	351,9	13,1	7,02
2009	355,8	13,2	6,77
2010	359,1	13,1	7,42
2011	362,2	13,1	8,08
2012	366,0	13,0	7,7



**1. ábra** Az erdőterületek megoszlása elsődleges rendeltetés szerint (Forrás: NÉBIH Erdészeti Igazgatóság Adattár 2013)

**Figure 1** The distribution of primary forest areas by destination



**2. ábra** Fahozam prognózis Magyarországon (Forrás: Állami Erdészeti Szolgálat 2001)

**Figure 2** Wood Yield projections in Hungary

Ez átlagosan a vizsgált nemes nyár és akác fajok esetében fmagasságot illetően 20%, átmérő tekintetében 30% többletet jelent (Németh és tsai. 2005)

### Tulajdonviszonyok alakulása

Az erdőterületek tulajdonviszonyait bemutató 2. táblázat adataiból látható, hogy az erdők többsége állami, de a magántulajdonú erdőtelepítések következtében jelentős mennyiség van magántulajdonban. A Nyugat-Európában oly jellemző közösségi-községi tulajdonú (önkormányzati) erdők aránya Magyarországon nem számottevő. A magánerdő-tulajdon birtokviszonyaira az erdőtársulások, az egyéni és közös használatú gazdálkodó csoportok, mint gazdálkodók a jellemzők. A magánkézben lévő átlagos erdőtulajdon 21 hektár, míg az állami gazdálkodók által kezelt átlagos erdőterület 4372 hektár (NÉBIH Adattár 2013). A kis területű erdőtulajdonból szakaszosan remélhető csekély jövedelem, az erdőtulajdonosi kör jelentős részét a tervszerű gazdálkodás megkezdésére nem motiválja, amit indokol az is, hogy a kis üzemméret mellett akár évtizedek is eltelhetnek tényleges hozam nélkül. Ezért a tulajdonosokat minden olyan megoldás érdekli, mely a befektetés megtérülésével esetleg további profittal kecsegtet.

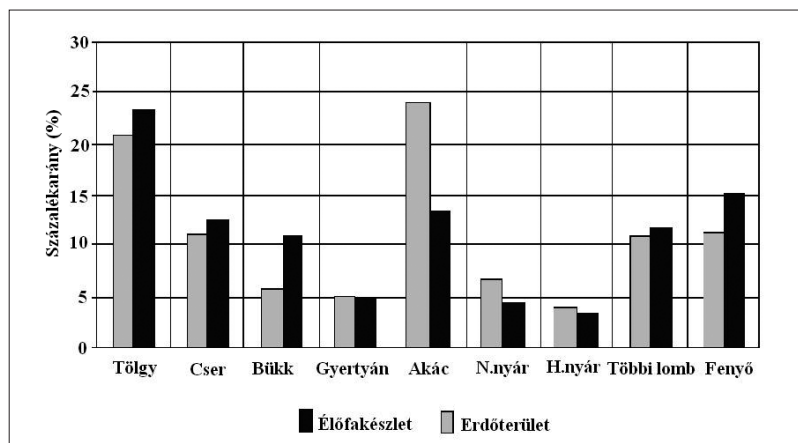
Az erdőgazdálkodás hozamát jelentősen apasztják a hűvösebb időjárás beköszöntével évről évre egyre nagyobb számban megjelenő fatolvajok, akik közül többen inkább értékesítési céllal tulajdonítják el a fákat. A falopás komoly erkölcsi kár, mindemellett durva természetkárosításnak is számít. Somogyban, Borsod-Abaúj-Zemplén megyében – óvatos becslések szerint – az évi százmillió forintot is meghaladja az erdőtulajdonosoknak a fatolvajok által okozott kár, akik gátlástalanul irtják, tarra vágják az erdőt több térségben is<sup>1</sup>.

**2. táblázat** A hazai erdőterületek tulajdonviszonyainak alakulása (Forrás: NÉBIH Erdészeti Igazgatóság 2013)

**Table 2** Development of national forest land ownership

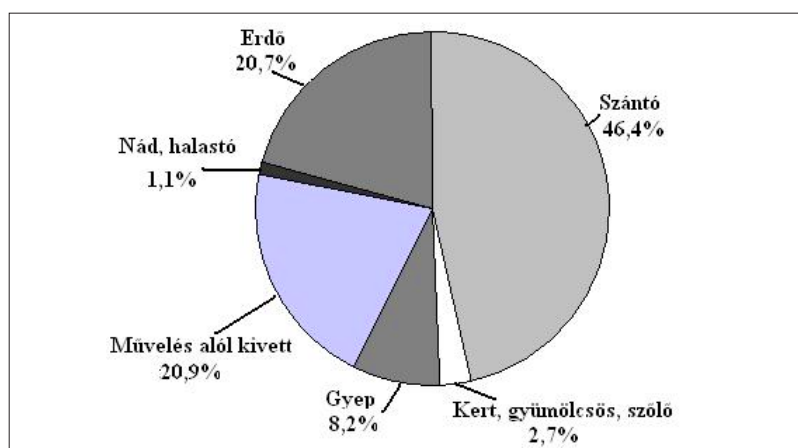
	2008	2009	2010	2011	2012
Állami (%)	55,6	55,5	55,3	56,4	55,7
Közösségi (%)	1	1	1	1,1	1,2
Magán (%)	42,9	42,9	42,9	41,6	42,1
Vegyes (%)	0,5	0,6	0,8	0,9	1
<b>Összes erdőgazdasági célú erdőterület (ha)</b>	20308	20393	20464	20507	20556
<b>Erdősültség (%)</b>	20,5	20,6	20,7	20,7	20,8

<sup>1</sup> <http://www.police.hu/hirek-es-informaciok/bunmegelozes/vagyonvedelem/a-fatolvajok-dolgot-is-meg-lehet-nebeziteni>



**3. ábra** Az élőfa-készlet és erdőterület fajfajmegoszlása 2012-ben (Forrás: NÉBIH Erdészeti Igazgatóság Adattár 2013)

**Figure 3** Species breakdown of forest stock and forest area in 2012



**4. ábra** Földterületek megoszlása művelési ágak szerint (Forrás: NÉBIH 2013, 2012.V.12-i állapot)

**Figure 4** Distribution of land under cultivation

E jelenség visszaszorítására a parlament több hónapos előkészítő munka után elfogadta Európa legszigorúbb erdőtörvényét, mely a szakértők szerint végre hathatós eszközrendszert kínál a falopás ellen. A jogszabály az uniós törekvésekkel összhangban bevezeti a faanyag származási igazolási rendszerét, ami lehetővé teszi, hogy ne csak az erdőben, hanem fakitermelést követően, például közúti szállítás során, telephelyeken, értékesítéskor is tetten lehessen érni az engedély nélkül kitermelt fát értékesítő személyeket. A származási igazolási rendszer működtetésére, és az illegális fakitermelés elleni fellépés összehangolására az erdészeti hatóságon belül célszerű lenne működtetni az erdővédelmi szolgálatot, ami a falopáson túl más erdőkárok (erdőtűz, nagyterületű rovar, gomba stb. károsítások) megelőzését, felszámolását is irányíthatja. Az új törvény bővíti, pontosítja az erdészek intézkedési jogkörét, így például a nem igazolt származású faanyagot az erdész a jövőben az elkövetés eszközével együtt visszatarthatja. (Az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról szóló 2009. évi XXXVII. törvény hatályos változata.)

### Kitermelt erdei választékok megoszlása

A kitermelt faanyagoknak csak 1,5–3%-a felel meg minőségileg a lemezipari rönk kivánalmainak, mely a furnér és furnér alapú rétegelt fatermékek alapanyagát adhatja (Németh és Szabadhegyi 2003). A legnagyobb hányadban jelentkező ipari hasznosítású fűrészipari rönk mennyisége 15–18%. A farostlemezek, faforgácslapok, cellulóz és papírgyártás alapanyagai a fafeldolgozás hulladékai és a sarangolt ipari faválasztékok. Hazánkban az összes kitermelhető faanyag közel 20%-a sarangolt ipari fa és több mint 50%-a tűzifa választék (3. táblázat). A sarangolt választékok magas aránya is felveti az ebbe a választék-csoportba tartozó faanyagok hasznosításával kapcsolatos feladatok jelentőségét. Ez utóbbi erdei választék fontossága megnőtt a faanyag energetikai felhasználásának térhódítása következtében, hosszabb távon hazánk EU-ban vállalt energetikai kötelezettségeinek teljesítése érdekében nagyobb szerephez jutnak (Marosvölgyi és Kovács 2005). További szempont lehet az is, hogy a sarangolt ipari választék energetikai hasznosításával szemben a falemezipari felhasználás esetén lényegesen nagyobb érték állítható elő (Fekete 2005).

### A hazai erdei fatermékek forgalmának alakulása

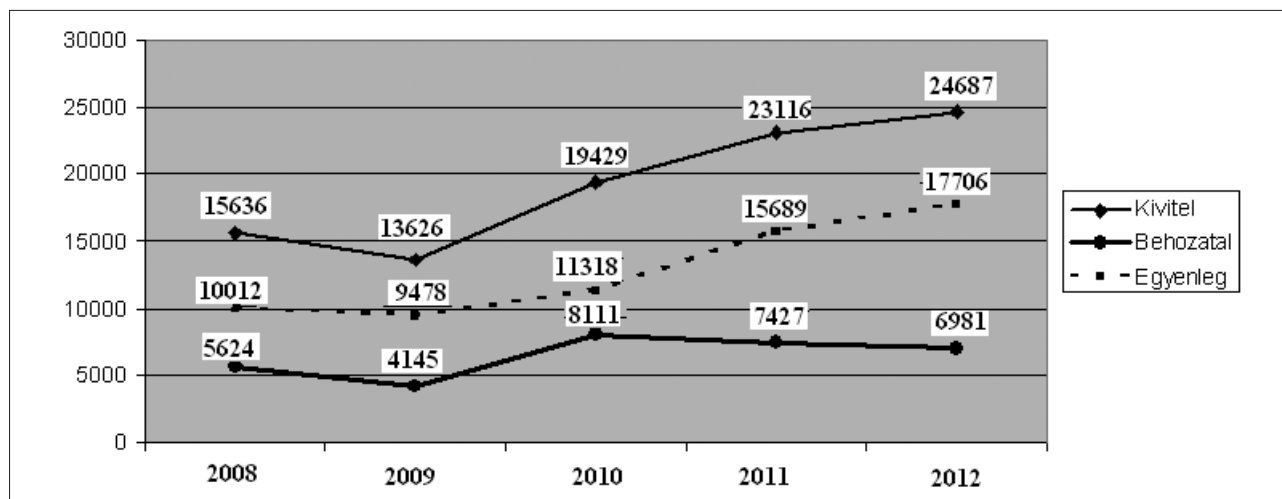
Az erdőgazdálkodás – és ezáltal az erdőfenntartás – legfontosabb bázisa a megtermelt faanyag értékesítéséből származó árbevétel (Gémesi 2005). A legfontosabb fatermékek termelésének csökkenése mellett még mindig jelentős az import mennyisége (5. ábra). A termelést a kereslet határozza meg, mely a legnagyobb felhasználók alapanyagigényének visszaesésével arányosan csökkent. A 5. ábrát áttekintve látható, hogy az erdei fatermék-választékok tekintetében a kivitel évről évre folyamatosan növekvő tendenciát mutat.

A kitermelt választékokból a rönkválaszték egy része – a legértékesebb és legjobb minőség – exportra kerül. A rendelkezésre álló faanyagmennyiség árfekvését és hasznosítását, ezen keresztül pedig a fafelhasználó iparágak sorsát, a más országokban már megjelent tendenciák alapvetően befolyásolhatják. Lengyelországban veszélybe került a faipari ágazat nyereségessége és munkahelyei, mert német vállalkozók tömegesen vásárolják fel a lengyel erdőket a helyinél magasabb áron a határ közelében, miután Németországban korlátozták a fakitermelést. Ez felborította a fapiac egyensúlyát (Barabás 2013). Az óriási mennyiségű faanyagot exportáló

**3. táblázat** Erdei választék termelés-összetétele (%), nettó termelés (Forrás: MgSZH, NÉBIH adatbázisok)

**Table 3** Forest product assortment (%)

Erdei fatermék	2008	2009	2010	2011	2012
Lemezipari rönk	2,4	1,8	1,2	1,8	3,0
Fűrészipari rönk	18,4	14,8	15,7	16,0	15,1
Papírfa	7,9	8,2	9,9	7,7	8,8
Rostfa	6,0	6,2	5,0	6,1	7,3
Egyéb ipari fa	3,5	3,0	3,4	3,6	3,9
Ipari célú erdei apríték	0,5	0,3	0,5	0,1	0,1
<b>Ipari fa összesen</b>	<b>47,4</b>	<b>40,1</b>	<b>42,9</b>	<b>43,4</b>	<b>45,2</b>
<b>Tűzifa</b>	<b>52,6</b>	<b>59,9</b>	<b>57,1</b>	<b>56,6</b>	<b>54,8</b>
<b>Összes fakitermelés (m<sup>3</sup>)</b>	<b>5 956 540</b>	<b>5 890 234</b>	<b>6 406 120</b>	<b>6 950 220</b>	<b>6 611 485</b>



**5. ábra** Erdei fatermékek kereskedelmi forgalmának alakulása (millió Ft) Forrás: MgSZH, NÉBIH adatbázisok

**Figure 5** Changes in trade flows of wood products (million Ft)

Romániában várhatóan korlátozni szándékozzák a rönk- és a fűrészáru exportját annak érdekében, hogy minél kisebb mértékű legyen a nyersanyagkivitel, ezzel is támogatva a helyi faipari cégeket (Balogh 2013). A kitermelt hazai faanyag iránti növekvő külföldi keresletre Magyarországon is számítani lehet, mely hatással lehet a faanyagellátás és a hazai fafeldolgozó-ipar helyzetére.

### Megújuló energiatermelés

Az Európai Parlament és az Európai Tanács megújuló energia hasznosítási irányelve Magyarország számára 2020-ra minimum 13%-ban (és mindezen túl kétéves ciklusokra bontva is) határozta meg a megújuló energiaforrásból előállított energia nettó energiaszükségletben elvárt részarányát (NGM 2011, 100. o.).

A kibocsátás csökkentésén túl jelentős kérdés a fosszilis energiahordozók felhasználásának kiváltása a biomassza, vagyis az újratermelhető környezetbarát tüzelőanyagra átállított biomassza erőművekkel. Elsősorban az erdészetből és mezőgazdaságból származó biomassza, a biogáz, a mezőgazdasági alapú bioüzemanyagok, a geotermikus és termálenergia, másodsorban a napenergia, a szélenergia és a vízenergia alkotják a megújuló energiaforrások alappilléreit. Jelenleg Magyarországon az összes megújuló energiafelhasználás majdnem 80%-át a biomassza adja, melynek 50%-át a faanyag jelenti (NGM 2011, 110. o.). A biomasszaként hasznosított faanyagba beletartoznak a falemezipar alapanyagbázisát képező sarangolt ipari választékok és erdei aprítékok is, rosszabb esetben az erdőgazdaság által kitermelt bármely ipari célra egyébként még hasznosítható faanyagok is.

Amennyiben a fenti faanyagot a fafeldolgozó-ipar hasznosítja, pl. forgácslapgyártásra, akkor ugyanannyi mennyiségű fából magasabb értékű terméket tud előállítani. További feldolgozás esetén ez az érték még növekszik. A szemmel látható jelentős hozzáadott érték különbségeken kívül belátható az is, hogy a feldolgozóiparban lévő munkahelyek száma meghaladja a fa energetikai felhasználása során foglalkoztatottak létszámát.

Az energetikai hatással párhuzamosan jelentkezik a környezetvédelmi, konkrétan klímavédelmi hatás. Magyarország önként azt a vállalást tette, hogy 2020-ra energiafelhasználásán belül 14,65%-ra növeli a megújuló energiák arányát. Ez a cél reálisan csak akkor teljesíthető, ha a fenti összefüggéseknek megfelelően kb. 3,0–3,5 millió tonna/év szilárd biomasszát áramtermelésre használunk, ami a gázimport 7–10%-át válthatja ki, de összesen akár évi 10–12 millió tonna biomasszára is szükség lehet az energetikai célok teljesítésére. Figyelembe véve a hagyományos erdeinkben tartamos művelésével előállítható tűzifa mennyiséget, az ökológiai károkozás nélkül felhasználható melléktermék és a különféle hulladékok mennyiséget, valószínűsíthető, hogy legalább százezer hektáron rövid termelési fordulóju (egy-két év) energetikai ültetvényeket kell majd létesíteni (Lontay 2011).

A biomassza hasznosítása során ugyanakkor érvényesülniük kell a fenntarthatósági kritériumoknak is. A mezőgazdasági művelésből kivont területek nagy mennyiségű biomassza (energetikai faültetvények, egyéb energianövények) előállítását teszik lehetővé. Magyarországon nagy előrelépési lehetőség mutatkozik a biomassza hasznosítás terén, ezen belül a szilárd biomassza termelésben valamint a hagyományos erdőgazdálkodásból származó energetikai célokra hasznosítható dendromasszában.

A biomassza-erőművek elterjedése és nagymértékű fafelhasználásának következtében reális problémaként kell számolni azzal, hogy a beruházások nem eléggé átgondolt előkészítése miatt faanyaghiány léphet fel, mely nehéz helyzetbe hozhatja, vagy akár ellehetetlenítheti is a térség fafelhasználó iparágait. Ez a veszély valós és nem egyedi, mint ahogy az ausztriai Klagenfurt esete is mutatja. A tervezett biomassza-erőmű beruházási projekt megvalósítása kapcsán Karintia 150 fafeldolgozással foglalkozó vállalkozása kért biztosítékot arra, hogy faellátásukat a leendő erőmű kb. évi 300 ezer m<sup>3</sup> faigénye nem fogja hátrányosan érinteni. A prognózisok 2020-ra Karintiában 3 millió m<sup>3</sup> feletti hengeresfa-hiánnyal számolnak. Az energiafa árak 2003–2011 között már 50%-kal emelkedtek és a beruházás hatásaként még további emelkedés is prognosztizálható (Pichler 2013).

### Az alapanyagbázis bővítésének lehetőségei

A megfelelő minőségű és mennyiségű alapanyagért folytatott versenyben a hazai falemezipar súlyos versenyhátrányba kerülhet más felhasználókkal szemben. Éppen ezért már most más, alternatív alapanyagbázist kell keresni az esetlegesen elvesztettek pótlására.

Hazánkban a fafeldolgozó iparban nagy mennyiségben állnak rendelkezésre különféle fahulladékok (pl. fűrészpor, kéreg) valamint használt faanyag, amelyek alkalmasak lehetnek pl. forgácslap-ipari felhasználásra (Winkler 2005).

Ahhoz, hogy a hulladék faanyagot, ill. a használt faanyagot gazdaságosan fel lehessen használni lemezipari alapanyagként, az alábbi feladatok megoldása szükséges:

1. A különböző fafeldolgozó üzemektől be kell gyűjteni a hulladékokat
  2. A végfelhasználóktól be kell gyűjteni és osztályozni kell a használt faanyagokat
  3. A gyártástechnológiát alkalmassá kell tenni az új típusú alapanyagok feldolgozására.
1. Az első probléma megoldása a legegyszerűbb, hiszen megfelelő logisztikával – közeli helyekről közvetlenül, távolabbi helyekről esetleg gyűjtőfuvarok segítségével – ezek a hulladékok néhány száz kilométeres körzetből beszállíthatók.
  2. A faalapú hulladékok, használt faanyagok begyűjtése a végfelhasználóktól már komoly feladat, amely a legtöbb hulladéktípus esetén túllép a falemezgyár kompetenciáján. Itt be kell vonni az önkormányzatokat, hulladékkezelő vállalatokat is a megvalósításba. A legcélszerűbbnek több, központi gyűjtőhely kialakítása tűnik, ahol a használt faanyagok osztályozása is elvégezhető. Bizonyos esetekben a begyűjtés egyszerűsödhet, pl. raklapok, csomagoló anyagok felhasználása esetén.
  3. A faanyagon kívüli további alternatív alapanyagok:  
Kutatások szerint az egynyári növények is (pl. repceszalma) hasznosíthatók farostlemezgyártás alapanyagaként (Winkler 1999). Megfelelő műszaki paraméterekkel rendelkező faforgácslap a jelenleg elterjedt faanyagon kívül számos más anyagból előállítható. Sikeres kísérletek igazolták, hogy felhasználható fakéreg, a fa teljes föld feletti biomasszája, a furfurologyártás maradéka, sőt még a háztartási hulladék is megfelelő technológia alkalmazásával (Winkler 1998).

### A hazai falemezgyártás alapanyag-ellátásának jövőképe

1. A hazai erdőkben rendelkezésre álló alapanyag-mennyiség a tartamos erdőgazdálkodás következtében egyre növekszik. Az ültetvényes rendszerű gazdálkodás elterjedésével és a magánerdők területének növekedésével jelentős mennyiségű és megfelelő minőségű ipari faanyag termelhető, mely biztosíthatja a hazai faipar alapanyagigényét.
2. A környezettudatos szemlélet fokozatos térnyerésével a fafeldolgozó iparágak összeütközésbe kerülhetnek a faanyagot mint biomasszát felhasználó erőművekkel, holott ez utóbbiak alapanyagigényének biztosítása az ipari célra hasznosítható faanyag kiváltásaként a rövid vágásfordulójú energiaültetvényekkel megoldható lenne.
3. Az eltüzelésen kívül más célra már nem alkalmas másodlagos fanyersanyagok gyűjtésének hatékony megszervezésével további jelentős alapanyagforrás jelenhet meg.
4. Célszerű lenne a hazai faanyagkészlet külföldre történő nagyobb mértékű értékesítésének megakadályozása, korlátozása a hazai fafeldolgozó iparág alapanyag-ellátás biztosításának érdekében.
5. A hazai alapanyag-ellátás elérhető áron történő biztosítása érdekében a tőkeerős feldolgozó üzemek a mezőgazdaságból kivont területeken saját erdőtelepítésekkel tudják a növekvő alapanyagárakat kompenzálni.

A magánerdő-gazdálkodók fakereskedelembé való erőteljesebb bevonásával további bővíthet a rendelkezésre álló faanyagmennyiség.

6. Ösztönözni kell a faanyagon kívül további hasznosítható, nagyobb mennyiségben rendelkezésre álló nyersanyagok felkutatását, illetve a sikeres kutatási eredmények gyakorlatban való alkalmazását.

### Összefoglalás

A tartamos erdőgazdálkodás és a lecsökkent fakitermelés eredményeként hazánkban egyre növekszik az évente kitermelhető – jórészt őshonos – fafajokból álló faanyagmennyiség. A közelmúltban előtérbe került a fosszilis energiahordozók felhasználásának kiváltása biomasszával, vagyis az újratermelhető, környezetbarát tüzelőanyagra átállított biomassza-erőművekkel, melyeknek elsősorban az erdészetből és mezőgazdaságból származó biomassza szolgáltatja a tüzelőanyagot. Az ilyen módon hasznosított faanyagba beletartoznak az egyéb ipari célra hasznosítható sarangolt ipari választékok és erdei aprítékok is, rosszabb esetben az erdőgazdaság által kitermelt bármely ipari célra egyébként még hasznosítható faanyag is.

A faanyag, mint megújuló energiaforrás fokozottabb felhasználásával előállított energiatermelés jelentős térnyerése hozzájárult ahhoz, hogy éles verseny alakult ki a megfelelő alapanyag beszerzése érdekében a fafelhasználók között. Ez azt a veszélyt vetíti előre, hogy a faanyagárak megemelkednek, és a fafelhasználó iparágak egyre nehezebben tudják működésüket gazdaságos keretek között tartani. A kialakult helyzetet még súlyosbíthatja a fa, mint nyersanyagforrás iránti növekvő – főként külföldi – kereslet, melynek következtében a faexport további növekedése prognosztizálható. Ennek eredményeként növekvő faanyagárak tapasztalhatók és a fafelhasználó iparágak gazdaságos működése egyre nehezebbé válik. E probléma megoldása érdekében időben el kell kezdeni a belátható időn belül csak kisebb mennyiségben és magas áron elérhető alapanyag kiváltását célzó megoldások kidolgozását, melyek biztosíthatják a hazánkban nagy múltú visszatekintő falemezipar további fennmaradását és fejlődését.

### Irodalomjegyzék

- Balogh L. (2013) Időszakosan leállítaná a faexportot a román kormány  
<<http://kronika.ro/erdelyi-hirek/idoszakosan-leallitana-a-faexportot-a-kormany>> (Megtekintve: 2014.09.19.)
- Barabás T. (2013) Németországba vándorolnak a lengyel erdők  
<[http://www.napi.hu/nemzetkozi\\_gazdasag/nemetorszagba\\_vandorolnak\\_a\\_lengyel\\_erdok.557113.html](http://www.napi.hu/nemzetkozi_gazdasag/nemetorszagba_vandorolnak_a_lengyel_erdok.557113.html)>  
(Megtekintve: 2014.09.19.)
- Fekete L. (2005) A faipar általános helyzetéről In: (Solymos R. szerk.) Erdő- és fagazdaságunk időszerű kérdései, MTA Agrártudományok Osztálya, Budapest, 35. o.
- Falopás 2013: A fatolvajok dolgát is meg lehet nehezíteni, Tolna Megyei Rendőr-főkapitányság  
<http://www.police.hu/hirek-es-informaciok/bunmegelozes/vagyonvedelem/a-fatolvajok-dolga-is-meg-lehet-neheziteni>
- Gémesi J. (2005) Gazdálkodás az állami erdőkben In: (Solymos R. szerk.) Erdő- és fagazdaságunk időszerű kérdései, MTA Agrártudományok Osztálya, Budapest, 23. o.
- Lontay Z. (2011) Bioerőművek a vidékfejlesztésben  
[http://www.meta.org.hu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=28:biovidekfejl&catid=21:bioeromvek&Itemid=2](http://www.meta.org.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=28:biovidekfejl&catid=21:bioeromvek&Itemid=2) 2011. július 27.
- Marosvölgyi B., Kovács J. (2005) A faenergetika helyzete és jövője In: (Solymos R. szerk.) Erdő- és fagazdaságunk időszerű kérdései, MTA Agrártudományok Osztálya, Budapest, 159. o.
- Molnár S., Führer E., Tóth B. (2008) Az ültetvényes fagazdálkodás fejlesztése. Hillebrand Nyomda, Sopron. 93. o.
- Németh J., Hargitai L., Szabadhegyi Gy., Gerencsér K. (2005) Az értékes minőségi hengeresfa feldolgozásának korszerűsítése In: (Solymos R. szerk.) Erdő- és fagazdaságunk időszerű kérdései, MTA Agrártudományok Osztálya, Budapest, 125. o.
- Németh J., Szabadhegyi Gy. (2003) Furnérok és furnér alapú rétegelt termékek gyártása Nyugat-magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Kar, Sopron. 15. o.
- Pichler V. (2013) WK fordert Prüfung von Biomassekraftwerk <http://www.meinbezirk.at/klagenfurt/wirtschaft/wk-fordert-pruefung-von-biomassekraftwerk-d584599.html> (Megtekintve: 2014.09.19.)

- Nemzetgazdasági Minisztérium. (2011) Új Széchenyi Terv. A talpra állás, megújulás és felemelkedés fejlesztés-politikai programja. Magyarország Kormánya, 2011. január, 320. o.
- Winkler A. (1998) Faforgácslapok. Dinasztia Kiadó, Budapest. 131–151. o.
- Winkler A. (1999) Farostlemezek. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest. 43. o.
- Winkler A. (2005) Új fafeldolgozási és fahulladék feldolgozási technológiák In: (Solymos R. szerk.) Erdő- és fagazdaságunk időszerű kérdései, MTA Agrártudományok Osztálya, Budapest, 149. o.
-



# A faanyag színváltozása nedvesítés hatására

TOLVAJ László<sup>1</sup>, PREKLET Edina<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Fizika és Elektrotechnika Intézet

## Kivonat

A faanyagok felszínének nedvesítés hatására történő színváltozását vizsgáltuk tíz fafaj esetében. A nedvesítés csökkentette a minták világosságát és növelte a sárga színezetet. A legnagyobb változást a vörös színezet növekedése jelentette. Éger és nyír esetében a vörös színezet közel megduplázódott. Megállapítottuk, hogy a nedvesítés nem változtatja meg a színezeti szöveget, de jelentősen megnöveli a színezet telítettségét. Gőzölt bükknél a változások sokkal nagyobbak voltak, mint a natúr bükknél. A vizes bázisú lakkreteg nagyobb mértékben változtatta meg a faanyagok színét, mint a nedvesítés.

**Kulcsszavak:** nedvesítés, reflexiós színekép, színmérés, színváltozás

## Colour change of wood induced by wetting

### Abstract

The colour change of ten wood species was investigated after wetting the surface. The lightness decreased and the yellowness increased due to moisture. The most intensive change was the increase in redness. Redness almost doubled for alder and birch. Hue was found unaffected by moisture, but chroma increased considerably. Steamed beech suffered much greater colour change than natural beech, due to wetting. A water born lacquer layer produced more pronounced colour changes than that induced by simple wetting.

**Keywords:** moistening, reflection spectrum, colour measurement, colour change

## Bevezetés

A tárgyak színét az határozza meg, hogy a rájuk eső látható fényt az egyes hullámhosszakon milyen arányban verik vissza. A faanyag intenzíven elnyeli a fényt, a benne lévő sokféle fényelnyelő kémiai csoportnak köszönhetően. Az elnyelési tulajdonságokkal azért fontos foglalkozni, mert a visszavert fény is behatol a visszaverő közegbe nagyon kis mélységbe, és onnan verődik vissza.

A faanyag fényelnyelése erősen hullámhosszfüggő. Hon és Ifjú (1978) a fény által keltett szabad gyökök vizsgálatával az ultraibolya fény behatolását 75  $\mu\text{m}$ -nek, látható fényét 200  $\mu\text{m}$ -nek mérte. Kataoka és Kiguchi (2001) az infravörös színeképben még 500  $\mu\text{m}$  mélységben is talált változást xenonlámpás besugárzás esetén, ha kellően hosszú idejű (1500 órás) besugárzást alkalmaztak. A jelenség magyarázata abban keresendő, hogy a fény hatására meginduló oxidációs folyamatok a fénynél lényegesen mélyebbre is behatolnak a faanyagba.

A faanyag színét a kémiai szerkezetében jelen lévő konjugált kettős kötések határozzák meg a szelektív és intenzív fényelnyelésükkel. A faanyag esetében ilyen kötések a ligninben és a járulékos (extrakt) anyagokban találhatóak. A lignintartalomban nincsenek nagy eltérések a fafajok között, ezért a fafajok közötti színeltérést az extrakt anyagokban mutatkozó eltérések okozzák. Az extrakt anyagok jelentős része a gesztesedés során rakódik be a faanyagba. Ezért a geszt és a szijács között jelentős színeltérés alakulhat ki. Sok fafajnál, hasonló okok miatt, a korai és késői pászta között is jelentős színeltérés található.

A faanyag színe a vörös és a sárga közötti tartományba esik. A hengerkoordináta rendszerben ( $L^*$ ;  $h^*$ ;  $C^*$ ) a  $h^*$  színezeti szög segítségével lehet a színezeteket megadni, ahol a 0 fokhoz a vörös színezet, a 90 fokhoz a sárga színezet tartozik. A közbülső értékekhez a vörös és a sárga közötti színezetek tartoznak. A faanyag sárga színezetét mindig jóval nagyobb számértékek jellemzik, mint a vörös színezetét. A nagyon sötét, csokoládébarnára gőzölt akác esetében is 56° fölött marad a színezet (Varga and van red Zee 2008, Tolvaj és tsai 2010). A magas sárga színezet miatt a faanyag barnás árnyalatot vesz fel, ha megnöveljük a vörös színezetét.

Természetes állapotukban a világos faanyagok inkább sárgák, míg a sötét színű faanyagok esetében relatíve magas a vörös színezet. Lineáris kapcsolat van a faanyag színének világossága és színezeti szöge között (Tolvaj and Németh 2008, Tolvaj and Mitsui 2010, Tolvaj és tsai. 2010).

Ha a szabadba kitett faanyag megázik, akkor a színe sötétebb lesz, és a színezete élénkebbnek látszik. A szakirodalom áttanulmányozásakor nem találtunk a jelenséget részletesen leíró publikációt. Ezért méréseket végeztünk tíz fafajon, megvizsgálva a nedvesítés színváltoztató hatását.

### Vizsgálati anyagok és módszerek

A vizsgálatokhoz akác (*Robinia pseudoacacia* L.), bükk (*Fagus sylvatica* L.), gőzölt bükk (gőzölési hőmérséklet 95 °C, gőzölési idő 1 nap), éger (*Alnus glutinosa* L.), hárs (*Tilia cordata* Mill.), nyár (*P. x euramericana* Pannonia), nyír (*Betula pendula* Roth), tölgy (*Quercus petraea*), lucfenyő (*Picea abies* Mill.), erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.) és vörösfenyő (*Larix decidua* L.) minták felületét nedvesítettük desztillált vízzel. A nedves felszínről 30 perc elteltével a fölösleges vizet letöröltük és elvégeztük a színmérést. A lakkok közül a vizes bázisú lakk színváltoztató hatását célszerű összehasonlítani a vizes nedvesítés hatásával. Az összehasonlítás érdekében natúr bükk, gőzölt bükk és nyár faanyag felületére hordtunk fel vizes bázisú lakkot két rétegben.

Megmértük a felület színét a nedvesítés előtt és után. A színváltozást egy Konica-Minolta 2600d típusú színmérő készülékkel követtük. Fa fajonként két próbatestet készítettünk 100x30x10 (mm) méretekkkel. Próbatestenként 10 ponton végeztünk mérést, így az eredményeink 20 mérési adat átlagaként adódtak. Az adatokat a CIE L\*a\*b\* szinkordináta rendszerben adtuk meg. A mérési eredmények a D65 fényforrásra vonatkoznak, 8 mm átmérőjű mérési felület esetén, 10°-os megfigyelési szög mellett.

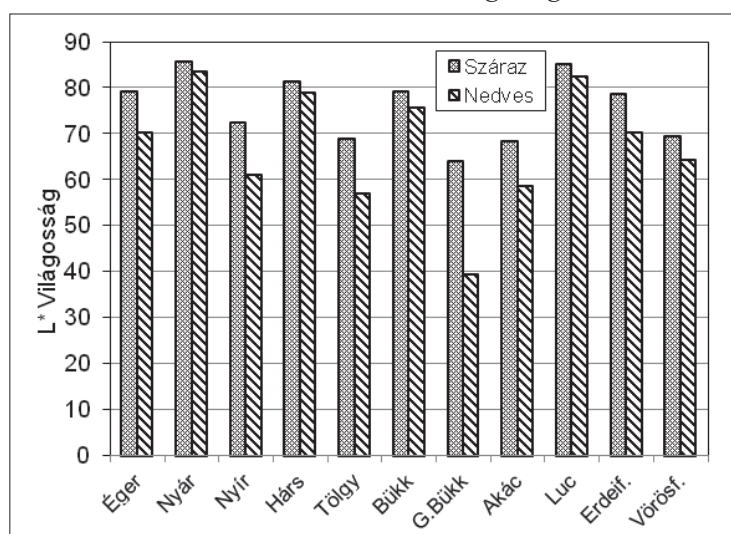
### A vizsgálati eredmények értékelése

A faanyag felületének kismértékű nedvesítése is jól látható színváltozást eredményez. A vizuális megfigyelés helyett a színváltozást színmérő készülékkel követtük nyomon, a CIE L\*, a\*, b\* szinkordináták segítségével. A szinkordináták változásait a 1–5. ábrák mutatják be.

A vizsgált fafajok világosságának értékeit száraz és nedves állapotban az 1. ábra szemlélteti. A világosság a vizuális megfigyeléssel összhangban valamennyi mintánál csökkent a nedvesítés hatására. Hasonló eredményekre jutottak Teischinger és tsai is (2012). A faanyag világosságát – ami a visszavert fény intenzitásával arányos – döntően két tényező határozza meg. Az egyik a fény behatolásának mélysége: minél mélyebbre képes behatolni a fény, annál nagyobb az esélye, hogy a diffúz módon visszaverődő fotonok elnyelődnek, mielőtt kijutnának a faanyagból. A másik tényező az anyag fényelnyelő képessége: minél több a fény elnyelésére képes molekula, annál kevesebb foton verődik vissza.

A mérések azt mutatták, hogy a fenyőfélék kisebb világosságváltozást szenvedtek, mint a lomblevelűek. A világosságcsökkenés a fafajok felénél 10% alatt maradt. A legmarkánsabb világosságcsökkenést (38,6%) a gőzölt bükk mutatta. Ezzel szemben a natúr bükknek csak 4,3%-kal csökkent a világossága. Feltűnő volt, hogy a gőzölt bükk jóval több vizet szívott magába, mint a natúr bükk. Ennek következményeként vastagabb réteg nedvesedett át a gőzölt bükk esetében, mint a natúr bükknél. A kialakuló, összefüggő vízrétegek mélyebbre képesek bevezetni a fényt gőzölt bükknél, mint a natúr bükknél. Ez a fő oka a világosság eltérő csökkenésének.

A gőzölés hatására megszaporodnak a kromofor csoportok. A hemicellulózok degradációját követő oxidációs folyamatban keletkeznek az új fényabszorpcióra képes vegyületek. A megnövekedett fényabszorpció a világosság csökkenését eredményezi. Ezek a vegyületek okozzák a gőzölt bükk színének vörös irányú eltolódását is.



1. ábra A világosság változása nedvesítés hatására

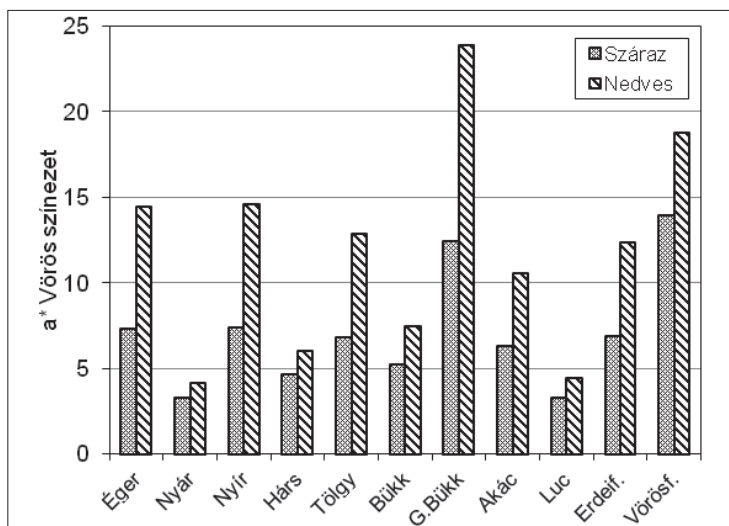
Figure 1 Lightness change due to wetting

A legkisebb mértékű sötétedést a nyár (2,3%) és a hárs (3%) produkálta. A vizsgált fafajok közül ez a két faanyag tartalmazza a legkevesebb extrakt anyagot. Hasonlóan kis értékkel (3,4%) csökkent a lucfenyő világossága is. A nedvesítés hatására történt sötétedés fő oka, hogy a jelenlévő víz mélyebb rétegekbe is bevezeti a fényt, mint amilyen mélységbe a száraz faanyag beengedi azt. A vastagabb rétegben nagyobb az esélye a fényelnyelésnek, és kevesebb fény verődik vissza a felületi rétegből. Ezért érzékeljük sötétebbnek a felületet. Az intenzív fényabszorpciós képességgel rendelkező extrakt anyagok hiánya okozza, hogy a nyár és a hárs csupán kismértékű sötétedést szenvedett.

A nedvesítés hatására a vörös színezet változott a legnagyobb mértékben (2. ábra) a három színkoordináta közül. Ez a változás mindegyik esetben növekedés volt. Néhány faanyag vörös színezete majdnem a duplájára növekedett (éger 97,3%, nyír 96,6%, gőzölt bükk 92%). A legkisebb változás is 25% volt, a nyár esetében. Azok a faanyagok, melyeknek a vörös színezete 5 egység alatt volt száraz állapotban (bükk, hárs, luc, nyár) csak kismértékű színezetnövekedést szenvedtek. Abszolút értékben a gőzölt bükk szenvedte el a legnagyobb változást, ami 11,45 egységnyi volt. Ezzel az értékkel a nedves, gőzölt bükk vörös színezete messze kimagaslik a többi faanyagéhoz képest.

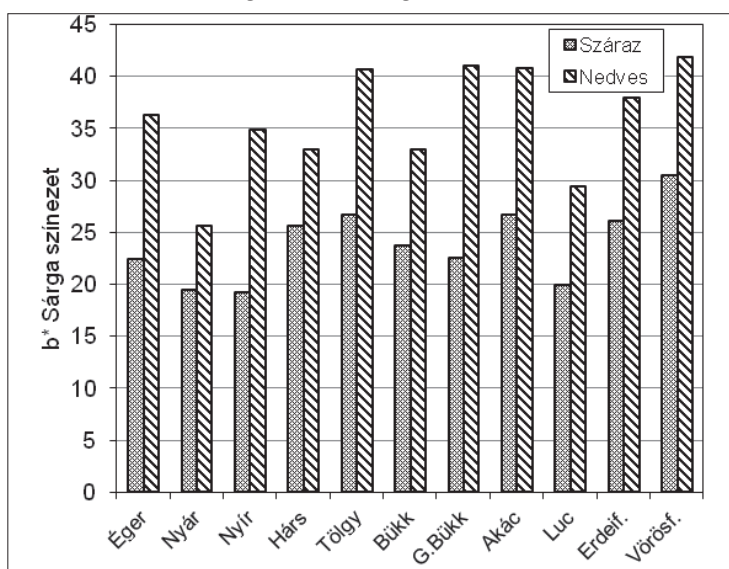
A sárga színezet (3. ábra) sokkal kiegyensúlyozottabban változott a nedvesítés hatására, mint a vörös színezet. A sárga színezet is jelentős növekedést mutatott valamennyi fafajnál. A legnagyobb sárga színezetnövekedést a gőzölt bükk (81,7%) és a nyír (80,6%) produkálta, a legkisebbet pedig a hárs (28,8%) érte el.

A színezeti szög nem változott számottevően a nedvesítés hatására (4. ábra). Kismértékű növekedés és csökkenés is előfordult. A változatlan maradt annak ellenére, hogy a két színkoordináta ( $a^*$  és  $b^*$ ) növekedett. Ezáltal a színpontok távolabb kerültek az  $L^*$  világosság tengelytől. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy nem a szín, hanem annak a telítettsége, színezet dúsága emelkedett meg.



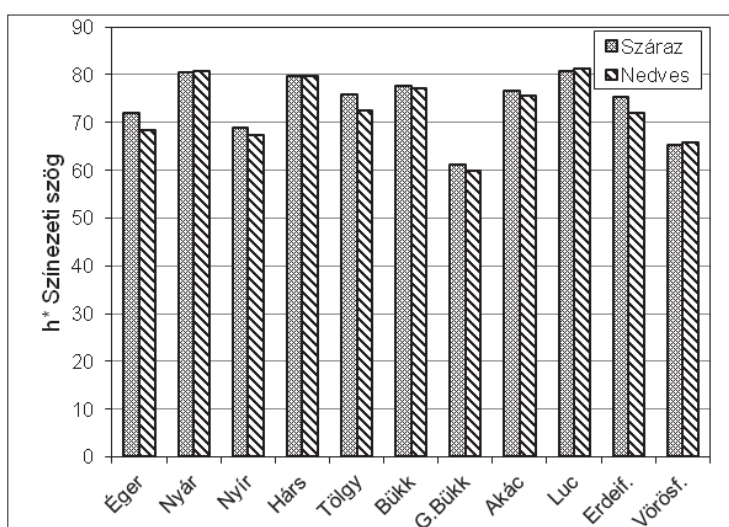
2. ábra A vörös színezet változása nedvesítés hatására

Figure 2 Redness change due to wetting



3. ábra A sárga színezet változása nedvesítés hatására

Figure 3 Yellowness change due to wetting



4. ábra A színezeti szög változása nedvesítés hatására

Figure 4 The colour hue change due to wetting

A feltevést jól alátámasztják az 5. ábrán bemutatott telítettségi adatok. A telítettség valamennyi vizsgált fafajnál jelentősen növekedett a nedvesítés hatására. A legnagyobb telítettség-növekedést a gőzölt bükk (84,2%) és a nyír (82,8%) produkálta. A sorban a következő az éger volt 65,4%-kal. A gőzölt bükk valamennyi színkoordináta esetében a legnagyobb változást mutatta vagy annak közelében volt.

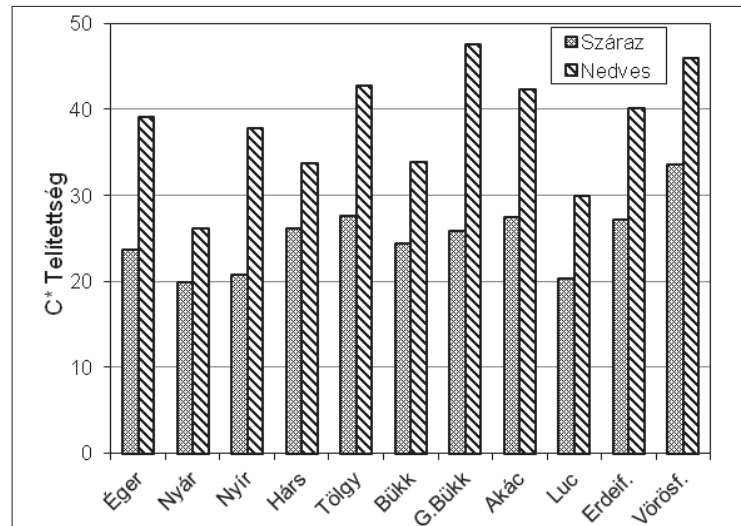
A telítettség növekedése a színek élénkülését jelenti. Minél távolabb van egy színpont az  $L^*$  világosság tengelytől, annál élénkebb színt reprezentál. Az  $L^*$  tengelyhez közeli színpontok inkább szürkés színekhez tartoznak. Megállapíthatjuk, hogy a faanyag nedvesítése mindegyik esetben az eredeti szín élénkülésével jár.

A színezetváltozások százalékos értékeit mutatja a 6. ábra. Három kivételtől eltekintve (nyár, luc, vörösfenyő) a vörös színezet ( $a^*$  koordináta) intenzívebben változott, mint a sárga színezet ( $b^*$  koordináta). Ez a három fafaj – a hárssal együtt – produkálta a legkisebb százalékos változást. Négy faanyag esetében (éger; nyír; tölgy; gőzölt bükk) majdnem megduplázódott a vörös színezet. Az erdeifenyő esetében is közel 80%-os volt ez a növekedés. A nyír és a gőzölt bükk esetében a sárga színezet növekedése is 80% körül volt. A többi minta sárga színezetének változása 50% körüli vagy az alatti volt.

A nedvesítésnek a fényt vezető tulajdonsága jól érzékelhető, ha megnedvesítünk egy vékony furnért. A megnedvesített furnér sokkal áttetszőbb lesz, mint a száraz. A bükk faanyagban a gőzölés olyan változásokat hozott létre, melyek hatására a vízfelvevő képesség jelentősen megnőtt. A felületre felhelyezett vízcsepp is jobban szétterült, a gőzölt bükk faanyagon, mint a natúr anyagon. A mélyebb rétegekbe behatoló és szóródó fotonok elnyelődésének nagyobb az esélye, mint sekély behatolási réteg esetén, ezért a reflexió is gyengébb lesz mélyebb behatolásnál. Az elnyelődés növekedése a világosság csökkenésével jár, mert a világosságot a teljes látható tartománybeli reflexió alapján határozzák meg. A színezet dúság növekedésének megértéséhez további optikai vizsgálatok szükségesek.

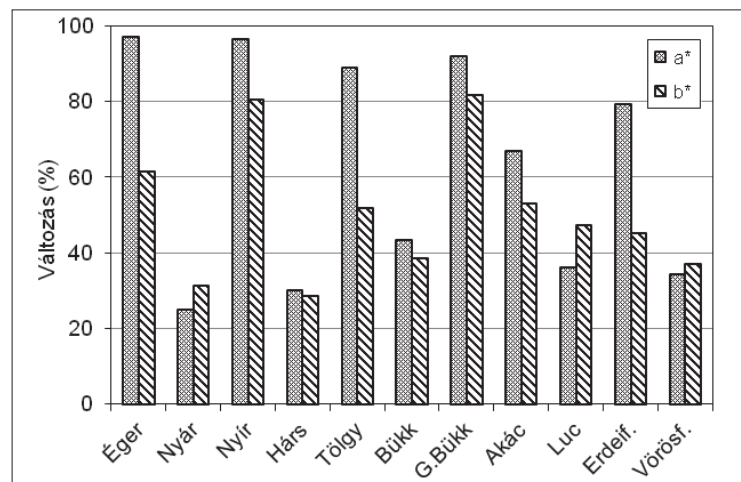
Megmértük a reflexiós színek nedvesítés hatására történt változását. Az eredményeket az eltérő tulajdonságú bükk és gőzölt bükk faanyagokkal mutatjuk be a 7. ábrán és nyír esetében a 9. ábrán. A gőzölt bükk reflexiójának mértéke jelentősen csökkent a nedvesítés hatására, összhangban a világosság csökkenésével (1. ábra). Ezzel szemben a natúr bükk esetében alig volt reflexió csökkenés a vörös tartományban, de a kék oldalon a gőzölt bükkével azonos mértékű volt a csökkenés.

A nyír hasonlóan viselkedett, mint a natúr bükk. De a reflexió csökkenése kisebb mértékű volt. A színezet változása annak a következménye, hogy a látható tartományon belül az egyes tartományokban eltérő az abszorpció változása (amit itt a reflexió változása mutat). A bükk faanyag esetében a kék oldalon jelentkezett lényeges abszorpció-növekedés. A változások pontos bemutatásához érdemes elkészíteni a különbségi színeképeket (8. ábra). A különbségi színekép mutatja, hogy a gőzölt bükk esetében a vörös oldalon nagyobb az abszorpció növekedése,



5. ábra A telítettség változása nedvesítés hatására

Figure 5 The change of chroma due to wetting



6. ábra A nedvesítés hatására bekövetkező, százalékos színezetváltozások

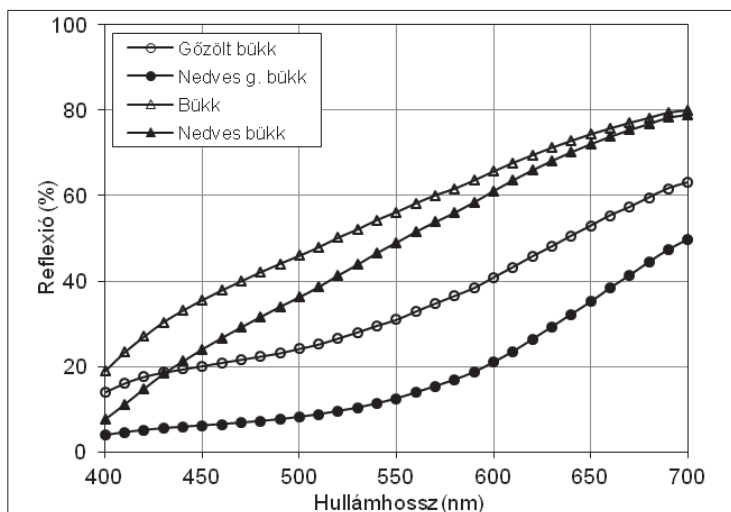
Figure 6 The relative hue change caused by wetting

mint a kék oldalon a natúr bükkhöz képest. A differencia színképen látszik egy jelentős minimum 600 nm környékén. Ezek az eltérések felelősek a színezet változásáért. A bükk és a gőzölt bükk reflexiós színképe változásának mértéke összhangban van a színezeteik változásával (6. ábra).

Az átlátszó lakkréteg a felhordáskor szintén behatol a faanyagba. Megfigyeltük, hogy lakkból kevesebbet nyeltek el a minták, mint vízből. A gőzölt bükk lakkból is többet adszorbeált, mint a többi faanyag. A reflexió változását csak a nyár faanyag esetében mutatjuk be a 9. ábrán. Gőzölt bükknél a lakkréteg valamivel kisebb mértékben csökkentette a reflexió mértékét, mint a natúr bükknél. A jelenség hátterében az áll, hogy a gőzölés hatására már jelentősen csökkent a reflexió mértéke a teljes látható tartományban (7. ábra). A natúr bükknél és a nyár faanyagnál a lakkréteg sokkal nagyobb mértékű reflexió csökkenést okozott, mint a nedvesítés. Az átlátszó lakkréteg esetében egy újabb jelenséget is figyelembe kell venni. A faanyag vékony felületi rétegéből visszaverődő fotonok közül azok, melyek elég nagy beesési szögben érik a lakkréteg belső felületét, nem haladnak át rajta, hanem visszaverődnek a faanyagba, és ott többnyire elnyelődnek. Ezáltal jelentősen csökkentve a szemünkbe (vagy a színmérő készülékbe) visszajutó fény intenzitását. Ez a jelenség okozza a reflexiós intenzitások jelentős csökkenését, ami a világosság csökkenésével jár együtt. Az átlátszó lakkréteg esetében is megfigyeltük a faanyag színének élénkülését. A jelenség megértéséhez további optikai vizsgálatok szükségesek.

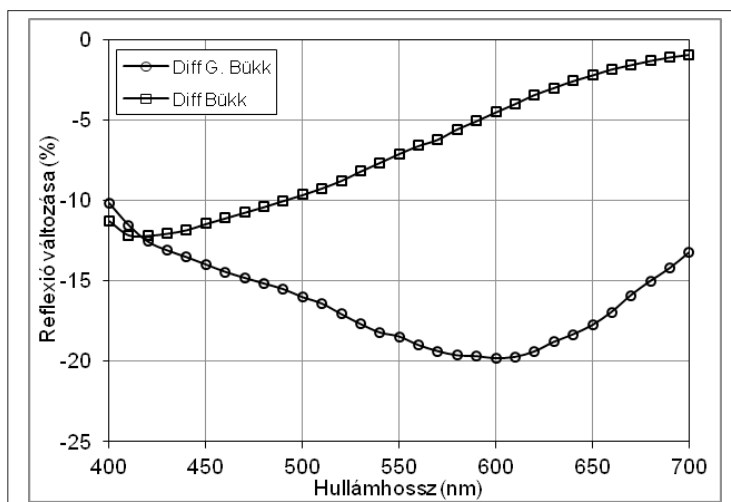
### Összefoglalás

A faanyagok felszínének nedvesítés hatására történő színváltozását vizsgáltuk tíz fafaj esetében. A nedvesítés csökkentette a minták világosságát, és növelte a sárga színezetet. A legnagyobb változást a vörös színezet növekedése jelentette. Éger és nyír esetében a vörös színezet közel megduplázódott. Megállapítottuk, hogy a nedvesítés nem változtatja meg a színezeti szöveget, de jelentősen megnöveli a színezet telítettségét. Gőzölt bükknél a változások sokkal nagyobbak voltak, mint a natúr bükknél. A világosság



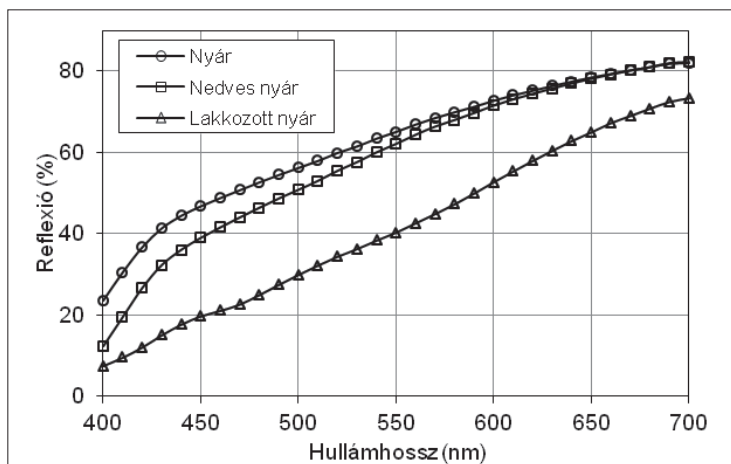
**7. ábra** A bükk és a gőzölt bükk faanyag reflexiós színképeinek változása a nedvesítés hatására

**Figure 7** The change of the reflection spectra for beech and steamed beech caused by wetting



**8. ábra** A bükk és a gőzölt bükk faanyag különbségi színképe

**Figure 8** Difference spectra of beech and steamed beech



**9. ábra** A nyár faanyag reflexiós színképeinek változása nedvesítés és vizes bázisú lakkréteg hatására

**Figure 9** Reflection spectra change of poplar caused by wetting and water based coating

csökkenése azzal magyarázható, hogy a kialakuló vízrétegek mélyebbre képesek bevezetni a fényt, mint a száraz faanyag. Ezzel megnő a fény elnyelődésének lehetősége. A vizes bázisú lakkréteg jóval nagyobb mértékben változtatta meg a faanyagok színét, mint a nedvesítés.

### Irodalomjegyzék

- Hon DNS., Ifjú G. (1978) Measuring penetration of light into wood by detection of photo-induced free radicals. *Wood Science* 11 (2): 118-127.
- Kataoka Y., Kiguchi M. (2001) Depth profiling of photo-induced degradation in wood by FT-IR microspectroscopy. *Journal of Wood Science* 47: 325-327. <http://dx.doi.org/10.1007/bf00766722>
- Teischinger A., Zukal ML., Meints T., Hansmann C., Stingl R. (2012) Colour characterization of various hardwoods. The 5th Conference on Hardwood Research and Utilization in Europe (10-11. Sept.), Sopron, 180-188.
- Tolvaj L., Németh K. (2008) Correlation Between Hue-angle and Colour Lightness of Steamed Black Locust Wood. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 4: 55-59. [http://aslh.nyme.hu/fileadmin/dokumentumok/fmk/acta\\_silvatica/cikkek/Vol04-2008/06\\_tolvaj\\_nemeth\\_p.pdf](http://aslh.nyme.hu/fileadmin/dokumentumok/fmk/acta_silvatica/cikkek/Vol04-2008/06_tolvaj_nemeth_p.pdf)
- Tolvaj L., Mitsui K. (2010) Correlation between hue angle and lightness of light irradiated wood. *Polymer Degradation and Stability* 95 (4): 638-642. <http://dx.doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2009.12.004>
- Tolvaj L., Molnar S., Nemeth R., Varga D. (2010) Color modification of black locust depending on the steaming parameters. *Wood Research* 55(2): 81-88.
- Tolvaj L., Persze L., Lang E. (2013) Correlation between hue angle and lightness of wood species grown in Europe. *Wood Research* 58(1): 141-145. [http://www.woodresearch.sk/articles/7-25-133947\\_15\\_Tolvaj.pdf](http://www.woodresearch.sk/articles/7-25-133947_15_Tolvaj.pdf)
- Varga D., van der Zee ME. (2008) Influence of steaming on selected wood properties of four hardwood species. *Holz als Roh- und Werkstoff* 66(1): 11-18.