

Soproni Egyetem

Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar
Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola

Doktori (PhD) értekezés tézisei és bibliográfia

**A természetes faanyag tulajdonságainak módosítása
termo-hidromechanikus és vegyi eljárásokkal**

Báder Mátyás

Sopron

2021

Soproni Egyetem
Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar
Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola
Vezető: Prof. Dr. Németh Róbert

Doktori program: Faanyagtudomány
Vezető: Prof. Dr. Németh Róbert
Tudományág: Anyagtudomány és technológiák

Doktori (PhD) értekezés tézisei és bibliográfia

**A természetes faanyag tulajdonságainak módosítása termo-hidromechanikus
és vegyi eljárásokkal**

Készítette: Báder Mátyás
Témavezető: Prof. Dr. Németh Róbert

Sopron
2021

BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A Thonet-féle gőzöléses fahajlítás kiváltására lehetőség nyílt olyan technológia fejlesztésére, amely már szobahőmérsékletű állapotban is hajlítható faanyagot biztosít. Ez az 1917-ben szabadalmaztatott rostirányú tömörítésen alapuló eljárás. Később számos másik szabadalom követte, napjainkban az ipari technológia elektronikus vezérlésű hidraulikus rendszerként elérhető. 2015 óta a Soproni Egyetemen üzemel egy Instron 4208 típusú univerzális anyagvizsgáló géphez csatlakoztatott laboratóriumi tömörítő gépegység. Az egyedi tervezésű eszközzel számos vizsgálatot lehet végezni már a tömörítés közben, amire korábbi kutatásoknál nem volt példa. $20 \times 20 \times 200$ vagy $20 \times 30 \times 200$ mm méretű (húrirány \times sugárirány \times rostirány) mintatesteket tudunk rostirányban tömöríteni, az eredeti hosszukhoz viszonyítva maximum 33% mértékben. A félig zárt gépegység oldalfalai fűtettek, pozíciójuk állítható és szükség szerint a mintával együtt képesek elmozdulni. Makroszkopikus szinten a megfelelően kivitelezett rostirányú tömörítés nem okoz látható elváltozást, ezért terméke bármely célra felhasználható, míg mikroszkopikusan azonban a sejtek eredetileg sima sejtfalainak hullámosodása, redőződése figyelhető meg.

A környezetbarát, hozzáadott vegyi anyagoktól mentes rostirányban tömörített faanyag alkalmas bútoralkatrészek (lábak, kartámaszok, háttámlák, élvédők), belsőépítészeti elemek (korlát karfa, falburkolat), sport-, jármű- és hangszerelemek készítésére, restaurálási- és egyéb munkálatokhoz történő felhasználásra.

A rostirányban tömörített faanyaggal kapcsolatban rengeteg kérdés merült fel. A disszertáció igyekszik széleskörű új ismeretanyaggal bővíteni a rendelkezésre álló tudásanyagot, az alapkutatói témákon kívül a legújabb kutatások közül többet bemutatni:

- a szakirodalomban megtalálható egyes eredmények felülvizsgálata, validálása
- eddig hiányzó alapkutatók elvégzése (pl. visszarugózás, egyensúlyi nedvességtartalom, zsugorodás-dagadás)
- újabb vizsgálati lehetőségeket kihasználva a rostirányú tömörítés hatásainak tanulmányozása (3 dimenziós sejt szerkezeti kutatások és kémiai funkciók csoportok vizsgálata)
- a dimenzió stabilitás nagymértékű romlása komoly problémát jelent, kiküszöbölése szintén kutatási cél volt (tejsavas telítés).

ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A rostirányú tömörítés első fázisa a telített vízgőzben történő plasztifikálás. A lágyított faanyagot forró és nedves állapotban kell tartani a tömörítés befejezéséig. A legáltalánosabban használt tömörítési arány a minta eredeti hosszához viszonyított 20%, amely a vizsgálatainknál használt bükk (*Fagus sylvatica* L.) és kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) fafajok esetében is megfelelőnek bizonyult. Alacsony sűrűségű fafajok nem tömöríthetők, mert már kis összenyomás mellett tönkremegy a sejtszerkezetük. Két fő eljárás használatos: egyiknél az összenyomás befejeztével a modifikációs folyamat véget ér, a minták azonnal készen állnak a használatra. A másik eljárásnál a faanyagot tömörítés után bizonyos ideig összenyomott állapotban tartva fixált minták keletkeznek.

A keménylombos faanyagok rostirányú tömörítésének hatására a hajlítórugalmassági modulus jelentősen lecsökken, ami jelzi a nagymértékű alakíthatóságot (hajlítás, csavarás). A rostirányban tömörített faanyag tulajdonságait a következő tényezők befolyásolják leginkább:

- tömörítési arány
- fixálási időtartam
- felhasználáskori nedvességtartalom.

Ezeken felül a fafaj, annak szöveti tulajdonságai, a tömörítés sebessége, a tömörítés előtti kiinduló nedvességtartalom és még számtalan tényező hatással van a rostirányú tömörítés végeredményére.

A vizsgálatok elvégzésénél mindig objektivitásra, ismételhetőségre és lehetőleg a szabványos módszerek alkalmazására törekedtünk. További tudnivalók az alkalmazott anyagokról és módszerekről az adott kutatás eredményeinek bemutatásakor kerülnek ismertetésre.

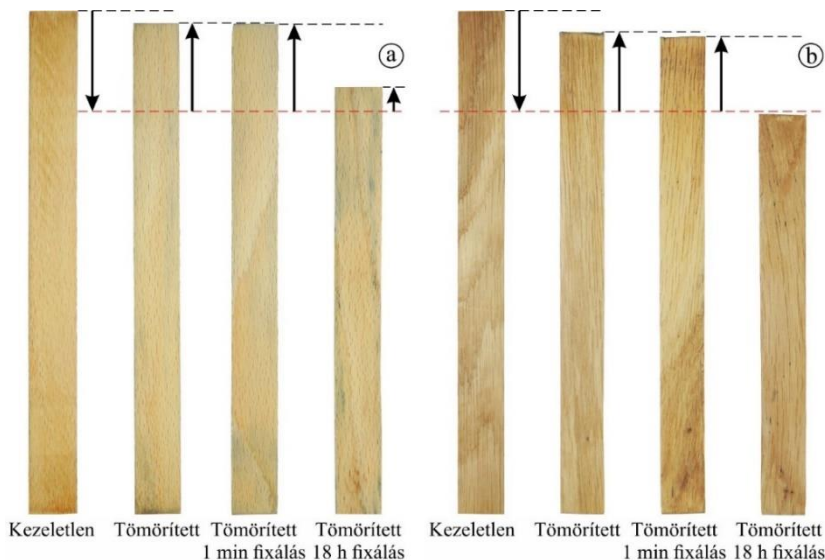
EREDMÉNYEK, AZ ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

1. tézis: A fixálás és fizikai-mechanikai hatásai

A fixálás a próbatest tömörítést követő állandó méreten tartása. Megállapítottam, hogy a fixálás felerősíti a tömörítés fizikai-mechanikai hatásait. Kísérleteim alapján a legrövidebb ajánlott fixálási idő 1 perc, amivel a maximális alakváltozás a 4 pontos hajlítóvizsgálatok során 353%-ra növekszik, a rugalmassági modulus 37%-ra és a hajlítófeszültség 44%-ra csökken a kezeletlen mintákhoz viszonyítva. Több órás fixálással a faanyagok lehajlási képessége 600% fölé növekszik (Báder és Németh 2018a). A hosszan, 3 órán, 5 órán és 18 órán keresztül fixált minták eredményei közel megegyeznek.

Továbbá megállapítottam, hogy a fixálás során a nyomófeszültség változása és a maradandó rövidülés jó korrelációval jelzi a minta tulajdonságváltozásainak mértékét (Báder és Németh 2018a).

Általánosan kijelenthető, hogy a fixálási fázisban a nyomóerő kezdetben gyorsan redukálódik, majd a csökkenés fokozatosan lelassul, de még órák múltán is folytatódik, ha a minta már lehült. A 20% mértékű rostirányú tömörítést követően a fixálási időtartammal együtt növekszik a maradandó rövidülés (1. ábra). A faanyag strukturális változásokat szenved, különösen a fixálás első percében. Az alakíthatóság javul, a mechanikai tulajdonságok pedig jellemzően romlanak. A megfigyelések alapján a bükk mintáknak a tölgyekéhez képest mindig nagyobb a visszarugózása, azaz kisebb a maradandó rövidülése. Az általánosan ajánlott minimális fixálási időtartam 1 perc, ami a gazdaságos előállítás és az alakíthatóság növelésének ideális kombinációja. A termékre vonatkozó különleges követelmények esetén mind a tömörítési arány, mind a fixálási időtartam növelhető. A meghatározott korrelációkat tekintve, ha ismerjük néhány minta tulajdonságait, nagy biztonsággal megállapíthatjuk az egész populáció alakíthatóságát. A nyomófeszültség változása alapján ez már a fixálási folyamat közben, vagy a maradandó rövidülést alapul véve később is lehetséges. Mindkettő felhasználható előrejelzések készítésére az azonos alapanyagból, hasonló módon készült minták maximális alakíthatóságának meghatározására.

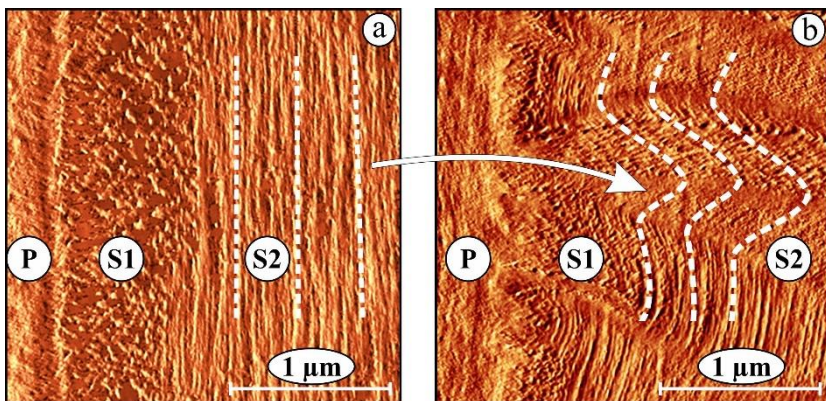


1. ábra Bükk (a) és tölgy (b) fafajú minták maradandó rövidülése 20% mértékű rostirányú tömörítés (piros vonal) és különböző fixálási időtartamok hatására. Balról jobbra rendre: kezletlen; tömörített; tömörített és 1 perccel fixált; tömörített és 18 órát fixált minták

2. tézis: Mikromechanikai változások

Rostirányú tömörítés és hosszan tartó fixálás hatására a sejtszintű mechanikai tulajdonságok jelentősen változnak. Méréseim bizonyították, hogy a másodlagos sejtfal S2 rétegének indentációs modulusa 48%-kal csökken, melyet a mikrofibrillák torzulása magyaráz. Az S2 sejtfalrétegben a teljes alakváltozási munka 14%-kal növekszik és az elasztikusság irányába tolódik el (Báder és tsai. 2019).

20% mértékű rostirányú tömörítés, majd hosszú idejű fixálás után a másodlagos sejtfal S2 rétegének indentációs modulusát rostiránnyal párhuzamosan vizsgáltuk. A kezelések a sejtfalak szintjén a kezletlen faanyaghoz viszonyított nagyobb rugalmasságot és kisebb alakíthatóságot eredményeztek. A makromechanikai változások, amelyek a sejtfalak hosszirányú redőződésének az eredményei, meghaladják az ellentétes viselkedést okozó mikromechanikai változásokat. A nanoindentációs eredményeket elemezve a tölgy- és a bükk minták a kezelés eredményeként hasonló mikromechanikai változásokat és trendeket mutatnak. A rostsejtek S2 sejtfalrétege mikrofibrillák szövetekéből épül fel. Ultrastukturális szinten vizsgálva a mikrofibrillák a tér minden irányában elhajolnak a rostirányú tömörítés hatására (2. ábra). Ennek következménye a sejtfalak meggyengülése.



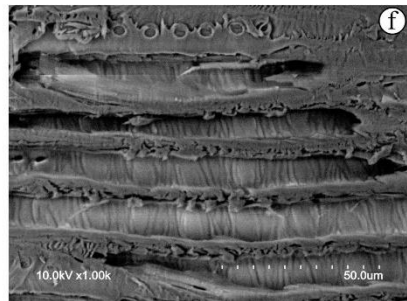
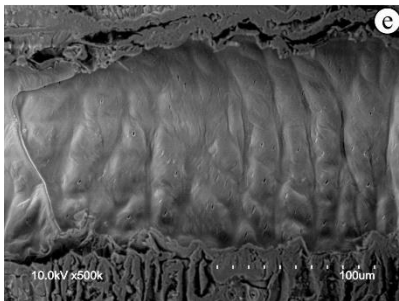
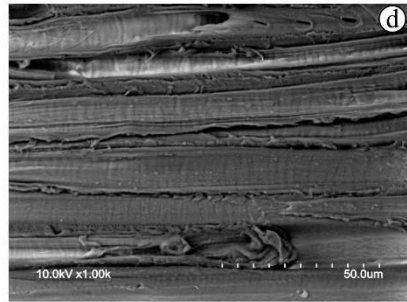
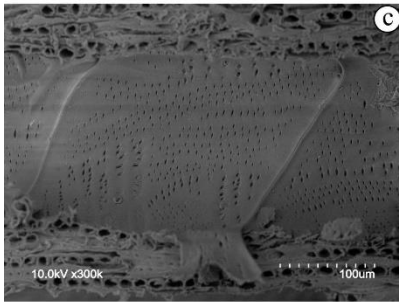
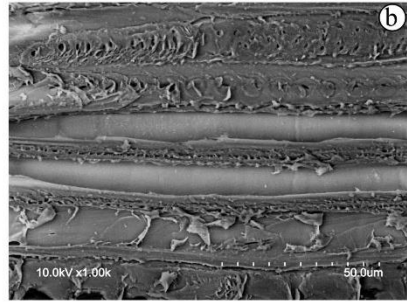
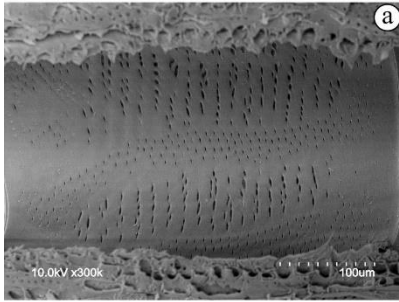
2. ábra Atomerő mikroszkóppal készült képek tölgyfa rostjának sejtfaláról egy kezeletlen mintában (a) és egy tömörített és hosszú ideig fixált mintában (b). A szaggatott vonalak a mikrofibrillák irányát mutatják az S2 sejtfalrétegben (Báder és tsai. 2019 alapján). Rövidítések: P – elsődleges sejtfa; S1 és S2 – másodlagos sejtfa rétegei

3. tézis: Szöveti tulajdonságok

A faanyag visszarusítása a rostirányú tömörítést követő 3 percen lezajlik (Báder és Németh 2020). A tömörítéseim után az edények sértetlennek tűntek, míg a rostfalak enyhén hullámosnak. A hosszan fixált minták esetében az edények- és a rostok falain is erős torzulások jelentek meg, a kisebb rostüregék és a gödörkék gyakran teljesen eltűntek (Báder és Németh 2018a). Hosszú fixálás hatására a sejtfa hullámai a sejtüregbe nyúlnak, de a rostok az edényektől eltérően a vékony falú parenchima-sejtek közelében deformálódnak jelentősen. A bélsugársejtek magassága 25%-kal csökken és a farostok akár 20%-kal is rövidülhetnek.

Tölgy minták 20% mértékű tömörítése után 1 perc fixálás következett. A minták tömegét és hosszát a kezelés befejezését követően folyamatosan ellenőriztük. A visszarusítás hatása, a feszültségsökkentés lehet az oka a minták hossz-növekedésének. A tömörítőerők megszűnte után a minták az első néhány másodpercben visszanyerték eredeti hosszúságuk nagy részét, majd hosszuk állandósult a 3. és a 120. perc közötti időszakban.

Elektronmikroszkóppal készült felvételek mutatják a tömörítés edényekre- és rostokra gyakorolt tipikus hatásait (3. ábra). Tudományos műben rostirányú tömörítés hatására gyűrődött farostokról készült felvétel eddig nem jelent meg. Tömörített és hosszan fixált tölgy minták szövetének roncsolásmentes háromdimenziós elemzésére röntgensugaras mikro-komputer-tomográfiát (X μ CT) használtunk, mely lehetővé tette többek között a minták sejtjeinek kvantitatív elemzését különböző szitaküszöbök alkalmazásával.



3. ábra Pásztázó elektronmikroszkóppal készült képek tölgyfáról: kezeletlen edény (10 kV ×300; a), kezeletlen rostok (10 kV ×1000; b), tömörített és nem fixált edény (10 kV ×300; c), tömörített és nem fixált rostok (10 kV ×1000; d), tömörített és hosszan fixált edény (10 kV ×500; e), tömörített és hosszan fixált rostok (10 kV ×1000; f)

4. tézis: Fa-víz kapcsolatok változásai

A fa-víz kapcsolatok vizsgálata során megállapítottam, hogy a megnövekedett sejtfal-felületen kialakult új kémiai kapcsolódási pontok hatására a rosttelítettség feletti tartományban a nedvességtartalom csökkenésével rostirányban 0,4%-ot zsugorodnak a tömörített minták (Báder és Németh 2020). A memória-hatás 10% feletti értékkel jelentkezik a rostirányban tömörített és hosszan fixált minták első rostirányú dagadásánál. Az eredményekből levontam a következtetést, hogy amennyiben az első dagadási érték kiszámításánál nem szabványosan, a korábbi abszolút száraz rostirányú mérettel, hanem a következő ciklus abszolút száraz méretével vetjük össze a minta telített méretét, megközelítőleg memória-hatástól mentes, valós dagadási eredményt kapunk.

Meghatároztam, hogy rostirányú tömörítés után a zsugorodás és dagadás keresztmetszeti- és térfogati változásai nem jelentősek. A rostirányú zsugorodás-dagadás azonban tömörített büknél 0,8%, tömörített tölgyenél 1,3%, tömörített-fixált mintáknál rendre 1,8-2,1% és 2,4-2,7%.

A faanyag mechanikai tulajdonságai a nedvességtartalommal változnak és bizonyítottam, hogy a rostirányban tömörített faanyagnál a változás mértéke esetenként jelentősen eltér a kezeletlen faanyagokétól. A lehető legjobb alakíthatóság érdekében a rostirányban tömörített faanyag nedvességtartalmának közel kell lennie a rosttelítettségi ponthoz (Báder és Németh 2019a).

Bükk és tölgy fafajokon végzett megfigyeléseink alapján a memória-hatás rendkívül nagy mértékű a tömörített és hosszan fixált minták első rostirányú dagadásánál. A faanyag igyekszik megközelíteni eredeti, tömörítés előtti állapotát és méreteit, törekszik újra kialakítani sejtheinek eredeti helyzetét, struktúráját. A zsugorodás-dagadási minták mérete 12x12x20 mm volt (húrirány × sugárirány × rostirány), a mérési pontosság 0,001.

Bükk minták első deszorpciójánál a rostirányban tömörített faanyag gyorsabban alkalmazkodik a megváltozott klimatikus viszonyokhoz, így a szárítása a kezeletlen faanyaghoz viszonyítva rövidebb idő alatt végrehajtható. A tömörített faanyag adszorpciója kissé lassabb a kezeletlenéhez viszonyítva, ezért az épületeken belüli használat során kevésbé dagad és zsugorodik a korlátozottan, de gyors ütemben változó klimatikus körülmények következtében.

Összehasonlító hajlító- és nyomóvizsgálatokat végeztünk rostirányban 20% mértékben tömörített és 1 percet fixált, különféle nedvességtartalmú bükk mintákon. A rostiránnyal párhuzamos nyomószilárdság mutatja a legkisebb érzékenységet a nedvességtartalom változásaira 3,2%-os α -értékkel, ezt követi 4,2%-kal a hajlítószilárdság, 5,0%-kal a rugalmassági modulus és 5,4%-kal a hajlítófeszültség 4 mm keresztfej-elmozdulás esetén. A hajlíthatósági együthtató α -értéke 4,2%, a legnagyobb alakváltozás α -értéke a négypontos hajlítóvizsgálat során 7,6%.

5. tézis: Különböző tömörítési sebességek hatása és az álgesztes faanyag alkalmazhatósága

A különböző hosszúságú minták rostirányú tömörítési sebességének összehasonlításához a relatív tömörítési sebesség bevezetésének szükségességét állapítottam meg [%/min], ami alapvető mértékegységek alkalmazásával fejezi ki, hogy egységnyi idő alatt egységnyi hosszon mennyit rövidül a faanyag. Bizonyítottam, hogy a túl alacsony sebességű tömörítés éppúgy rontja a kihozatalt, mint az álgeszt. Makroszkopikusan megjelenő hiba esetén mindig az álgesztes rész károsodik először és a legtöbb esetben bélsugarmenti repedések figyelhetők meg (Báder és Németh 2017e).

A kutatásokhoz használt laboratóriumi berendezésnél a 20-25%/min relatív tömörítési sebességet alkalmaztunk, mivel alacsony sebességeknél (1,5%/min) magas volt a bükk és tölgy minták hibáinak száma. 75 db légköri nyomáson telített, vízgőzben lágyított mintát 20-50%/min sebességgel préselve 98,6%-os lett a kihozatal.

A tipikus fahibák (göcsösség, ferdeszálúság, stb.) elfogadhatatlanok a rostirányú tömörítés szempontjából, azonban az egészséges álgeszt megengedhető, bár rontja a kihozatalt. Ha álgesztesség miatti hiba fordul elő, akkor a legtöbb esetben repedések jelennek meg a bélsugarak mentén. Mindig az álgesztes rész károsodik először, mely után a roncsolódás továbbterjedhet a nem álgesztes területre. A rostlágyítás módja nem volt hatással az álgesztes rész tönkremenetelére.

6. tézis: Kémiai vizsgálat, a funkciós csoportok változásai

A mintáim infravörös spektroszkópos vizsgálata alapján a kezeletlenhez képest a gőzölt, a tömörített és a tömörített-hosszan fixáltakban megváltoztak a hidroxil-csoportok, valamint a poliszacharidok és a lignin C-O és C-H funkciós csoportjai. A spektrumok alapján minden bükk mintacsoport különválasztható, tölgy esetében azonban csak a hosszán fixált csoport. A bükk faanyag érzékenyebben reagál az elvégzett modifikációkra (Báder és tsai. 2020).

A kutatás célja a bükk és tölgy fajok kémiai változásainak feltárása volt, amelyeket a termo-hidro-mechanikai kezelés okozott. A mintákat a modifikáció különböző szakaszaiban diffúz visszaverődést mérő tartozékkal (DRIFT) felszerelt Fourier-transzformációs infravörös spektroszkóppal vizsgáltuk. Az infravörös spektrumok részletes értelmezése lehetővé tette a faanyag higroszkóposágában bekövetkező változások azonosítását, valamint az alkalmazott kezelések által a faanyag polimer mátrixában lévő szerkezeti elemek közötti kapcsolat változásának feltárását.

7. tézis: Rostirányban tömörített faanyag dimenzió-stabilitásának javítása

Meghatároztam, hogy a rostirányú tömörítés megtöbbszörözi a faanyagok nedvességtartalom-változás hatására bekövetkező rostirányú méretváltozását. Bükk faanyagot tejsavval telítve, majd a tejsavat *in situ* polimerizálva sikerült jelentősen javítanom a dimenzió-stabilitást, miközben minden alkotó biológiai úton lebomló maradt. A tömörített bükk faanyag tejsavas kezelése után annak rostirányú dagadása és zsugorodása megközelíti a kezeletlen faanyagét, míg a keresztirányú és térfogati dimenzióstabilitási értékek több, mint duplájukra javultak (Báder és Németh 2019b).

Ha a formára alakított és leszárított tömörített faanyagot újra megnedvesítjük, az a memória-hatás miatt részben visszanyeri eredeti alakját. Rostirányban tömörített faanyagok esetében a rostirányú méretváltozás 4-6-szoros értéket vesz fel, ami komoly dimenzióstabilitási problémát jelent. A rostirányban tömörített faanyagot, mint bioterméket, célszerű szintén természetesen lebomló anyagokkal, környezetbarát megoldásokkal tovább modifikálni. Tölgy és bükk faanyagot, valamint L(+)-tejsav-monomer vizes oldatát (töménység $\geq 90\%$) használtuk a kísérletekhez. A monomer-oldatból főzéssel eltávolítottuk a vizet, majd oligomerizáltuk a monomert. A minták vákuumos telítését követően $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten polimerizáltuk a faanyagba juttatott tejsavat. Tölgyek esetén a telítés nem volt megoldható. A telítés hatására bekövetkezett teljes tömegnövekedés tömörítetlen bükkfa esetében 73% , míg tömörített bükkfa esetében 64% volt. A nagymértékű tejsavfelvétel hatására a tömörítetlen bükk minták méretei $13,5\%$, $4,6\%$ és $0,2\%$ -kal növekedtek, míg a tömörített faanyag méretei $13,6\%$, $4,9\%$ és $1,1\%$ -kal (húrirány \times sugárirány \times rostirány). A természetes bükk faanyag tejsavas kezelése sikeres volt, a jövőben akár kezeletlen, vagy egyéb eljárással modifikált, telíthető faanyagok dimenzióstabilitásának javítására is alkalmazható lesz.

A SZERZŐ DISSZERTÁCIÓHOZ FELHASZNÁLT PUBLIKÁCIÓI

- Báder M (2015a) Faanyag rostirányú tömörítésével kapcsolatos elméleti és gyakorlati kérdések áttekintése - 1. rész: Az alapanyagok és előkészítésük, a tömörítés elmélete. *Faipar* 63:1–9.
<https://doi.org/10.14602/WOODSCI.2015.1.8>
- Báder M (2015b) Faanyag rostirányú tömörítésével kapcsolatos elméleti és gyakorlati kérdések áttekintése - 3. rész: A tömörített fa mechanikai tulajdonságai, felhasználási lehetőségei. *Faipar* 63:52–65.
<https://doi.org/10.14602/WOODSCI.2015.2.53>
- Báder M, Németh R (2016) The solid wood crushing's conditions. In: Teischinger A, Németh R, Rademacher P, Bak M, Fodor F (eds) *Eco-efficient resource wood with special focus on hardwoods*. Nyugat-magyarországi Egyetem, p 120
- Báder M, Németh R (2017a) Faanyagok rostirányú tömörítésének kísérleti körülményei - 1. rész. *Gradus* 4:403–411
- Báder M, Németh R (2017b) Hygroscopicity of longitudinally compressed wood. *Acta Silv et Lignaria Hungarica* 13:135–144. <https://doi.org/10.1515/aslh-2017-0010>
- Báder M, Németh R (2017c) Faanyagok rostirányú tömörítésének kísérleti körülményei - 3. rész. *Gradus* 4:419–425
- Báder M, Németh R (2017d) Mechanical characterisation of accordionised wood, effect of relaxation conditions. *Pro Ligno* 13:63–70
- Báder M, Németh R (2017e) Faanyagok rostirányú tömörítésének kísérleti körülményei - 2. rész. *Gradus* 4:412–418
- Báder M, Németh R (2018a) The effect of the relaxation time on the mechanical properties of longitudinally compressed wood. *Wood Res* 63:383–398
- Báder M, Németh R (2018b) Production technology and properties of longitudinally compressed wood. In: Župčić I, Španić N (eds) *Proceedings of the 29th International Conference on Wood Science and Technology*. University of Zagreb - Faculty of Forestry, Zagreb, Croatia, pp 35–43
- Báder M, Németh R (2018c) The effect of the rate of longitudinal compression on selected wood properties. *Acta Silv et Lignaria Hungarica* 14:83–92
- Báder M, Németh R (2019a) Moisture-dependent mechanical properties of longitudinally compressed wood. *Eur J Wood Prod* 77:1009–1019.
<https://doi.org/10.1007/s00107-019-01448-1>
- Báder M, Németh R (2019b) Hosszirányban tömörített faanyagok kezelése tejsavval. *Gradus* 6:59–66
- Báder M, Németh R (2020) Spring-back of wood after longitudinal compression. In: 6th International Conference on Environment and Renewable Energy (ICERE). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 505:012018. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/505/1/012018>

- Báder M, Németh R, Ábrahám J (2015) Faanyag rostirányú tömörítésével kapcsolatos elméleti és gyakorlati kérdések áttekintése - 2. rész: Történelem és szabadalmak. A tömörítési folyamat tulajdonságai és a tömörítést követő eljárások. *Faipar* 63:10–20. <https://doi.org/10.14602/WOODSCI.2015.1.8>
- Báder M, Németh R, Konnerth J (2019) Micromechanical properties of longitudinally compressed wood. *Eur J Wood Prod* 77:11. <https://doi.org/10.1007/s00107-019-01392-0>
- Báder M, Németh R, Sandak J, Sandak A (2020) FTIR analysis of chemical changes in wood induced by steaming and longitudinal compression. *Cellulose* 27:6811–6829. <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03131-8>
- Báder M, Radim R (2018) Combined longitudinal and transversal compression of beech wood. In: Németh R, Teischinger A, Rademacher P, Bak M, Fodor F (eds) *Hardwood Conference Proceedings Volume 8*. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron, pp 46-47
- Rademacher P, Báder M, Németh R, Rousek R, Paril P, Baar J, Hornicek S, Dejmal A, Dömeny J, Kúdela J, Kutnar A, Neyses B, Sandberg D (2017) European co-operation in wood research from native wood to engineered materials, Part 2: Densification modification in product development. In: Gurau L, Campean M, Ispas M (eds) *Proceedings of the International Conference “Wood Science and Engineering in the Third Millenium.” “Transilvania” University of Braşov, Braşov, Romania*, pp 469–478

Báder Máttyás további publikációi megtalálhatók az MTMT adatbázisban:
<https://m2.mtmt.hu/gui2/?type=authors&mode=browse&sel=authors10049231>