

OTDK dolgozat

Sajdik Tamás

2022.11.28.

Soproni Egyetem

Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar

Faipari és Műszaki Intézet

Rostirányban tömörített faanyag nyúlási tartalékának bizonyítása húzóvizsgálatokkal

Konzulens:

Dr. Báder Mátyás
laboráns

OTDKdolgozat készítője:

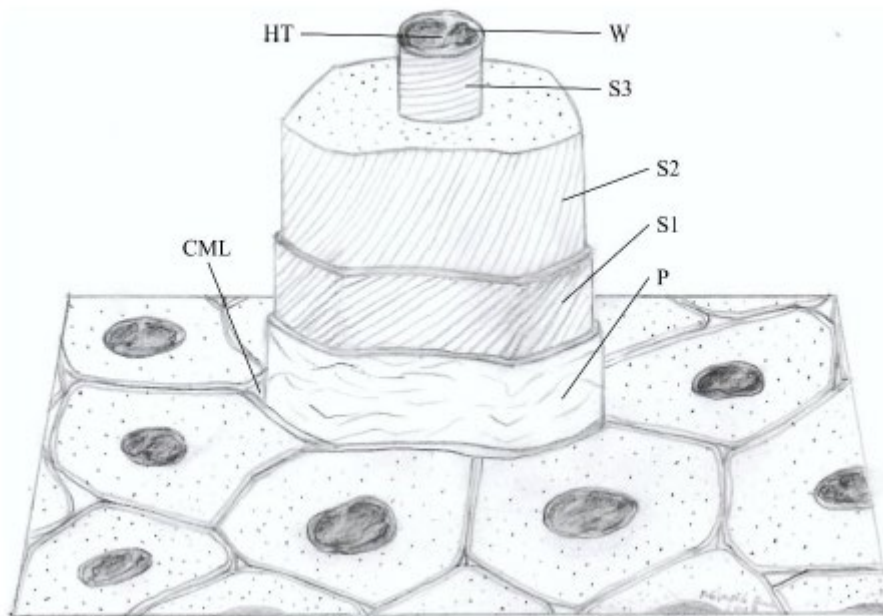
Sajdik Tamás
faipari mérnök hallgató

Tartalomjegyzék

Bevezetés és célkitűzés	4
Irodalmi áttekintés	6
Rostirányú tömörítés fejlődése	7
Tömörítésre alkalmas fafajok ismertetése	11
Minőségi feltételek	14
Nedvességtartalom befolyása a tömörítés során.....	15
Eljárás folyamatainak ismertetése	15
Rostlágítási folyamat.....	15
Tömörítés rostirányban.....	17
Utókezelése a tömörített faanyagának.....	17
Rostirányú tömörítés során mért saját adatok feldolgozása	18
Összefoglalás.....	22
Irodalomjegyzék.....	23

Bevezetés és célkitűzés

A faanyag, mint természetes kompozit, már az ősidők óta fontos alapanyaga az emberiségnek. Három fő alkotó elemből rendelkezik, cellulózból, ligninből és hemicellulózból. Mielőtt rátérnénk a rostirányú tömörítésre, fontos tisztázni a faanyag általános szerkezeti felépítését, sejteinek összetételét. A sejtek általában több sejtfalból épülnek fel, a külső falat elsődleges sejtfalnak hívják, míg az utána következő rétegeket másodlagos sejtfalnak szokás nevezni, azonban mivel ez három rétegű, így a külön jelzéseke különböztetjük meg őket (S1, S2, S3) (1. ábra).



1. ábra A sejtfal felépítése (Németh Anna grafikája; forrás: Báder 2021)

A sejtek felépítése mechanikai szempontból nagyon fontosak, hiszen szilárdság egy meghatározó tényező a fa felhasználási területeinél. A sejtek hosszúka felépítésűek, azokat a sejteket, amelyek a faanyag szilárdságát biztosítják, farostoknak nevezzük. Faanyag tekintetében két nagy csoportot lehet megkülönböztetni: gesztet és szijácsot. A geszt a faanyag belső, halott része, melynek extraktanyag tartalma rendkívül magas, így ez biztosítja a

megfelelő szilárdságot. Azonban a halott sejtek köré kellenek az élősejtek is, melyek biztosítják a biológiai életét a fának. Ezt az éltető funkciót látja el a szijács, melyben az edények és az edénykék szolgálnak víz és tápanyag szállító csatornaként. Azonban fontos megemlíteni, hogy szerkezeti felépítésükről eddig általánosságban volt szó, de ezek a tulajdonságok fafajonként eltérőek. Az eltéréseknek köszönhetően többféle ágazatban lehet őket alkalmazni. A faanyagmodifikáció egy nagyon elterjedt tudományágazat napjainkban. Célja, hogy bizonyos fajok adott tulajdonságait javítsák, illetve növeljék, lehetővé téve a szélesebb körű felhasználhatóságot.

Dolgozatom témája is egy modifikációs eljárást dolgoz fel, mely a rostirányú tömörítés köré épül. A modifikációs eljárás során a faanyag sokkal jobban hajlíthatóvá válik, melynek köszönhetően a hajlításhoz kifejtett erő is csökken. A témakörön belül vizsgálom a rostirányban tömörített anyagok nyúlási tartalékát, melyeket majd húzóvizsgálatoknak fogok alávetni.

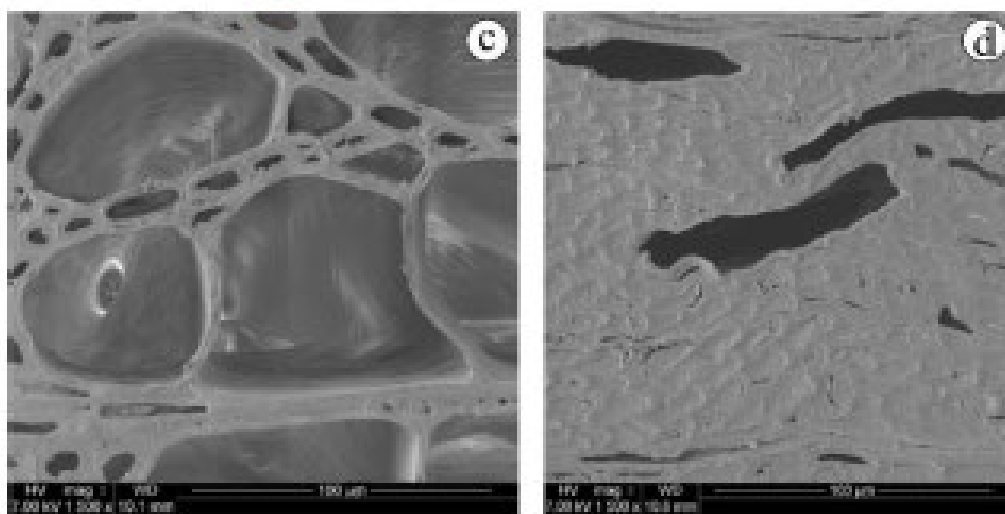
A témaválasztáskor fontos tényezőnek számított, hogy egy olyan kutatási területet, illetve témakört lehessen feldolgozni, ami hiánypótló kutatásnak számít. A faanyag egy inhomogén szerkezetű természetes anyag, melynek sejtszerkezete többretegű, összetett, így számos lehetőség áll a rendelkezésre, hogy modifikációs eljárásokat lehessen rajta végrehajtani. A faanyag sokoldalúságának köszönhetően a rostirányú tömörítéséről (azaz hajlíthatóvá tételéről) már számos kutatási beszámoló készült különböző mechanikai vizsgálatok kapcsán. Azonban a nyúlási tartalék bizonyítása ismeretlen területnek számít, nagyon kevés információ áll rendelkezésre róla, javarészt feltételezések és következtetések. Ezek egyértelmű tisztázására irányul a kutatásom.

A rostirányban tömörített faanyag a kezelés hatására valamelyest veszít eredeti hosszából. Számos folyamat játszódik le rostirányú tömörítés közben, ennek megfelelően számos elmélet látott napvilágot a jelentősen javuló hajlíthatóság magyarázatára. Az elsődleges elmélet, hogy a tömörítés során a sejtfaalak meggyűrésével a faanyagban nyújtási tartalék keletkezik, vagyis a gyűrött sejtfaalak később képesek kiegyenesedni (első megjelenései: Hanemann 1920, Vorreiter 1949). Ez azért fontos, mert a faanyag tönkremenetele hajlítás során jellemzően a húzott zónában következik be (szakadás), a faanyag csekély mértékű rostirányú nyújthatósága következtében. A rostirányú tömörítés tehát elvileg nyújthatósági tartalékot képez a faanyagban, aminek egyenes következménye a nagyobb mértékű hajlíthatóság. Tudomásunk szerint ezzel kapcsolatban a mai napig nem születtek kutatások, így a rostirányban tömörített faanyag húzóvizsgálati tulajdonságairól nagyon szűkös információmennyiség áll rendelkezésre. A kutatás elsődleges célja tehát e nyúlási tartalék elméletének igazolása,

bizonyítása, illetve a modifikációs folyamattal járó különböző anyagszerkezeti változások mechanikai hatásainak vizsgálata és összehasonlítása a kezeletlen faanyag mechanikai tulajdonságaival. Ebbe beleértendő a rostirányban tömörített faanyag különböző teszteredményeinek statisztikai összevetése, korrelációk keresése is.

Irodalmi áttekintés

Két nagy csoportot különböztetünk meg a tömörítési irány szempontjából. A tömörítést végezhetjük a rostokkal párhuzamosan, illetve a rostokra merőlegesen is (2. ábra). Az anatómiai irányok közötti különbség megmutatkozik a modifikálandó területekben is. Rostiránnyal párhuzamos tömörítésnél az anyag sokkal jobban hajlítható lesz, míg a rostirányra merőleges tömörítésnél a sűrűséget tudjuk növelni, ezáltal az anyag sokkal keményebb lesz.



2. ábra Bükk faanyag mikroszkópos képe keresztirányú tömörítés előtt és után (forrás: Báder és Rousek 2018)

A faanyag hajlítását, mint technológiát már az ókori Egyiptomban is alkalmazták. Akkoriban a faanyagot még csak gőzölés alá vetették, melynek következtében az anyag meglágyult és hajlíthatóvá vált. Ez tette lehetővé a könnyebb alakváltoztatást az anyag törése nélkül. Miután beállították a megfelelő formára, hűtés és szárítás segítségével véglegesítették a változást, minimális visszaváltozással. A módszert napjainkban is előszeretettel alkalmazzák, azonban a

gőzöléses technológia nagyon körülményes és csakis nagyipari sorozatgyártásban gazdaságos (Kollman, 1955). Ennek ellenére fejlesztettek olyan rostlágyítási módokat is, melyeket Kollman szintén megemlít a tanulmányában. Léteznek olyan főző módszerek, ahol a faanyagot timsóban, vagy ammónium oldatban gőzölik.

Rostirányú tömörítés fejlődése

Ezt a technológiát először a Német Birodalomban dolgozták ki 1917-ben, mely lehetőséget biztosított a faanyag szobahőmérsékleten történő hajlítására (Hanemann, 1917; 1. szabadalom). A módszer elősegítette a faanyag hajlítását különösen nagyobb erőigénybevétel nélkül is, továbbá szintén előnyt jelentett, hogy a tömörített anyagot nem kellett újra melegíteni az anyagváltozás eléréséhez. Fontos része volt az eljárásnak a tömörítés előtte főzés és gőzölés, melynek köszönhetően annyira felpuhultak a rostok, hogy ez lehetővé tette a könnyebb préselést. Az az anyag, amelyet tömörítettek, utána már bármilyen hőmérsékleten formázható maradt. A tömör faanyagot tovább tömörítése után hűtötték, majd pedig szárították, ennek köszönhetően már tovább feldolgozhatóvá vált és fel lehetett vágni deszkákra pallókra, egyéb fűrészárura. Mivel felvágott anyagok is megőrizték hajlíthatóságukat, így a hőmérsékleti szabályozásokat beiktató intézkedések hasznosnak bizonyultak. Az alkalmazott eljárások alapján kijelenthető, hogy ebben az esetben egy termo-hidormechanikus modifikációról van szó.

1917-ban megjelent szintén egy szabadalom a Német Birodalomban, mely már az előző szabadalmat fejlesztette tovább nagyipari előállításra (Hanemann, 1917; 2. szabadalom). Ebben a fejlesztésben a fixálási időt akarták kiváltani egy szorító eszköz segítségével. Hétköznapi esetben a préselés után az anyagot fixálódni hagyjuk a gép belsejében, hogy a folyamatok véglegesedjenek, azonban ilyenkor a gép nem alkalmazható további tömörítésre. A kifejlesztett eszköz segítségével fixált állapotban ki lehetett venni a gépből az anyagot, tartós fixálást biztosítva, majd így hűtötték és szárították. Eközben a gépben már elkezdődhetett a következő faanyag tömörítése. Sajnos a művelet annyira komplex volt, hogy az akkori technológia és a gyártási folyamatok nem tették lehetővé az elterjedését a faiparban. Ezt a típust 1926-ra továbbfejlesztették. Holzveredelung GmbH egy olyan gépet hozott létre, mely Hanemann előzetes kutatásin alapul, azonban ez már sikeresen beilleszthető volt az akkori ipari folyamatokba és valóban gyorsította a termelést. Egy olyan belső betétet dolgoztak ki, melynek köszönhetően préselés után

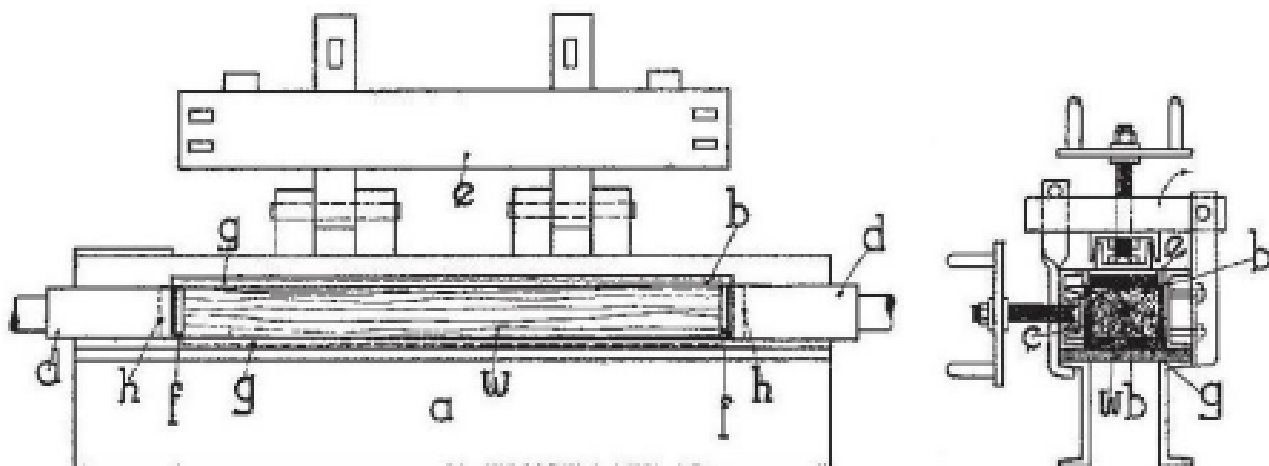
a faanyagot egyből ki lehetett venni a gépből, és fixált állapotban tartotta azt. Közben már lehetett újratölteni a tömörítő teret az újabb faanyaggal.

Az évtizedek alatt egészen napjainkig számos fejlesztést kezdeményeztek és hajtottak végre a szakértők. Például lehetővé tették a hengeres faanyag tömörítését (Thurn 1932). A Soproni Egyetemen 2015 óta lehetséges a rostirányú tömörítés. A méréseket és a tömörítő erőt egy Instron 4208 (Instron Corporation USA) univerzális anyagvizsgáló gép biztosítja. Maga a tömörítési folyamat egy kifejezetten erre a célra kifejlesztett gépegységben történik, melyet a dolgozat során a megfelelő fejezetben részletesen ismertetni fogok. A gép lehetőséget biztosít 20x20x200, valamint 20x30x200 mm nagyságú mintatestek rostirányú tömörítésére. Maximális tömörítési képessége lehetővé teszi, hogy a vizsgált anyagot hosszirányban rostokkal párhuzamosan az eredeti mérethez képest 33%-kal kisebb méretté préseljük. Oldalfalakba beépített fűtőszálak biztosítják a megfelelő hőmérsékletet, az oldallemezek pedig a megfelelő tömörítés elérésének érdekében képesek együtt mozdulni az éppen tömörödő faanyaggal (Báder és Németh 2017a, Báder és Németh 2019a).

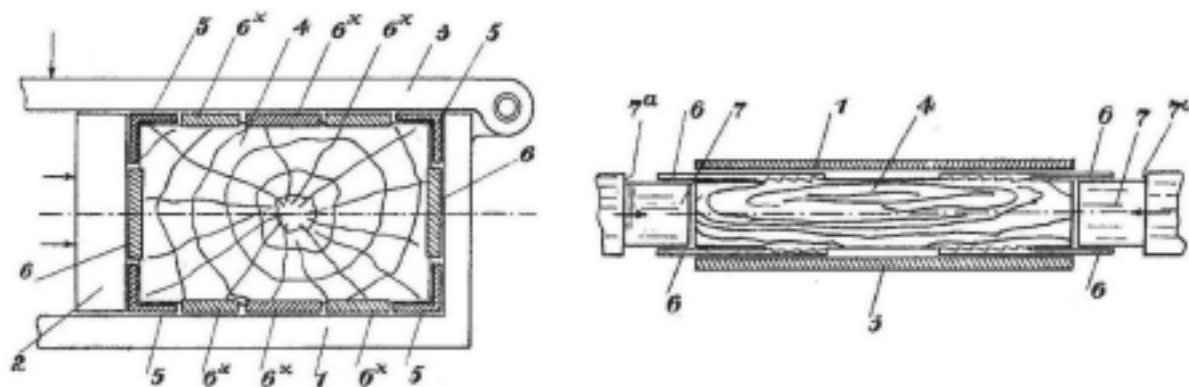
A rostirányban tömörített faanyag nagy előnye, hogy nyersanyag felhasználás szempontjából nagyon gazdaságos. Az íves bútorelemek többnyire ragasztott, vagy rétegelt-ragasztott elemekből készülnek, melyekhez sok ragasztóra és faanyagra van szükség. Ezzel szemben költséghatékony megoldást nyújt a rostirányban tömörített faanyag. A tömörített faanyag furnérja is sokkal hajlékonyabban viselkedik, így törés nélkül lehet alkalmazni bonyolult kialakítású, térgörbe felületeken is.

A rostirányban tömörített faanyag felhasználhatósági területeit tekintve rendkívül sokoldalú. Mint ahogy már említettem, kitűnően alkalmazható ívelt bútorelemek létrehozásához, de előszeretettel alkalmazzák még rezgéscsillapított szerszámnyélhez, íves képkeretnek, autók belső borításának, sportszergyártásnál, játékiparnál, valamint hangszergyártásnál is (Kollmann 1955, Bátori 2000, Báder és tsai. 2015, Vorreiter 1949).

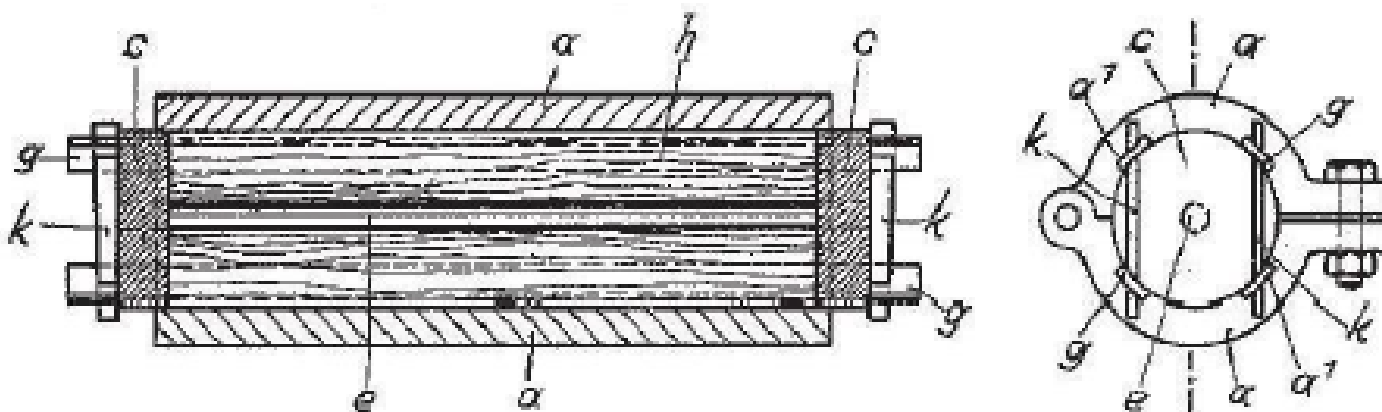
Sokoldalúan használható anyagról van szó, így ipari és tudományos alkalmazásokról is beszélhetünk. A tömörített faanyag esetében a gyártási túlméretezés elkerülhető, hiszen már a kész méretet is lehet törés nélkül hajlítani, mindezek mellett a szálirány végig követi az alakzatot, nincsenek oldalt kifutott szálak. A technológia hátránya azonban, hogy a hőkezelés hatására az extraktanyag tartalomnak köszönhetően számolni kell az elszíneződéssel. Így esztétikailag meg kell válogatni, hogy hol érdemes felhasználni.



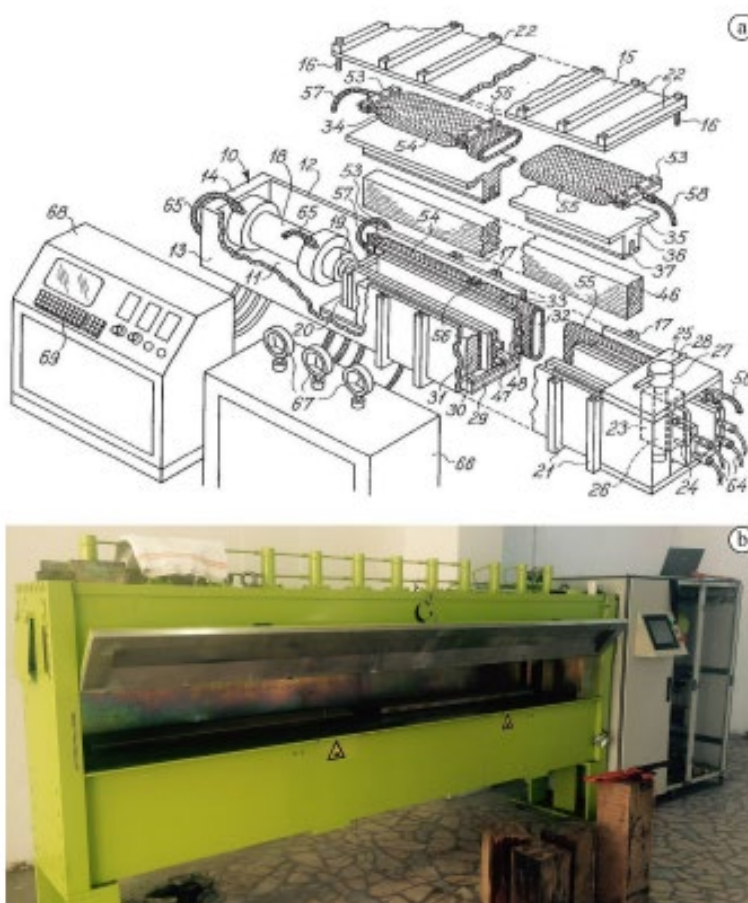
3. ábra Ipari felhasználásra gyártott első tömörítő gép (forrás: Holzveredelung 1926)



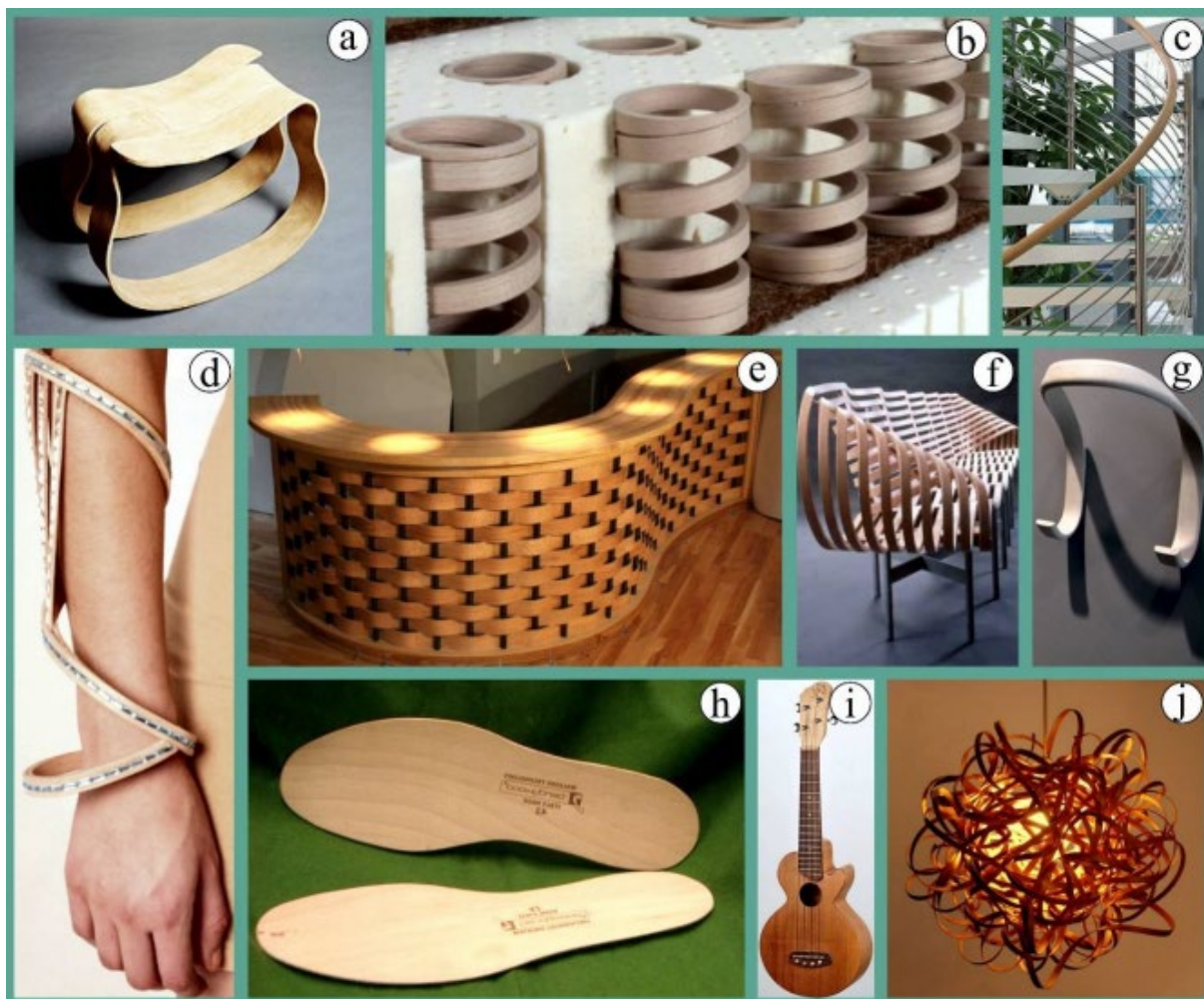
4. ábra Tömörítőgép metszetei (forrás: Magyar-Amerikai Faipar Rt 1927)



5. ábra Hengeres tömörítésre alkalmas befogás (forrás: Thurn 1932)



6. ábra Napjainkban használt tömörítő gép (forrás: Thomassen és tsai. 1990 és Compwood 2019a)



7. ábra Rostirányban tömörített faanyagból készített termékek (forrás: Báder 2021)

Tömörítésre alkalmas fafajok ismertetése

Előzetes tanulmányok és kutatások figyelembevételére alapján kijelenthető, hogy tömörítésre a faanyagok széles köre alkalmazható. Lombos fafajok választékban nagyon bőek, többségük kifejezetten alkalmas rostirányú tömörítésre (Kollmann, 1955), ilyen faj például a bükk (*Fagus sylvatica* v. *Fagus ssp.*), tölgy (*Quercus ssp.*, *Quercus petraea*, *Quercus velutina*), fekete cseresznye (*Prunus serotina*), kőris (*Fraxinus excelsior*, *Fraxinus americana*), valamint az ezüst juhar (*Acer saccharinum*) és a körtefa is. Különböző szakirodalmakban eltéréseket lehet olvasni, mikor az akác, a nyárf, vagy pedig a hársa iránt érdeklődünk. Ezeknek a fafajoknak a tömörítési tulajdonságaik kétségesek. A 8-12. ábrákon a minták elkészítését követjük nyomon

a rönktől a tömöríthető méretű és minőségű minták kialakításáig.



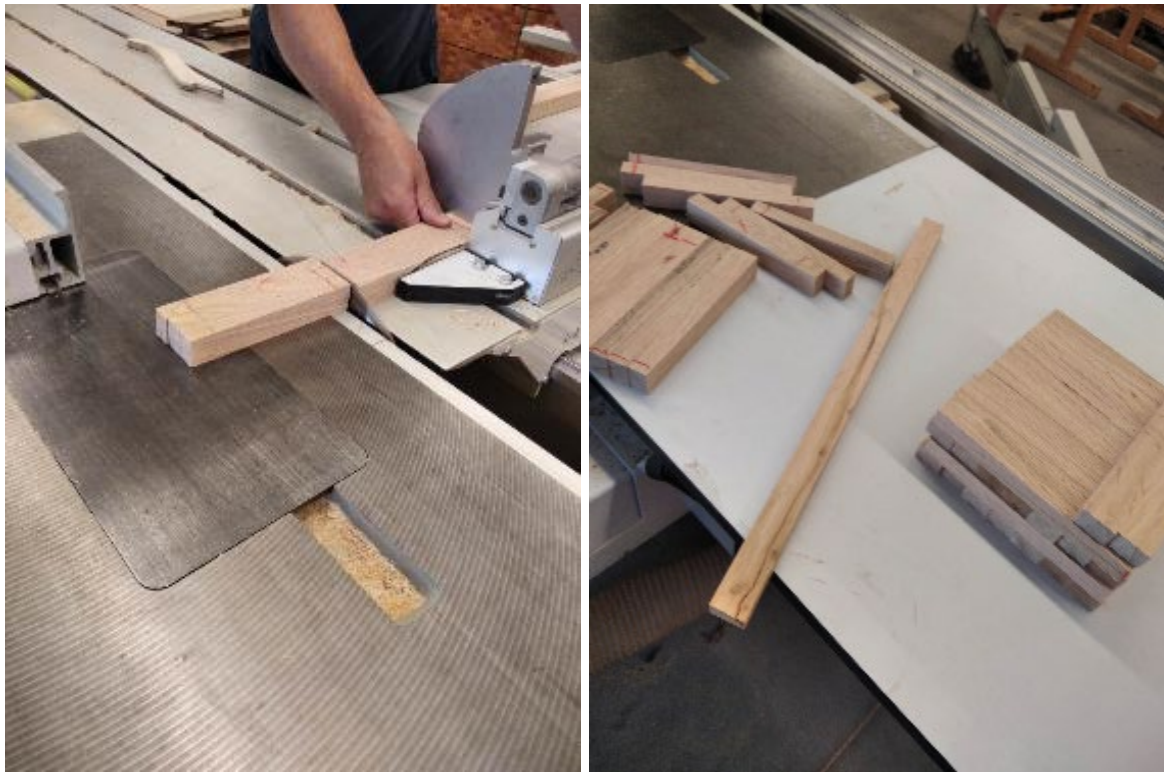
8. ábra Vizsgált tölgy mintatestek készítésének folyamata (rönkfelvágás)



9. ábra Vizsgált tölgy mintatestek készítésének folyamata (rönkből kivágott fűrészáruk és azok vastagsági gyalulása)



11. ábra Vizsgált tölgy mintatestek készítésének folyamata (Minták pontos méreteinek kialakítása és osztályozása)



12. ábra Vizsgált tölgy mintatestek készítésének folyamata (Minták pontos méreteinek kialakítása és a kész mintatestek csoportosítása)

Minőségi feltételek

Ahhoz, hogy a faanyag problémamentesen tömöríthető legyen, kifejezetten kell figyelni a felhasználandó anyag minőségére. Csakis egyenes növéssű fának a göcsmentes, keskeny évgyűrűs faanyaga alkalmazható tömörítésre. Az anyag rostjainak iránya párhuzamos kell, hogy legyen a munkadarab síkjával, ez azt jelenti, hogy maximum 7° -os ferdeszálúságot lehet elfogadni. Maga az anyag minősége sokkal fontosabb tömörítésnél, mint az, hogy milyen módszerrel vágták ki a rönkből, ebben az esetben ez a szempont elhanyagolható információ (Compwood 2008). Állgesztre hajlamos faanyagoknál külön kell figyelni arra, hogy a felhasználandó faanyagban nem lehet állgeszt, mivel az más mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik és rontana a végeredményen. Göcsmentesség szempontjából a nagy méretű göcsösség kerülendő, azonban a tűgöcsök megengedhetők a felületen, azonban ezek sem túl szerencsések, hiszen ezek a pontok veszik fel a legnagyobb feszültséget, ami azt jelenti, hogy húzóvizsgálatok esetén ezeken a gyengített keresztmetszeteken megy majd végbe a tönkremenetel. A minták kialakításánál fontos figyelembe venni az alaki tényezőt is, ugyanis

gőzölés és főzés hatására az anyag keresztmetszeti változásokon megy keresztül. Ez a nedvességtartalom változásának köszönhető. Ipari környezetben lehetőség adódik az alapanyagok csoportos tömörítésére is. Fontos azonban, hogy csakis egy fafajt lehet csoportosan tömöríteni, gépbe való elhelyezésük csakis, akkor lehetséges, ha egy anyagként viselkednek.

Nedvességtartalom befolyása a tömörítés során

A faanyag sejtszerkezetében 2 fajta vizet különböztetünk meg, szabad vizet, és kötött vizet. A szabad víz a sejtek belsejében, a sejtüregekben található meg, míg a kötött víz inkább a sejteknek a falán telepszik meg. Rosttelítettségi pontnak (fiber saturation point; *FSP*) nevezzük azt az állapotot, mikor a sejtüregekben már nem található meg a szabad víz, de a kötött víz a lehető legnagyobb mennyiségben halmozódik fel a sejtek falán. A rosttelítettségi pont fafajonként eltérő, bükk esetében 35,6%, míg a tölgy esetében 24,5%. Ha a fafajok különböző rosttelítettségi állapotait átlagolnánk, akkor nagyjából 30%-ot kapnánk. Ennek az értéknek köszönhetően a gyakorlatban szintén ezt az értéket alkalmazzák nagy mennyiségű faanyag esetén. Tömörítésre alkalmas faanyag többnyire élőnedves, de legalább 16%-os nedvességtartalommal kell, hogy rendelkezzen (Buchter, 1993). Egyéb szakirodalmak szerint a tömörítéshez alkalmas anyag nedvességtartalma akkor megfelelő, ha 2-8%-kal kisebb a rosttelítettségi pontnál (Kuzsella, 2011).

Eljárás folyamatainak ismertetése

Rostlágýtási folyamat

A modifikációs eljárás három fontos részből tevődik össze, rostlágýtásból, magából a tömörítésből és az utókezelésekből. A fa üreges sejtszerkezetének köszönhető, hogy a tömörítést roncsolásmentesen véghez lehet vinni, azonban mivel a kezeletlen anyag nagyon merev, a könnyebb alakíthatóság és a rostlágýtás érdekében mindig gőzölni/főzni kell előtte (13. ábra). Kémiai szempontból a megfelelő mennyiségű hő és nedvesség hatására

hemicellulózok és a ligninek változnak, ez lehetővé teszi, hogy növekedjen a faanyag mechanikai tulajdonságainak az ellenállóképessége. A cellulózrostok együtt merev szerkezetet alkotnak a sejtfalban, azonban a hő és a nedvesség hatására ezek lágyulnak (Winkler, 1999) és képesek elcsúszni egymáson a tömörítés és a hajlítás során. A faanyag gőzölés során nagyjából 100°C körül elkezd bomlani, kezdetben a hemicellulózok károsítása figyelhető meg, melynek köszönhetően a csökken a faanyag ellenállóképessége nyomással szemben, vagyis rostirányú tömörítésnél kifejezetten előnyös ez az állapot. Szakirodalmak szerint a faanyag átmelegedésének irányértéke 2 perc/mm (Stevens és Turner 1948, Peres és tsai. 2013), ezt az értéket figyelembe véve kell megválasztani tömöríteni kívánt keresztmetszettől függően a megfelelő gőzölési időt.

Összességében kijelenthető, hogy a faanyagot tömörítés előtt a jobb alakíthatóság érdekében mindig gőzölni kell 80°C-100°C közötti hőmérsékleten, így megfelelő lesz a rostlágyítás mértéke a tömörítés elkezdéséhez.



13. ábra Gőzöléshez használt edény

Tömörítés rostirányban

Miután a rostlágyítási folyamat befejeződött, megkezdődhet a tömörítés. A tömöríteni kívánt testet behelyezik a tömörítőkamrába, ahol nagy nyomás segítségével a mintákat összepréselik, ilyenkor akár 33%-os méretcsökkentést is el lehet érni az anyag roncsolása nélkül. Fontos megemlíteni, hogy a 33%-os legnagyobb tömörítési értéket az általunk használt laboratóriumi tömörítő berendezés határozza meg.. Minden fafajnak megvan a tömöríthetőségi határa, melyet meghaladva az anyag már lényeges szerkezeti roncsoláson megy keresztül, így tönkremegy, hajításra nem lesz alkalmas. Korábbi, nem publikált kutatások alapján például tölgy esetében 21-23% a legnagyobb tömöríthetőségi arány a tönkremenetelig, míg bükk esetében akár a 30%-ot is elérheti. A vizsgálataim során a tömörítést 20%-os rostirányú méretcsökkenéssel végeztem el minden mintacsoportnál, ezzel garantálva a megfelelő tömörítést jelentősebb szerkezeti roncsolások nélkül. A tömörítési sebesség 25%/min volt,

A megfelelő préselési arány elérésekor megkezdődhet a fixálás, ahol az anyagot nyomás alatt kell tartani állandó méreten, míg annak belső feszültségei csökkennek és a maradandó rövidülése, valamint hajlíthatósága növekszik. Fontos megemlíteni, hogy minél több ideig végezzük a fixálást, annál kisebb lesz az anyag visszarugózása. Tehát a pontos tömörítési méret elérésének érdekében a fixálási időt a lehetőségekhez mérten minél hosszabb időtényezőre érdemes kalkulálni.

Utókezelése a tömörített faanyagnak

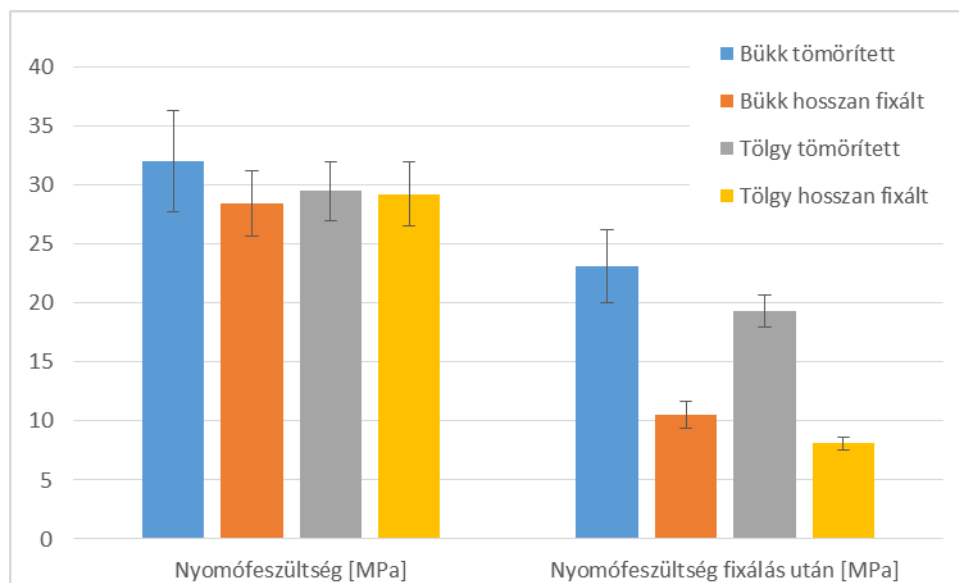
Miután kivesszük őket a tömörítő kamrából, megkezdődhetnek az utókezelési folyamatok. Mivel tömörítés előtt gőzölésnek kell alávetni, így magas nedvességtartalommal rendelkezik a folyamat befejezte után, ezért utókezelésként megemlíthetjük a következő lépést, a szárítást. Szárításra többféle módszert lehet alkalmazni, ennek kiválasztása a faanyag adott felhasználási területétől függően kell megválasztani. Fontos azonban megemlíteni, hogy a szárítás után a faanyag hajlíthatósága rohamosan romlik, ennek legfőbb oka a nedvesség csökkenése, melyet maga a szárítás eredményez. 0-5%-os nedvességtartalomnál gyakran előfordul, hogy a kezeletlen faanyagnál is ridegebb lesz a rostirányban tömörített faanyag. Összességében tehát megállapítható, hogy a szárítás, mint utókezelési folyamat záró véglegesítésként szolgál. A

tömörített anyagot a kívánt formára hajlítjuk, majd ezt az alakváltozást véglegesítjük a szárítással. Fontos azonban, hogy a hajlított anyagot a hajlítószablonra rögzítve kell szárítani, így biztosan nem fognak alakváltozások keletkezni a folyamat végeztével. Korábbi vizsgálatok kimutatták (Báder és Németh, 2019a), hogy a rostirányban tömörített faanyag hajlíthatósága akkor a legnagyobb, mikor rosttelítettséghez közeli állapotban van. Mint ahogyan már említettem, minden fafaj rosttelítettségi állapota különböző, azonban 20-35%-os intervallumról beszélhetünk, amit nagyobb mennyiségű faanyag kezelésekor általánosságban 30%-nak tekintenek.

A tömörített anyag hajlíthatósága megőrizhető, de ehhez megfelelő nedvességtartalmi állapot szükséges. Ez azt jelenti, hogy a megfelelő klimatikus feltételek betartása mellett a tömörített faanyagot nem fontos azonnal felhasználni, hanem tökéletesen lehet raktározni, ezzel megkönnyítve a nagy anyagfelhasználású gyárak sorozatgyártását.

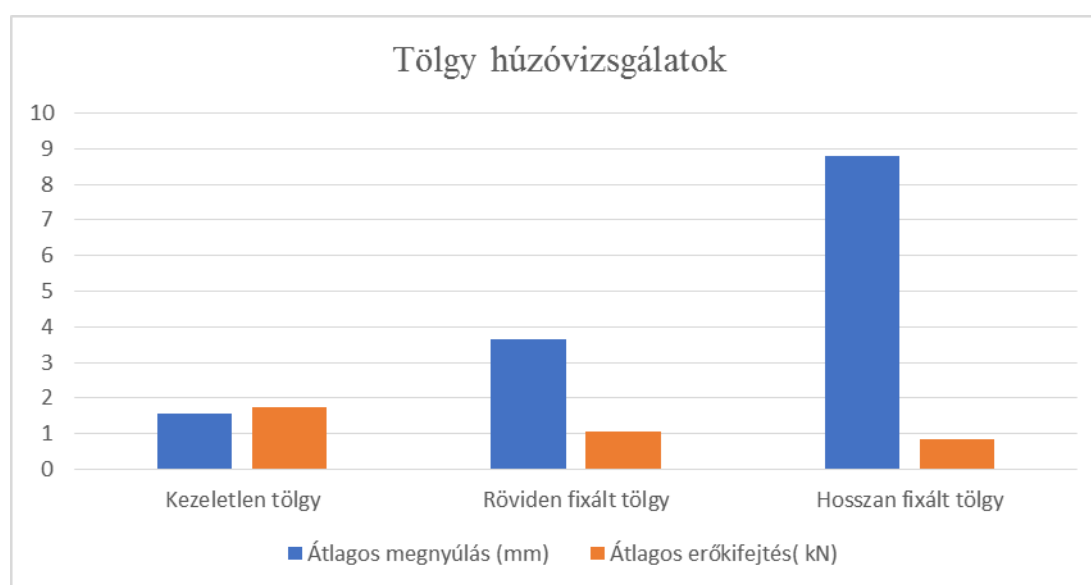
Rostirányú tömörítés során mért saját adatok feldolgozása

Az elvégzett tömörítésekre a bükk és a tölgy minták eltérő módon reagáltak. Az alábbi ábrán bemutatottak szerint a 20% mértékű tömörítést követően az 1 percnyi fixálás hatására a bükk minták nyomófeszültsége 72,3%-ra csökkent, míg tölgy mintáknál ugyanez 65,6% volt. A hosszú fixálás (3 órán keresztül összenyomva tartás) bükk esetében 37,1%-ra, míg tölgyenél 27,9%-ra csökkentette a nyomófeszültséget. Megjegyzendő, hogy a jelentős különbség a szobahőmérsékletűre hűlés következménye is. Egyúttal jelentősen megváltozott a faanyagok szerkezete mind a tömörítés, mind a hosszú fixálás hatására, amint az bemutatásra került már számos mikroszkópos elemzés során. A maradandó rövidülési értékeket elemezve elmondható, hogy a tölgyek minden esetben nagyobb alakváltozást szenvedtek, mint a bükkök. 20% összenyomás és rövid fixálás után 3-5% volt az alakváltozás, míg a hosszan tartó fixálás 12-18% rövidülését eredményezte a mintáknak. Ezek nagyon jelentős mértékű változások, melyek komoly anatómiai-fizikai-mechanikai tulajdonságváltozásokkal párosulnak. Erről számol be a 14. ábra, mely a tömörítés során létrejött nyomófeszültségeket és a fixálások végén mért nyomófeszültségeket mutatja be. Általánosságban elmondható, hogy az egy perces fixálás során a tömörítéskor létrejött nyomófeszültség harmada veszik el, míg a három órás fixálás a nyomófeszültséget lényegesen jobban, kétharmadával csökkenti.



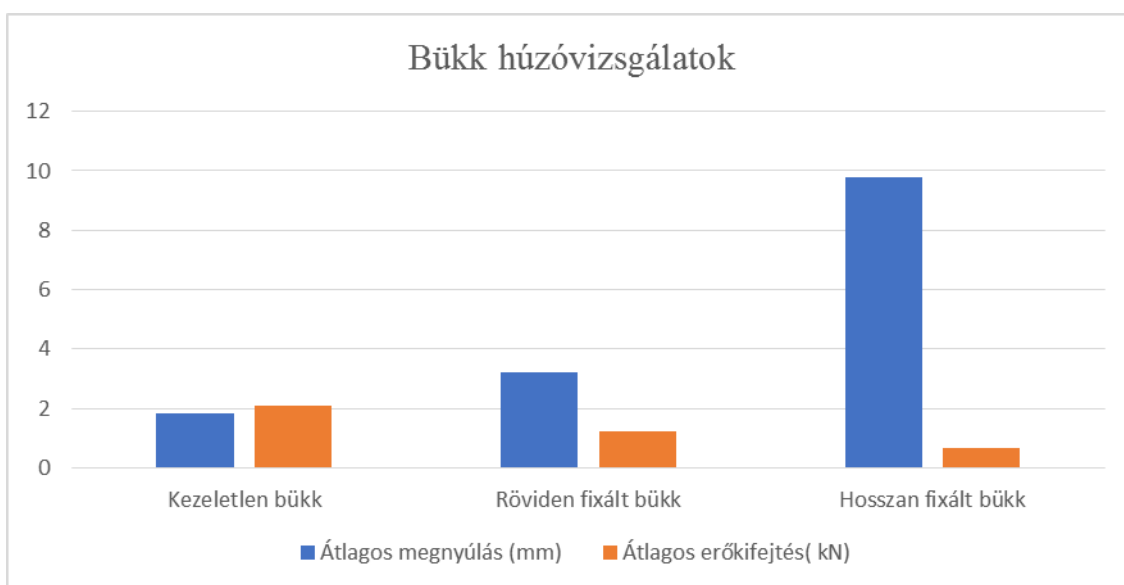
14. ábra Rostirányban tömörített bükk és tölgy minták nyomófeszültség-csökkenése a tömörítést követő fixálás közben

Mindkét fafajnál megfigyelhető, hogy a húzóvizsgálatok során fordított arányosan alakulnak a megnyúláshoz viszonyított húzási értékek. Ez azt jelenti, hogy a fixálási idővel fordított arányosságban változik a húzóerő nagysága egy adott mértékű megnyúláshoz. A hosszan fixált minták esetében, melyek 3 órán át voltak folyamatos nyomás alatt, sokkal kevesebb erő igénybevételével véghez tudjuk vinni a nyújtást (15-16. ábra).



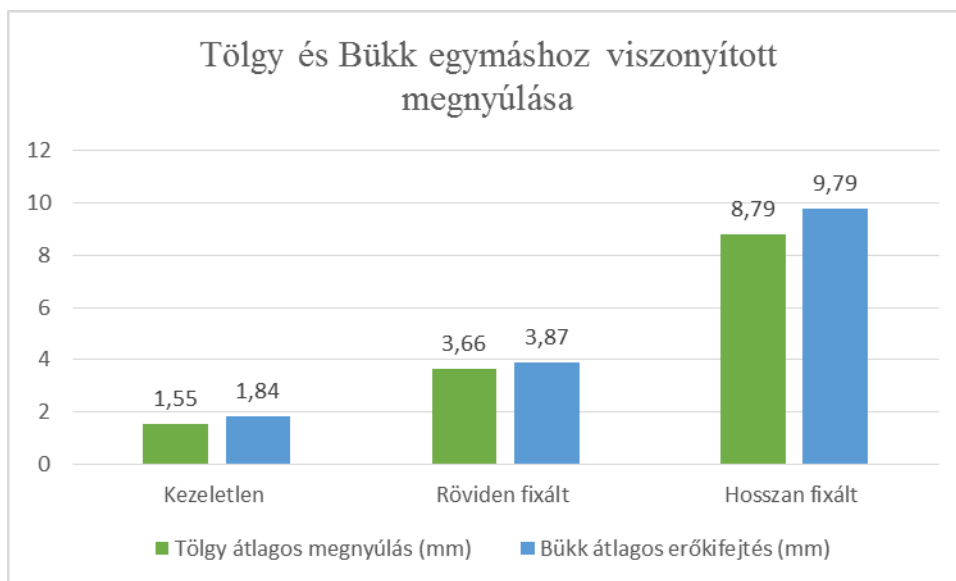
15. ábra Tölgy minták által szemléltetett fordított arányosság az átlagos megnyúlás és a

megnyúlást előidéző erőnagyság függvényében



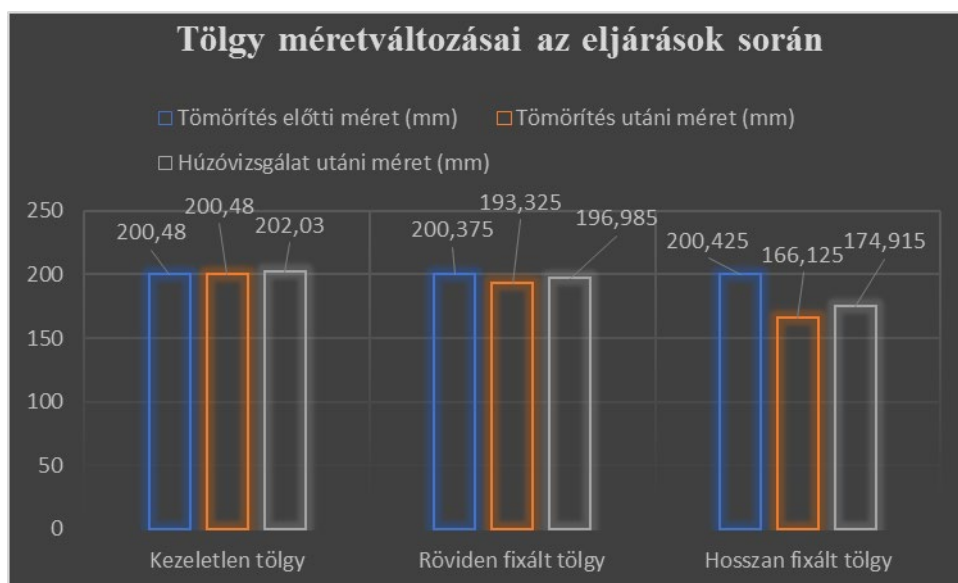
16. ábra Tölgy minták által szemléltetett fordított arányosság az átlagos megnyúlás és a megnyúlást előidéző erőnagyság függvényében

Összeségében megállapítható, hogy a bükk mind a három vizsgált állapotban sokkal jobban nyújtható anyag, mint a tölgy, mely a sejtszerkezeti felépítésének köszönhető (17. ábra). A tölgy egy ridegebb fafaj, ami a rostirányú tömörítés után is megmarad, azonban tartósságot tekintve sokkal időtállóbb, időjárásállóbb.

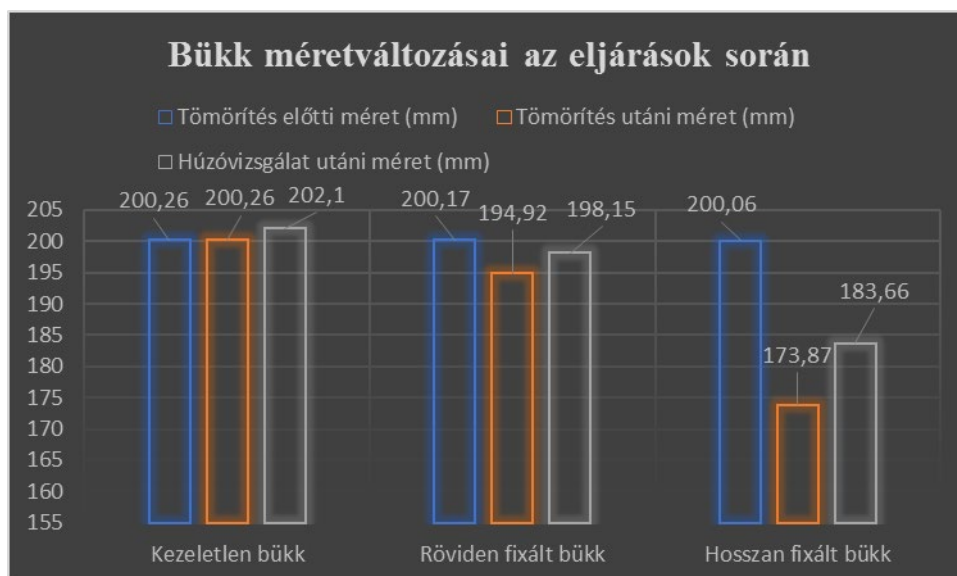


17. ábra Tölgy és bükk átlagos, egymáshoz viszonyított megnyúlása kezeletlen és fixált csoportok esetében

Mindkét vizsgált fafajnál megkülönböztethetünk három méretet: kezeletlen, röviden fixált és hosszan fixált csoportok esetében. Tökéletesen kimutatható, hogy a nyújtási mértéket figyelembe véve a hosszú fixálás bizonyult a leghatásosabb eljárásnak, hiszen a tömörített méretéhez képest ennél a csoportnál lehetett elérni a legnagyobb megnyúlást is (18-19. ábra).



18. ábra Tölgy méretváltozásai, különböző állapotokban



19. ábra Bükk méretváltozásai, különböző állapotokban

Összefoglalás

A tanulmány célja a rostirányban tömörített faanyagok nyúlási tartalék elméletének bizonyítása, illetve a modifikációs folyamattal járó különböző anyagszerkezeti változások mechanikai hatásainak vizsgálata és összehasonlítása a kezeletlen faanyag mechanikai tulajdonságaival. Ide értendő a rostirányban tömörített faanyag különböző teszteredményeinek statisztikai összevetése, korrelációk keresése is bükk és tölgy fafajok felhasználásával.

A fentiekben szemléltetett adatok és diagramok bizonyítékként szolgálnak a nyúlási tartalék létezésére, melynek ismerete fontos tényezőként szolgálhat a rostirányban tömörített faanyag további tudományos vizsgálatainál, valamint a gyakorlati, pl. bútorigipari alkalmazásánál, ahol íves elemeket készíthetnek belőle. A nyúlási tartalék figyelembevételével pontosabban kalkulálható a tömörített anyag méreteinek illetve hajlékonyságának változása, mely megkönnyíti majd a jövőben az íves elemek gyártását.

Irodalomjegyzék

- Ábrahám J, Németh R, Molnár S (2010) Thermo-mechanical densification of Pannónia Poplar. In: Proceedings of the final conference of COST Action E53: Quality control for wood and wood products, pp 282–292
- 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 (2021) A természetes faanyag tulajdonságainak módosítása termo-hidromechanikus és vegyi eljárásokkal. PhD disszertáció, Soproni Egyetem
- 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 (2018a) The effect of the relaxation time on the mechanical properties of longitudinally compressed wood. Wood Res 63:383–398
- Compwood Machines Ltd (2001) Advanced wood bending technology - Compressed hardwood for easy and cold bending. Slagelse, Denmark, 4 p
- Compwood Machines Ltd (2008) English manual. Slagelse, Denmark, 33 p
- Compwood Machines Ltd (2019a) FullSizeRender. <<http://compwood.com/wp-content/uploads/2016/04/FullSizeRender.jpg>> Megtekintve: 2019.02.03.
- Compwood Machines Ltd (2019b) The process. <<http://compwood.com/processen/>> Megtekintve: 2019.02.03.
- Hanemann M (1917a) Holzaufbereitungsverfahren. Deutsches Reich Reichspatentamt No. 318197
- Hanemann M (1917b) Holzaufbereitungsverfahren - Zusatz zum Patent 318197. Deutsches Reich Reichspatentamt No. 321629
- Hanemann M (1920) Processes for making wood everlastingly flexible. US Patent Office No. 1 457 974
- Holzveredelung Ltd (1926) Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von weichbiegsamen Holz. Deutsches Reich Reichspatentamt, No. 458923
- Ivánovics G (2006) Strength test of longitudinally compressed wood (Rostirányban tömörített faanyagok szilárdsági vizsgálata). In: Belina K (ed) AGTEDU 2006, College of Kecskemét, Hungary, pp 171–176
- Ivánovics G (2008) Fatömörítő célgép tervezése. Gép 59:56–59
- Ivánovics G (2012) A nyomott faanyag alakváltozási folyamata. Kézirat, College of Kecskemét, Hungary, 6 p
- Kollmann FFP (1936) Technologie des Holzes. Springer-Verlag, Berlin, Germany
- Kollmann FFP (1951) Technology of woods and wood materials. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Germany
- Kollmann FFP (1955) Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe, zweiter Band. Springer-Verlag, München, Germany
- Kollmann FFP, Coté WA (1968) Principles of Wood Science and Technology - I - Solid Wood. Springer-Verlag, New York
- Kuzsella L (2011) Rostirányú tömörítés hatása a bükk faanyag szerkezetére és mechanikai tulajdonságaira. PhD disszertáció, Miskolci Egyetem

- Kuzsella L, Bárczy P, Szabó I (2011) Ősi anyag új feldolgozása, avagy tömörített fából energiatároló rugó. *Bányászati és Kohászati Lapok* 144:40–41
- Kuzsella L, Szabó I (2006) A fa tömörítésének hatása a mechanikai tulajdonságokra. In: Bitay Magyar-Amerikai Faipari Rt (1927) Eljárás és berendezés hosszabb fahasábok állandó hajlékonnyá tételére. Magyar Királyi Szabadalmi Bíróság, No. 96736
- Sőregi R (2007) Vitorlášhajó kabinbelső kialakítása tömörített fa alkalmazásával. Diplomamunka, Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar
- Thomassen T, Ljorring J, Hansen O (1990) A method and apparatus for compressing a wood sample. World Intellectual Property Organization, No. WO91/02637
- Thurn A (1932) Verfahren zur Herstellung dauernd biegsamen Holzes. Deutsches Reich Reichspatentamt, No. 636232