

FAANYAGOK ROSTIRÁNYÚ TÖMÖRÍTÉSÉNEK KÍSÉRLETI KÖRÜLMÉNYEI – 1. RÉSZ

RESEARCH CONDITIONS OF THE WOOD'S LONGITUDINAL COMPRESSION – PART 1

Báder Mátyás ^{1*}, Prof. Dr. Németh Róbert ¹

¹ Faanyagtudományi Intézet, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar, Soproni Egyetem, Magyarország

Kulcsszavak:

rostirányú tömörítés
famodifikáció
álgeszt
nedvességtartalom
fahajlítás

Keywords:

longitudinal compression
wood modification
red heart
moisture content
wood bending

Cikktörténet:

Beérkezett: 2017. szeptember 13
Átdolgozva: 2017. október 5.
Elfogadva: 2017. október 26.

Összefoglalás

Az egyedi tervezésű laboratóriumi tömörítő berendezés használati paramétereit és eredményességét, az elkészített faminták lehetséges hibáit és főbb tulajdonságait mutatjuk be a cikksorozatban. A faanyag hosszirányú tömörítésének nehézségei összetettek, a megfelelő eredmény eléréséhez számos követelménynek kell eleget tenni. A sorozat első részében a tömörítendő famintákra vonatkozó kritériumokat, mint alapvető szükségletet, továbbá a lehetségesen bekövetkező hibajelenségeket és ezek okait mutatjuk be.

Abstract

In this article series we describe the parameters and the efficiency of the custom-designed laboratory compressing equipment, the prepared samples' possible failures and main features. The difficulties of the wood's longitudinal compression are complex, and a number of requirements must be met to achieve the correct result. In the first part of the series, the criteria for the wood samples to be compressed are presented as a basic need, as well as the possible occurring failures and their causes.

1. Bevezetés

A fa inhomogén anyag, egy cellulózrost-kompozit hierarchikus felépítéssel. Szálerősített kompozitként jó szilárdság-tömeg-ár arányokkal rendelkezik más természetes anyagokhoz képest [1]. Mechanikai szempontból a faanyag viselkedése a terhelés irányától függően változik [10].

A famodifikáció olyan folyamatként definiálható, amely javítja a tulajdonságokat új anyagot hozva ezzel létre, amely nem képvisel nagyobb környezeti veszélyeket az életciklusa végén, mint a kezeletlen faanyagok [5]. A rostirányú tömörítés egy termo-hidromechanikus modifikációs eljárás, amely a faanyag hosszirányú tömörítését jelenti forró, gőzzel telített körülmények között [12]. Az eljárás hajlítható faanyagot eredményez.

A 20% mértékben rostirányban tömörített nedvesen hajlítható faanyag rugalmassági modulusa a merevséggel együtt harmadára csökken a normál faanyaghoz képest, míg a hárompontos hajlító vizsgálatnál elviselt behajlás a többszörösére növekszik. A hajlítási viszonyszám 1/4 fölötti értéket érhet el. Bár a hajlítószilárdság a felére redukálódik, a törésig elnyelt energia többszörösére emelkedik, azaz a faanyag ridegsége csökken, a dinamikus törési

* Kapcsolattartó szerző. Tel.: +36 99 518 187; fax: +36 99 518 647
E-mail cím: bader.matyas@phd.uni-sopron.hu

munkaigény, a fajlagos ütőmunka és az ütő-hajlító szilárdság másfél-kétszeresére javul [2]. A nedvesen hajlítható tömörített fa a nyomóerő megszűnésével visszazugózik, és 3 - 10%-os maradandó rövidülést szenved. 20% fölötti nedvességtartalomnál megtartja az alakíthatóságát és csak a szárítás-hűtés után rögzül a forma [3]. Természetesen szárított állapotban is hajlékonyabb lesz a nedvesen hajlítható tömörített faanyag, mint a kontroll, de lényegesen kisebb lesz a kettő közti eltérés, mint nedves állapotban.

A szárazon hajlítható faanyagok a fent ismertetett tulajdonságai még inkább a könnyű hajlíthatóság irányába tolnak el. A két eljárás közti különbség mindössze annyi, hogy a modifikáció során a mintát a préselést követően összenyomva kell tartani hosszú időn, akár egy napon keresztül. Ennek hatására a maradandó rövidülés 15-19% lesz és szárított állapotban is lényegesen könnyebben hajlítható marad a kezeletlen mintákhoz viszonyítva. Az előállítása azonban a leírtaknak megfelelően lassú és emiatt drága, valamint felhasználás szempontjából az esetek többségében szükségtelen ezen változat alkalmazása. Emiatt a továbbiakban a nedvesen hajlítható hosszirányban tömörített faanyagokkal foglalkozunk.

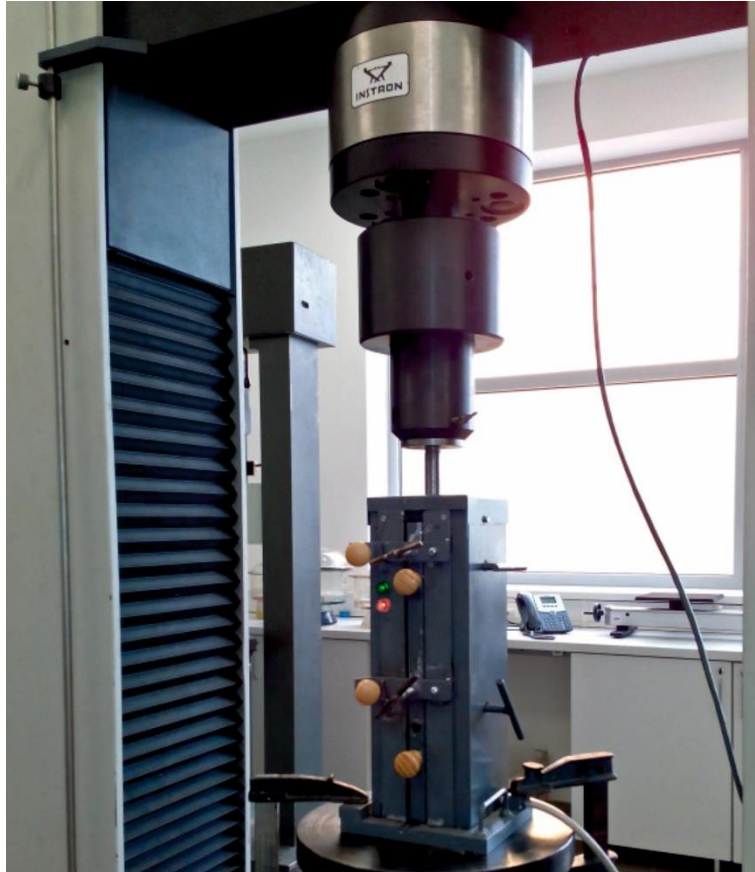
A tömörített faanyagok mindenkor lényegesen kisebb erővel, a repedések- és gyűrődések megjelenéséig nagyobb mértékben hajlíthatók a normál és a rostlágított faanyaghoz képest is. Előnye, hogy hideg állapotban szintén alakítható állapotban tartható, ezért készletezhető. Elsősorban a belsőépítészeti és a bútortermelés területén felhasznált anyag, amely a szokásos faipari műveletekkel megmunkálható. A longitudinálisan tömörített fa szárított állapotban megtartja a beállított alakját.

2. Vizsgálati módszer

Tekintve, hogy a hosszirányú tömörítés célja a természetes faanyag hajlíthatóvá tétele, jó minőségű alapanyagot igényel, így az egyenes növési, göcsmentes, keskeny évgyűrűs faanyagok legalkalmasabbak a tömörítésre [1]. Fafajok tekintetében szinte kizárólag a keménylombosok bizonyultak tömörítésre alkalmasnak [4]. Ezek közül két nagy csoportot vizsgáltunk, a gyűrűslikacsú kocsánytalan tölgyet (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), és a szörtlikacsú bükköt (*Fagus sylvatica* L.). Így a gyakorlatban is gyakran alkalmazott, valamint könnyen hozzáférhető és jól ismert fafajok tulajdonságai és ezek változásai kerülnek ismertetésre.

A hosszirányú tömörítés akkor valósítható meg, ha a munkadarab egyenes állapotban marad a préselési folyamat alatt és nem tud kihajolni. Teljes tönkremenetel – repedések és megrogyások létrejötte – nélkül a faanyag abban akkor nyomható össze, ha előzetesen a rostok lágyítása megtörtént. A nedves faanyag legalább 80 °C hőmérsékleten történő hidrotermikus kezeléssel lágyítandó. Ezt a hőmérsékletet tartani kell az anyag teljes keresztmetszetében a tömörítés közben. A nagyrészt cellulózból felépülő, szilárdítást biztosító farostok a hosszirányú préselés hatására elcsúsznak egymáshoz képest, roncsolódnak, gyűrődnek és ennek köszönhetően válik plasztikusabbá a végtermék [1]. Már 15% tömörítési arány elérésekor a faanyagban található nedvességszállító edények falának 98%-a meggyűrődik [9], míg az elérhető legnagyobb tömörítési fok 25 - 28% [6].

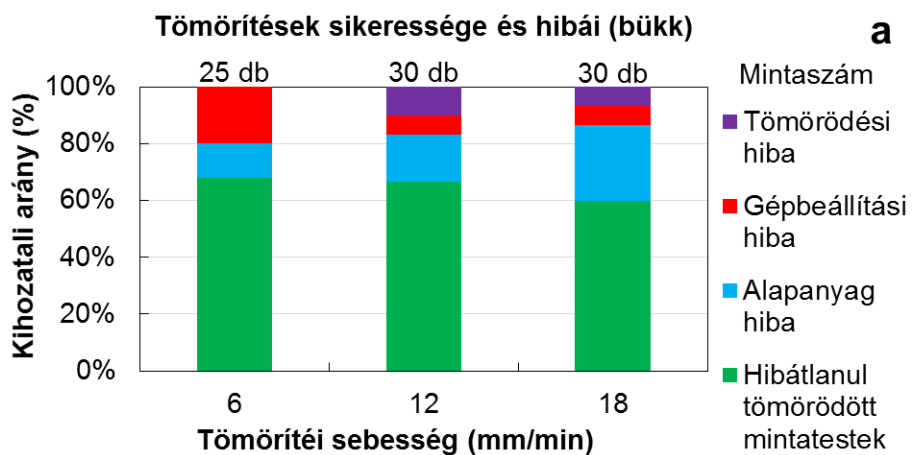
A tömörítő berendezésben a termosztát által tartott 90 - 100 °C belső géphőmérséklet megfelelő a behelyezett próbatest plasztifikált állapotban tartásához. A minták oldalirányú beszorítása szintén lényeges. A szemben álló oldalfalak egymástól vett távolsága és a szorítóerejük a tömörítő gépben az adott próbatesthez egyedileg beállítható (1. ábra). Ugyanazt az oldalirányú szorítóerőt alkalmazva a teljes hosszban, biztosítható a keresztmetszeti méretnövekedés elkerülése és a minta egyenes állapotban tartása. Ennek köszönhetően a préselés folyamán a mintadarab nem szenved kihajlás miatti törést. Az optimális tömörítési sebesség szintén egy lényeges és a kihozatalt lényegesen befolyásoló kérdés, mellyel a cikksorozat későbbi részében fogunk foglalkozni. A tömörítéshez szükséges nyomóerőt egy Instron 4208 (Instron Corporation, USA) típusú univerzális anyagvizsgáló gép biztosította az idő - nyomófej elmozdulás - nyomóerő értékek folyamatos mérésével és rögzítésével együtt.

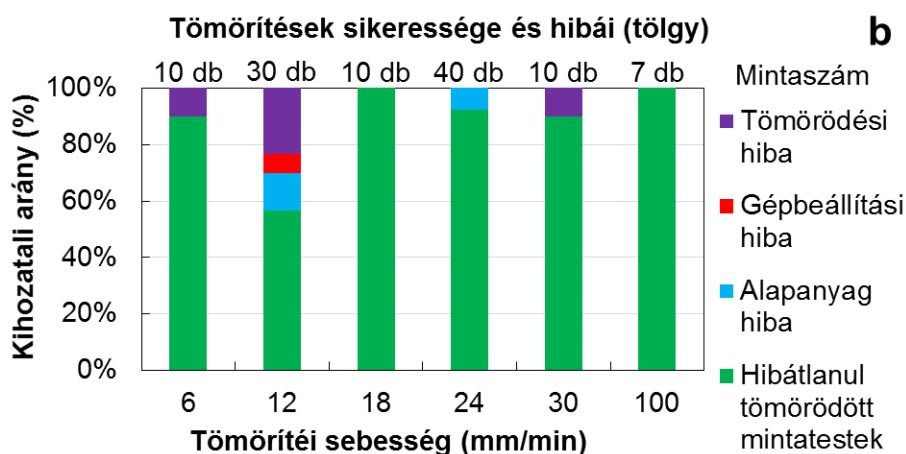


1. ábra. Laboratóriumi tömörítő-temperáló berendezés v2.1 az Instron anyagvizsgáló gépbe helyezve

3. Eredmények, tárgyalás - A tömörítendő faanyag minőségi követelményei

A 2.a és 2.b ábrán a hibátlan termékek és a hibák előfordulásának gyakorisága kerül bemutatásra.





2. ábra. Tömörítések kihozatala és hibatípusok előfordulása bükk (a) és tölgy (b) fafaj esetén – 1. kísérletsorozat

A 2.a és 2.b ábrán vizsgált mintákat és azok összes hibáját figyelembe véve, 5% tömörödöttségi hibahatárral számolva a kihozatal értéke 75,0% a teljes vizsgált mennyiségre. Fafajonként külön vizsgálva bükkre 64,7%, míg tölgyre 83,2% adódik. Utóbbinál az alacsony sebességű tömörítések adják a hibaszázalék jelentős részét, míg a bükknél az alapanyag- és gépbeállítási problémák. Az újabb kísérletek bizonyítják, hogy a gépbeállítási- és előkészítési hibákat szinte teljes mértékben sikerült kiküszöbölni. A felhasznált alapanyagban nem lehet jelentős mértékű ferdeszalúság, göcsösség, fagömbösség, valamint nem megengedettek a repedések és a görbeség. A szakirodalom szerint az érett fa (világos színű „geszt”) és a szijács egyaránt tömöríthető, megfigyeléseink ezzel egybevágó eredményeket adtak [1]. A vizsgálatok folyamán azonban még egy rendkívül lényeges hatásra derült fény: a bükk tömörítések anyaghibáit sok esetben az álgesztesedett részek okozták.

A 'Laboratóriumi tömörítő-temperáló berendezés v2.1' célgép megfelelő beállításait sikerült az 1. kísérletsorozat bükk próbaestjeinek tömörítése során kitapasztalni. Ennek eredményeképpen a tölgy mintatestek már lényegesen jobb kihozattalal készültek (1. táblázat), melyben szerepe volt a tölgy alapanyag magasabb nedvességtartalmának is. A bükk faanyagok a tárolás idején gyorsan elvesztették nedvességtartalmukat, ennek köszönhető a jelentős különbség.

1. táblázat. A tömörített próbatestek nedvességtartalma

Fafaj és a tömörítés eredménye	Nedvességtartalom [%]			Próbatest-szám [db]	Kihozatal [%]
	kiindulási	gőzölt	növekmény		
Bükk hibátlan	átlag	30,3%		55	64,7%
	szórás	5,4%	9,0%		
Bükk hibás	átlag	27,3%	40,2%	30	
	szórás	3,4%	7,5%		
Tölgy hibátlan	átlag	52,0%	54,6%	89	83,2%
	szórás	6,0%	4,5%		
Tölgy hibás	átlag	47,7%	51,5%	18	
	szórás	7,9%	5,7%		

A rosttelítettségi nedvességtartalom a faanyagban az az állapota, amikor a sejtek rostjai közti intermicelláris az interfibrilláris üregek kitágulnak és teljesen telítődnek vízzel, de a sejtüregek nem tartalmaznak szabad vizet. A bükknek irodalmi adatok alapján 35,6%, míg a tölgynek 24,5% a rosttelítettségi nedvességtartalma [11]. Ezzel összevetve az 1. táblázat adatait megállapítható, hogy a bükk minták nedvességtartalma jóval a rosttelítettségi pont alatt volt, míg a tölgyké

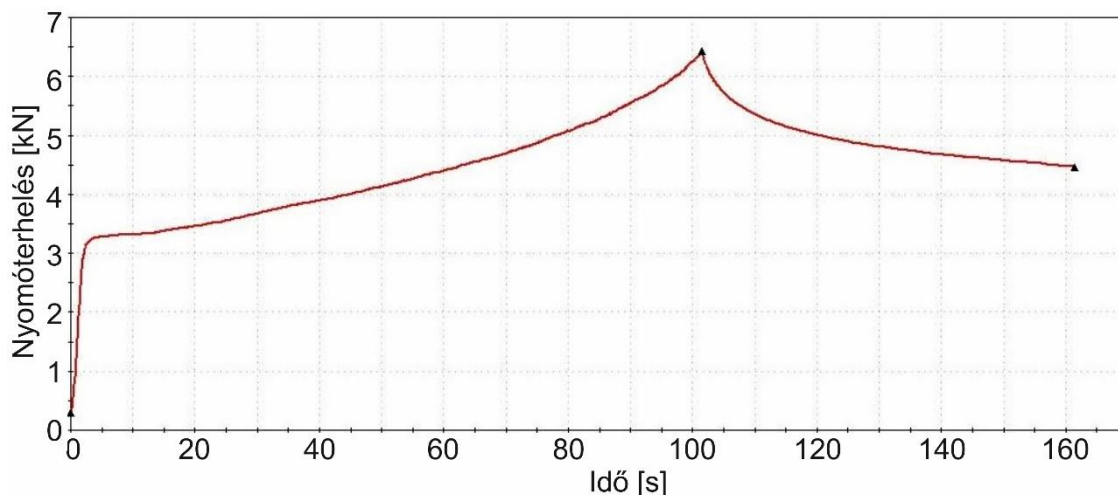
jelentősen meghaladta azt. Következésképpen rosttelítettségi határ fölötti kiindulási nedvességtartalmú faanyag szükséges a tömörítést megelőző gőzölés előtt.

A szabad szemmel is jól látható tömörítési problémák rostelválások, megrogyások, repedések lehetnek. A tönkrement minták repedései általában a bélsugarak mentén indultak meg (3. ábra).



3. ábra. Bükk minták bélsugár menti repedései

A 3. ábra mindkét fényképén megfigyelhetők a gyakran előforduló apró rostelválások, továbbá a szétnyíló bélsugárrepedések egy vonalba rendeződésével sokszor kezdődő megrogyások is láthatóvá válnak. Élettani szempontból nézve a fában a rostirányra merőlegesen futó, parenchima sejtekből felépülő bélsugarak és a rostirányban futó elemek találkozásánál gyengébb a szöveti szerkezet, ezért az alkalmazott erőhatások következtében e helyeken indul meg a repedés. Ivánovics [6] munkája szerint először mikro-repedések, mikro-elnyíródások és mikro-kihajlások keletkeznek a bélsugarak mentén, majd a terhelés növelésével a tönkremenetel továbbterjed fokozatosan az egész keresztmetszetre. Az Instron anyagvizsgáló gép segítségével folyamatosan kirajzolódó grafikonok hozzájárulnak az előforduló hibák kiszűréséhez. Az egyik a tömörítési méret-nyomóerő, míg a másik – mint a 4. ábrán látható példa is – az idő-nyomóerő kapcsolatot mutatja be. Amennyiben az ideális lefutású görbétől jelentősen eltér az aktuálisan tömörített mintatest grafikonja, vagy hirtelen változást mutat a préselés közben, az hibajelzésként értékelendő. Ekkor a préselési művelet meg kell szakítani a tömörítő gép épségének megóvása érdekében.



4. ábra. Hosszirányú tömörítésnek és az azt követő 1 perc relaxációnak egy ideális lefutású idő-nyomóerő grafikonja (Báder és Németh [4] alapján)

Ideális esetben a próbatest hosszú oldalai párhuzamosak a száliránnyal. A szakirodalom szerint a rostirányú tömörítéshez a próbatestben kicsi, legfeljebb $\beta=7^\circ$ mértékű rostkifutás megengedett [8] [13]. Az ideális 0° -os szög növekedésével együtt növekszik a rostok egymástól való elválásának, a harántrostszakadásnak a veszélye. A faanyag szilárdsági értékei általában rostirányban a legmagasabbak, rostra merőlegesen a legkisebbek [10], következésképpen hosszirányú terheléskor a rostkifutásnak jelentős anyaggyengítő szerepe van. A szög növekedésével az igénybevétel iránya egyre kevésbé esik egybe a faanyag rostirányával, megbontja a faanyag mechanikai egységét. Az előkísérletek során egyetlen alkalommal következett be a tönkremenetel közvetlenül egy $11,1^\circ$ ferdeszálúságú faanyag miatt (5.b ábra). Ez a próbatest ékként beszorulva a tömörítő berendezést is megrongálta. A 200 darabos értékelt mintaszámmal rendelkező 1. kísérletsorozathoz igyekeztünk a legjobb minőségű alapanyagokat felhasználni. 12 alkalommal történt hosszirányú hasadás, mely a nyomólap alól kilógó mintatestnek a nyomott és a nem nyomott részek közti különbségei miatt fordult elő (5.c ábra). Ekkor a hiba az éllel párhuzamos szálirány esetében is bekövetkezett, nem volt összefüggésben a ferdeszálúsággal, melynek átlagos mértéke $5,5^\circ$ volt. A kismértékű rostkifutás tehát nem befolyásolja a tömörítés eredményességét.



5. ábra. Példák a tömörített mintatestekre (a: alacsony tömörítési sebesség miatti elakadás okozta megrogyás; b: rostkifutás miatti repedés; c: nyomólapok alóli kilógás okozta hasadás; d: látszólag hibátlan, a mérések szerint azonban egyenetlenül tömörödött minta; e: megfelelően tömörödött próbatest jellegzetes felületi gyűrődésekkel; f: megfelelően tömörödött próbatest sima felülettel)

Az 5.e ábrán látható felületi gyűrődések bükk és tölgy fafajoknál egyaránt megtalálható. A vizsgálatba bevont 69 db megfelelően tömörödött bükk és 97 db tölgy mintából összesen 70 darabnak a sugárirányú oldala gyűrődött, tehát a bélsugarakkal párhuzamosan mutatkozott a hiba, míg ezek közül 3 alkalommal a húrirányú oldalon is megjelent hasonló deformáció. Kizárólagosan a húrirányban egyszer sem jelent meg felületi gyűrődés. Az átmeneti, köztes anatómiai irányban összesen 34 db minta károsodott (2. táblázat). A gyűrődés mértéke szintén ezt a tendenciát követte, miszerint a legerőteljesebb elváltozások sugárirányban jelentek meg.

2. táblázat. Felületi gyűrődések előfordulása

Fafaj	Mintaszám [db]	Gyűrődöttek aránya [%]	Gyűrődések mértéke [%]	Gyűrődések oldalanként [%]			
				sugárirány	köztes	húrirány	
Bükk	69	88,4%	47,5%	közepesen gyűrődött	66,7%	30,0%	3,3%
Tölgy	97	44,3%	9,3%	kissé gyűrődött	74,5%	23,4%	2,1%

A faanyag határfelületén a szövetállomány csak egy oldalról van rögzítve a belül elhelyezkedő anyagrészekkel ellentétben. A minta oldalai a megtámasztásnak nekinyomódnak, azon megtapadnak vagy hosszanti irányban elcsúsznak a tömörítés közben, így további összetett erőhatásoknak vannak kitéve. Ezek az okai a felületi rész gyakorta előforduló eltérő viselkedésének, továbbá a hosszmenti jelöléseknek – melyek kis benyomódások a felszínen – a szerkezetgyengítő hatása is szerepet kap a felületi gyűrődések megjelenésében [7]. Hibátlan

felület szintén létrejött 62 darab mintatestnél (37,3%), ahogyan az 5.f ábra demonstrálja. A próbatest gépben való elhelyezkedésétől független a gyűrődések megjelenése. Ipari szemszögből a felületi gyűrődés nem tekinthető tömörítési hibának, mert 1 - 2 mm mélységben lép fel a károsodás, ami a további feldolgozásnál mindenkor szükséges felületi megmunkálásokkal eltűnik a faanyagról.

A 2. ábra diagramjai alapján amennyiben az alapanyag hibáit és a gépbeállítási hibákat kiküszöböljük, akkor legalább 90%-os kihozattal lehet elérni. Az alkalmazott termo-hidromechanikus modifikáció szintjét figyelembe véve, amikor gőzöljük és hosszirányban 20% mértékben préseljük a faanyagot – ezáltal jelentős szerkezeti változtatásoknak tesszük ki – a feltüntetett kihozattal arányok jónak fogadhatóak el.

4. Következtetések

A bükk és a tölgy mintákon végzett kísérletek alapján a felhasznált alapanyagban nem lehet jelentős mértékű rostkifutás és göcsösség, továbbá nem megengedettek a repedések és a görbeség. A geszt és a szijács egyaránt tömöríthető. A nedvességtartalomnak a rosttelítettségi határt meghaladónak kell lennie. A berendezésnél egyazon oldalirányú szorítóerőt alkalmazva a teljes hosszban, biztosítható a keresztmetszeti méretnövekedés elkerülése és a préselés folyamán a mintadarab nem szenved kihajlás miatti törést.

A szabad szemmel is jól látható tömörítési problémák rostelválások, megrogyások, repedések lehetnek. A tönkrement minták repedései általában a bélsugarak mentén indulnak meg. A próbatest gépben való elhelyezkedésétől független a felületi gyűrődések megjelenése, azonban a legerőteljesebb elváltozások sugárirányban jelentek meg. A felületi gyűrődés 1 - 2 mm mélységgel nem tekinthető tömörítési hibának.

A laboratóriumi rostirányú fatömörítések során legalább 90%-os kihozattal lehet elérni az alapanyag- és gépbeállítási hibák kiküszöbölésével. Ez az arány az anyag modifikációs szintjének figyelembe vételével jónak fogadható el.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.2-16-2017-00018 („Termeljünk együtt a természettel - az agrárerdészet mint új kitörési lehetőség”) projekt támogatta.

Köszönet illeti Bolgár Tamást, a Metal Merchant Hungary Kft. vezetőjét a tömörítő berendezés tervezésében és kivitelezésében nyújtott segítségével és a Faipari Egyetemi Kutatásért Alapítványt a készülék elkészítéséhez nyújtott anyagi támogatásért.

Irodalomjegyzék

- [1] Ashby M. F. (2005) Materials selection in mechanical design Ed. 3. Butterworth-Heinemann, Oxford, United Kingdom, 603 p.
- [2] Báder M. (2015) Faanyag rostirányú tömörítésével kapcsolatos elméleti és gyakorlati kérdések áttekintése. I. rész: Az alapanyagok és előkészítésük, a tömörítés elmélete. FAIPAR 63(1): 1-9. (ISSN:0014-6897, DOI: 10.14602/WOODSCI.2015.1.8)
- [3] Báder M., Németh R., Ábrahám J. (2015) Faanyag rostirányú tömörítésével kapcsolatos elméleti és gyakorlati kérdések áttekintése. II. rész: Történelem és szabadalmak. A tömörítési folyamat tulajdonságai és a tömörítést követő eljárások. FAIPAR 63(1): 10-20. (ISSN:0014-6897, DOI: 10.14602/WOODSCI.2015.1.13)
- [4] Báder M., Németh R. (2016) The solid wood crushing's conditions. In: Teischinger A. et al. szerk. Proceedings of Eco-efficient resource wood with special focus on hardwoods, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 104-105. o.
- [5] Esteves B. M., Pereira H. M. (2009) Wood modification by heat treatment: a review. BioResources 4(1):370-404.
- [6] Ivánovics G. (2012) Nyomott faanyag alakváltozási folyamata. Kézirat, Kecskeméti Főiskola, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Gépszerkezettani és Terméktervező Tanszék, Kecskemét, 2-6. o.
- [7] Karl Á. (2015) Laboratóriumi fatömörítő berendezés használati paramétereinek optimalizálása. Szakdolgozat, Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar, Sopron, 104 o.
- [8] Kovács Zs., Süveg J., Papp T. (2006) Mechanikai megmunkálás II. - A fa hajlítása. Kézirat, NymE Faipari Mérnöki Kar, Sopron, 57-68. o.
- [9] 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.

- [10] Matti P. (2014) Ductility of Wood and Wood Members Connected with Mechanical Fasteners. Master's thesis, Aalto University, Finland, 114 p.
- [11] Molnár S., Varga Fné., Fehér S., Németh R. (2000): A Faanyag műszaki tulajdonságai. In: Molnár S. szerk. Faipari Kézikönyv I., Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron, 59-88. o.
- [12] Navi P., Girardet F. (2000) Effects of Thermo-Hydro-Mechanical treatment on the structure and properties of wood. Holzforschung 54(3): 287–293.
- [13] Szabó I. (2002) A fa hajlítása. In: Molnárné Posch P. szerk. Faipari kézikönyv II., Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron, 60–61. o.