

# FAANYAGOK ROSTIRÁNYÚ TÖMÖRÍTÉSÉNEK KÍSÉRLETI KÖRÜLMÉNYEI – 3. RÉSZ

## RESEARCH CONDITIONS OF THE WOOD'S LONGITUDINAL COMPRESSION – PART 3

Báder Mátyás <sup>1\*</sup>, Prof. Dr. Németh Róbert <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faanyagtudományi Intézet, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar, Soproni Egyetem, Magyarország

---

### **Kulcsszavak:**

rostirányú tömörítés  
famodifikáció  
nyomóerő  
nedvességtartalom  
fahajlítás

### **Keywords:**

longitudinal compression  
wood modification  
compressive force  
moisture content  
wood bending

### **Cikktörténet:**

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

---

### **Összefoglalás**

A cikksorozat célja, hogy a faanyagok laboratóriumi hosszirányú tömörítésének a legfontosabb előállítási- és mechanikai tulajdonságait megismerhesse az olvasó. A sorozat harmadik, befejező részében a faanyagok rostirányú tömörítéséhez szükséges nyomást, a hossz mentén a tömörödés egyenletességének vizsgálatát és a minták hajlítóvizsgálatának eredményeit mutatjuk be.

### **Abstract**

The purpose of the article series, to review the producing- and the mechanical properties of the woods' laboratorial longitudinal compression. In this third, ending part we present the needed pressure for the longitudinal compression, the variability of the compression rate along the length and the bending examination's results.

---

## 1. Bevezetés

A rostirányú tömörítés egy olyan famodifikációs eljárás, amely a kezeletlenhez képest könnyebben és nagyobb mértékben hajlítható faanyagot eredményez [4].

A kísérletek során 20% mértékben, rostirányban tömörítettük a kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), és bükk (*Fagus sylvatica* L.) mintákat, mint két jellegzetes képviselőjét a keménylombos fafajoknak. Szakirodalmi adatok szerint a rugalmassági modulus a merevséggel együtt harmadára csökken a normál faanyaghoz képest, míg a hárompontos hajlító vizsgálat folyamán elviselt behajlás a többszörösére növekszik. A hajlítási viszonyszám 1/4 fölötti eredményt érhet el. A hajlítószilárdság a felére redukálódik és a törésig elnyelt energia a többszörösére emelkedik, azaz a faanyag ridegsége csökken, a dinamikus törési munkaigény, a fajlagos ütőmunka és az ütő-hajlító szilárdság másfél-kétszeresére javul [1].

Rosttelítettségi állapotnak nevezzük a faanyagot azt az állapotát, amikor sejtfalakban található mikroszkopikus üregek telítődnek vízzel, de a sejtfal által határolt sejtüregben még nem jelenik meg szabad víz [2]. Fajfától függően az abszolút száraz állapottól eddig az értékig változnak a faanyagok méretbeli- és mechanikai tulajdonságai [8].

---

\* Kapcsolattartó szerző. Tel.: +36 99 518 187; fax: +3 99 518 647  
E-mail cím: bader.matyas@phd.uni-sopron.hu

## 2. Vizsgálati módszer

### 2.1. Maximális nyomás

A rostirányban történő tömörítéskor különféle erők ébrednek a faanyagban, melyeket számításba kell venni. A legjelentősebb, mely a 20x20x200 mm méretű minta 20x20x160 mm méretűre zsugorításához szükséges, 5-10 kN közötti értéket vesz fel. Emellett fellépnek járulékos erőhatások. A famintát oldalról megtámasztó, síkosított felületű fémlapok csúszási súrlódásából keletkező ellenelő mellett fellép az említett fémlapokat pozícionáló spirálrugók összenyomásához szükséges, összesen 187 N nagyságú erő is. Utóbbiak nagyságrendileg kisebbek a valódi tömörítő erőnél, ezért célszerűen figyelmen kívül hagyhatók. Továbbá minden egyes tömörítési műveletnél megjelennek, tehát a mérések egymással történő összehasonlításának végeredményét nem befolyásolják.

### 2.2. Egyenletes tömörödés

A mintatest hossza mentén egymástól azonos távolságra elhelyezett jelölések tömörítés utáni, vagy szárítást követő mérésével meghatározható a tömörödés egyenletessége. Az egyenetlen tömörödés az alacsony nedvességtartalmú alapanyag vagy az elégtelen rostlágyítás miatt fordulhat elő, továbbá a rövid részhosszok mérési pontatlansága is szerepet kaphat a megjelenésében. A mintákon 20 milliméterenként elhelyezett jelölések a tömörítés befejeztével kevesebb, mint 1 mm-rel kerülnek közelebb egymáshoz. Ilyen kis különbségek vizsgálatkor a faiparban jelentéktelennek tűnő 0,05 mm mérési pontatlanság is 5-10% hibát okozat. Ennek kivédésére 0,01 mm pontossággal dolgozunk a vizsgálat során, melynek hibahatára 2% alatt van.

### 2.3. Hajlítóvizsgálatok

A faanyagok mechanikai tulajdonságai a nedvességtartalom függvényében változnak. A hajlítószilárdság és a rugalmassági modulus értékei [8] szerint a rosttelítettségi pontig fokozatosan csökkennek, azt meghaladva nem módosulnak. A szabványos kísérleteket 20 °C hőmérsékleten, 65% relatív légnedvesség mellett klimatizált próbatestekkel kell elvégezni, mely hozzávetőleg 12% nedvességtartalmat biztosít a természetes faanyagoknak. Ha ez valamely okból nem teljesül, akkor természetes faanyagok esetében a következő átszámító képlet alkalmazandó (1):

$$\sigma_{12} = \sigma_u [1 + \alpha(u - 12)] \quad (1)$$

ahol:

$\sigma_u$  – a vizsgált próbatest szilárdsági értéke  $u$  nedvességtartalomnál

$u$  – a próbatest nedvességtartalma

$\alpha$  – az 1,0% nedvességtartalom-változásra jutó szilárdságváltozási állandó a rosttelítettségi határon belül

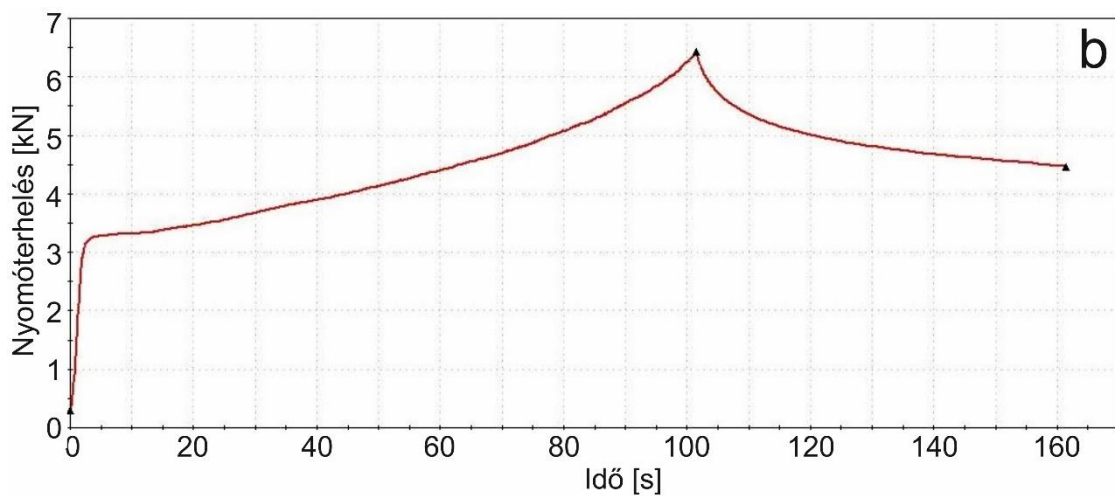
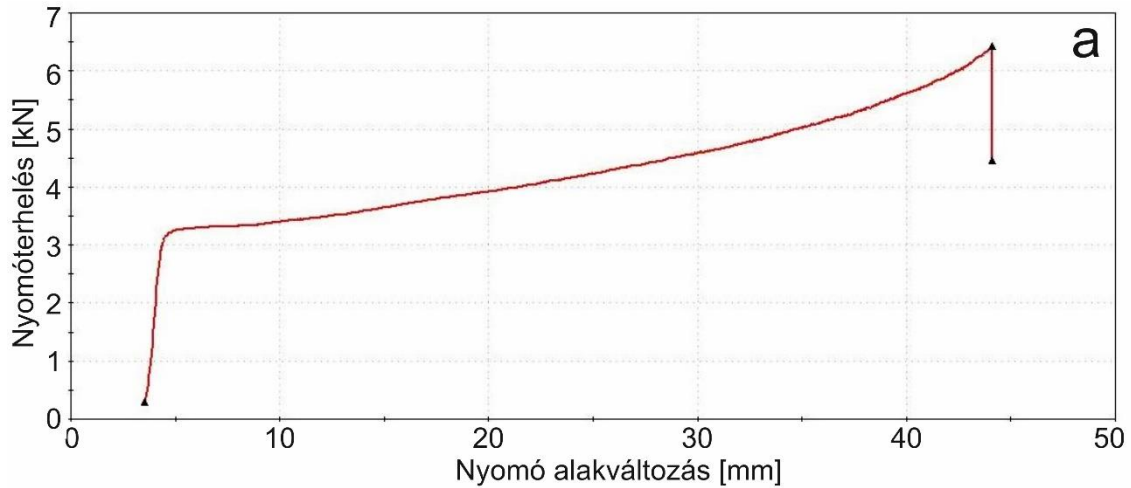
$\alpha_{\sigma h} = 0,04$  (hajlítószilárdság mérésénél)

$\alpha_E = 0,02$  (hajlítórugalmassági modulus mérésénél).

## 3. Eredmények, tárgyalás

### 3.1. Maximális nyomás

A rostirányú tömörítés esetében éppúgy, mint a szilárdsági vizsgálatoknál általánosságban a minta tönkremenetelig a legnagyobb alakváltozás esetén volt szükséges a legnagyobb erő alkalmazása. Az 1.a és 1.b ábrán látható módon a próbatestek nagyon gyorsan felvették az alapvető 7,5-12,5 MPa (3 - 5 000 N) terhelést, majd az összenyomás folyamán a kezdeti érték folyamatosan emelkedett közel lineárisan, fajától és sebességtől függően átlagosan 0,150-0,225  $\frac{\text{MPa}}{\text{mm}}$  (60 - 90  $\frac{\text{N}}{\text{mm}}$ ) értékkel a 20% rövidülés eléréséig.



1. Hosszirányú tömörítésnek és az azt követő 1 perc relaxációnak egy ideális lefutású tömörödés-nyomóerő (a) és idő-nyomóerő (b) grafikonja (Báder és Németh [2] alapján)

Az első 2% tömörödéskor a szükséges nyomás állandónak tekinthető vagy alig emelkedik, majd egy lineáris szakasz következik 14% tömörödésig  $0,150 \frac{\text{MPa}}{\text{mm}}$  emelkedéssel. Végül az utolsó – a faanyagot leginkább igénybe vevő – 6%-ban intenzívebben, átlagosan  $0,350 \frac{\text{MPa}}{\text{mm}}$  de folyamatosan növekvő meredekséggel emelkedik a nyomás (1.a ábra). Ez megfelel az irodalmi értékeknek, miszerint a tömörítésre alkalmas lombos fafajok ilyen tömörítési aránynál már közelednek a tömöríthetőségi határhoz, amely maximálisan 25 - 28% lehet [5], a fafajtól és az adott minta tulajdonságaitól függően. A faanyag nagymértékű üregessége alapján akár 50% feletti tömöríthetőségre is számíthatnánk, azonban ekkora hosszirányú préselésnél a cellulóz vázszerkezet olyan mértékben károsodik, hogy a faanyag alkalmatlanná válik bármely további felhasználásra. A hajlíthatóság javítása az alapvető célja a rostirányú tömörítésnek, tehát utóbbi esetben tönkremenetelről beszélhetünk. A kísérleteknél alkalmazott legnagyobb nyomás általában 12,5-20,0 MPa között volt. A kezdeti- és végső nyomások közötti különbségeket a 1. táblázat szemlélteti.

1. táblázat. Rostirányú tömörítés során alkalmazott nyomásértékek átlagai

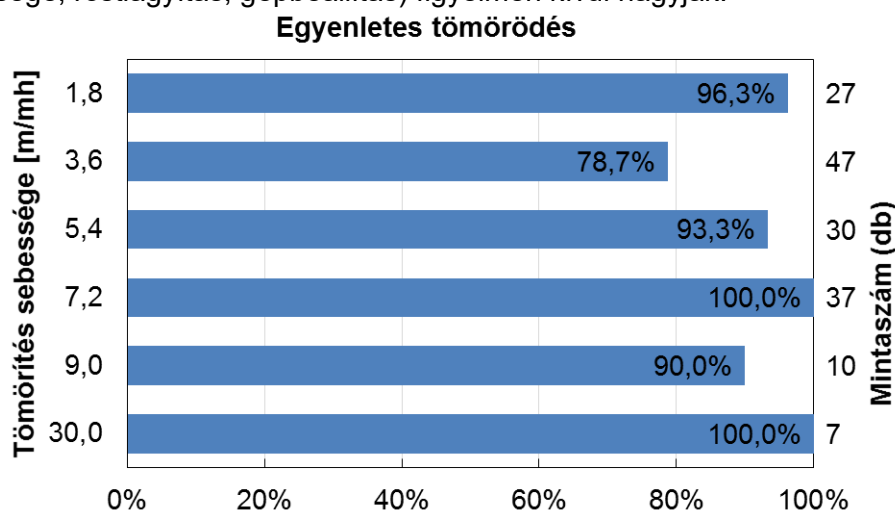
Fafaj	Tömörítési sebesség [m/mh]	Mintaszám [db]	Átlagos nyomóerő a mintatest egységnyi felületére [N/mm <sup>2</sup> ]				
			kezdeti	szórás	legnagyobb	szórás	növekmény

Bükk	1,8	17	10,5	0,90	16,7	1,43	60%
	3,6	20	11,5	1,52	17,0	2,39	48%
	5,4	18	11,4	1,19	18,2	1,86	60%
Tölgy	1,8	9	7,0	0,51	12,5	1,17	79%
	3,6	17	6,8	0,82	12,2	1,06	78%
	5,4	10	7,7	0,88	14,9	1,65	93%
	7,2	37	8,1	0,68	16,7	2,48	107%
	9,0	9	8,6	0,55	16,4	1,91	91%
	30,0	7	9,0	0,70	18,0	1,55	101%

Az azonos sebességgel tömörített egyes mintákhoz szükséges nyomások szórása nem tekinthető magasnak, figyelembe véve a faanyag egy rönkön belüli változékonyságát és a nagymértékű mechanikai modifikációt. A tömörítési sebesség tízszeresére növelésével a szükséges tömörítő erő közel másfélszeresére emelkedett.

### 3.2. Egyenletes tömörödés

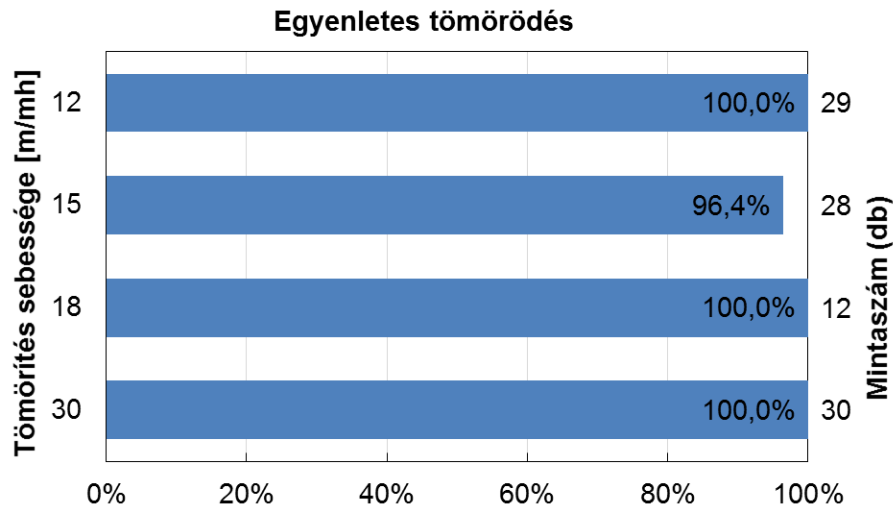
A minta teljes hosszváltozása megadja, hogy a részhosszoknak mennyivel kell változniuk egyenletes tömörödés esetén. A részhosszokat mérve ezt a viszonyított eltérést vizsgáltuk 5% hibahatárral, amely a 2. ábrán látható eredményeket adta Karl [6] vizsgálatait elemezve. A megadott hibahatár azt jelenti, hogy a rövid részhosszok egymáshoz képesti változása mekkora legnagyobb eltéréssel fogadható el. A bemutatott százaléktértek az előzetesen kivédhető hibákat (alapanyag minősége, rostlágítás, gépbeállítás) figyelmen kívül hagyják.



2. ábra. Különböző sebességekkel végzett rostirányú tömörítések eredményessége, tekintettel tömörítés egyenletességére – 1. kísérletsorozat

A legnagyobb eltérés az ideális tömörödési mérethez képest 9,57% volt egy mintán belül. A kihozatal 91,1% lett, míg kizárólag az  $5,4 \frac{m}{m \cdot h}$  és magasabb sebességgel tömörített próbatestek csoportját figyelembe véve 96,4% kihozatal adódik. Emellett a nagyobb tömörítési sebesség jobb termelékenységet biztosít és lényegesen kevesebb termékhibát okoz [2].

Az újabb mérési adatok igazolták az iménti megállapítást. Megfelelő gépbeállításokkal és megfelelően előkezelt alapanyagokkal végzett tömörítést követően a továbbfejlesztett mérési módszernek köszönhetően még szigorúbb, 3% hossz menti megengedett tömörödöttség-eltéréssel történt az eredmények elemzése. 99 darab próbatestből mindössze 1 db nem tömörödött megfelelő egyenletességgel (3. ábra), és az említett minta is mindössze 1,0 százalékponttal lépte túl a 3%-os hibahatárt. Így a kihozatal 99,0% lett.



3. ábra. Különböző sebességekkel végzett rostirányú tömörítések eredményessége, tekintettel tömörítés egyenletességére – 2. kísérletsorozat

### 3.3. Hajlítóvizsgálatok

Az előzetesen hosszirányban tömörített bükk faanyagoknak rosttelítettségi határ alatti nedves ( $U=34,4\%$ ) és szárított ( $U=0,0\%$ ) állapotú hárompontos hajlító vizsgálatát végeztük el. Az (1) képlettel mindkét vizsgálat eredményei át lettek számítva  $12,0\%$  nedvességtartalomra. A számításokat végrehajtva a száraz és a nedves hajlítószilárdságok közti eltérésnek átlagosan  $77,3\%$  adódott 20 - 20 mérésből, a hajlítórugalmassági modulusok különbsége pedig  $33,2\%$  lett annak ellenére, hogy közelítőleg megegyező értéket kellett volna kapnunk az átszámítást követően. A nagymértékű különbségek a normál és a modifikált faanyagok eltérő viselkedésével magyarázhatók. Ebből adódóan a hosszirányú tömörítéssel modifikált faanyagra nem használható az irodalomban a normál faanyagokra általánosan alkalmazott összefüggés.

A tömörített mintáknál a rendelkezésre álló adatokat fölhasználva arányossági közelítő számításot használtunk. Ismerve az abszolút száraz és a  $34,4\%$  nedvességtartalomhoz tartozó szilárdsági értékeket. Lineáris egyenlettel közelítőleg meghatározhatók a  $12,0\%$  nedvességtartalomra vonatkozó eredmények (2):

$$\sigma_{12} = \sigma_u + \frac{12(\sigma_0 - \sigma_u)}{u} \quad (2)$$

ahol:

$\sigma_0$  – a vizsgált próbatest szilárdsága  $U=0,0\%$  nedvességtartalomnál

Az irodalomban található viszonyszámokkal jól korrelálnak a méréseinkből számított adatok, így a bemutatott számítási mód (2) közelítőleg helyesnek elfogadható (2. táblázat).

2. táblázat. Tömörített bükk faanyag nedves és szárított állapotában mért mechanikai értékei, valamint ezeknek  $12,0\%$  nedvességtartalomra átszámított megfelelői

	Nem tömörített, nedves próbatestek	Tömörített, nedves próbatestek	Tömörített, szárított próbatestek
Mért hajlítószilárdság [MPa]	69,06	48,29	97,40
Irodalmi képlettel korigált hajlítószilárdság; $U=12,0\%$ [MPa]	124,10	89,82	50,65
Tömörített értékek közti lineáris korrekcióval módosított hajlítószilárdság; $U=12,0\%$ [MPa]		65,41	

Korrigált hajlítószilárdság eltérése a korrigált kontroll minták hajlítószilárdságához képest		<b>-47,3%</b>	
Irodalmi adatok alapján a hajlítószilárdság változásának mértéke a tömörítés hatására*		<b>-46,5%</b>	
Mért rugalmassági modulus [GPa]	4,65	1,36	3,83
Irodalmi képlettel korrigált rugalmassági modulus; U=12,0% [GPa]	6,51	1,94	2,91
Tömörített értékek közti lineáris korrekcióval módosított rugalmassági modulus; U=12,0% [GPa]		2,22	
Korrigált rugalmassági modulus eltérése a kontroll anyag korrigált rugalmassági modulusához képest		<b>-65,9%</b>	
Irodalmi adatok alapján a rugalmassági modulus változásának mértéke a tömörítés hatására*		<b>-68,8%</b>	

\*Ivánovics [4] és Kuzsella és Szabó [7] munkái alapján.

A kontroll és a különböző nedvességtartalmú tömörített próbatestek hajlítási vizsgálatai azonos körülmények között történtek, ezért összehasonlíthatóak egymással. A 2. táblázatban látható mechanikai adatok a kontroll és tömörített anyagok közti eltéréseiről az irodalomban is megtalálható arányoknak feleltek meg. Az eredmények alapján a modifikált faanyagra számított szilárdságváltozási állandók  $\alpha_{\sigma h} = 0,022$  és  $\alpha_E = 0,032$  lettek, melyek rendre 9,2% és 4,7%-kal magasabb végeredményt adnak a 2. táblázatban látható lineárisan korrigált értékekhez képest.

#### 4. Következtetések

Összegezve a cikksorozatban bemutatott eredményeket megállapítható, hogy az egyedi tervezésű tömörítő gép megfelelően működik és a megfelelő szabályok betartásával a faanyagoknak kutatási célú hosszirányú tömörítésére alkalmas.

Rendkívül jó minőségű és a rosttelítettségi határ fölötti nedvességtartalmú keménylombos fa alapanyagra van szükség a megfelelő, legalább 90% arányú kihozatal eléréséhez. A bükk álgesztessége komoly problémát jelent, átlagosan 73% arányban mentek tönkre a tömörítés során az álgesztés bükk minták. Kijelenthető, hogy a bükk faanyag tömörítésekor az álgeszt minden formája kerülendő. A minták előkészítésénél a pontos külméretek éppoly fontosak mint a rostlágítás, amit gőzöléssel célszerű kivitelezni. Tömörítésnél az alacsony és a magas sebesség is hibákat okozhat és a megoldás a helyes középút megtalálása. A laboratóriumi tömörítő berendezés esetében ez  $9-18 \frac{m}{m \cdot h}$  sebességet jelent.

Amennyiben a normál elmozdulás-nyomóerő és idő-nyomóerő görbétől jelentősen eltér az aktuálisan tömörített mintatest grafikonja, vagy hirtelen változást mutat a préselés folyamán, hibajelzésként értékelendő és meg kell szakítani a préselési művelet a tömörítő gép épségének megóvása érdekében. Szintén megállapítható, hogy a nagyobb tömörítési sebességhez nagyobb nyomóerőre van szükség, hogy ugyanaz a munkafolyamat végbemenjen rövidebb idő alatt.

A tömörítési problémák rostelválások, megrogyások, repedések lehetnek, melyek jól láthatóan jelzik a hibát. Rejtett hiba lehet a hossz mentén nem egyenletes tömörödés, de a vizsgálatok alapján ez annyira ritkán és kis mértékben előforduló jelenség, hogy az ellenőrzése elhagyható. Felületi gyűrődések megjelenése a minták sugárirányú oldalához köthető, azonban tekintettel a csupán 1 - 2 mm mélységű rendellenességre, nem tekinthető tömörítési hibának.

A hajlítóvizsgálatoknál kapott eredményeket elemezve megállapítható, hogy a tömörítés hatására hozzávetőleg 30%-kal csökken a hajlítószilárdság, majd szárítás után a kontrollhoz képest tovább redukálódik, annak körülbelül a felére. A hajlítórugalmassági modulus 70%-kal csökken, és szárítás után a kontrollnak körülbelül a harmada lesz. A rostirányban tömörített faanyag mechanikai tulajdonságait a nedvességtartalom függvényében átszámító összefüggés pontos meghatározása szükségesnek bizonyult és további kutatásokat igényel.

## Köszönetnyilvánítás

A kutató munka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg. Köszönet illeti Vörös Ágnes doktorandusz hallgatót a cikksorozat formai és szövegezési áttekintéséért.

## Irodalomjegyzék

- [1] 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)
- [2] 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.
- [3] Báder M., Németh R. (2017) Faanyag rostirányú tömörítésének kutatási körülményei – 2. rész. Gradus (megjelenés alatt)
- [4] 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, 174. o.
- [5] Ivánovics G. (2012) Nyomott faanyag alakváltozási folyamata. Kézirat, Kecskeméti Főiskola, Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Gépszerkezettani és Terméktervező Tanszék, Kecskemét, 2–6. o.
- [6] Karl Á. (2015) Laboratóriumi fatömörítő berendezés használati paramétereinek optimalizálása. Szakdolgozat, Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar, Sopron, 104 o.
- [7] Kuzsella L., Szabó I. (2006) A fa tömörítésének hatása a mechanikai tulajdonságokra. In: Konferencia kiadvány, Bitay E. szerk. XI. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülészaka, Kolozsvár, 2006.03.24–25., 235. o.
- [8] Molnár S. (1999) Faanyagismeret. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 192-193 és 319-320. o.