

WOOD

A

sustainability

*p*_{rocessing}

*C*_{onstruction}

*p*_{roduct}

*d*_{esign}

2024

Wood 4 Sustainability

Processing, Construction, Products and Design

2024

Főszerkesztő: Dr. Csiha Csilla

Wood 4 Sustainability

Processing, Construction, Products and Design

2024



SOPRONI EGYETEM KIADÓ

SOPRON, 2024

Közreadó a Soproni Egyetem Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kara

Felelős kiadó: Prof. Dr. Fábián Attila

a Soproni Egyetem rektora

Főszerkesztő

Dr. Csiha Csilla Mária

Szerkesztők

Prof. Dr. Kósa Balázs, Prof. Dr. Magoss Endre, Dr. habil. Németh László

Lektorok

Gerencsér Kinga Címzetes Egyetemi Tanár, Szabadhegyi Viktor Címzetes Egyetemi Docens,
Prof. Dr. Alpár Tibor, Prof. Emeritus Tolvaj László, Prof. Dr. Markó Balázs

Technikai szerkesztő

Mucsi Zsuzsanna

ISBN 978-963-334-541-2 (pdf)

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-541-2>

Creative Commons license: BY-NC-SA 4.0 DEED



Nevezd meg! Ne add el! Így add tovább! 4.0 Nemzetközi
Attribution – Non commercial – Share Alike 4.0 International

Tartalom

A klímaváltozás hatása a faipari kutatásokra	11
<i>Magoss Endre, Csiha Csilla</i>	
Faanyagok dinamikus szilárdságvizsgálata	19
<i>Orbán Gábor, Kánnár Antal</i>	
A vastagság figyelembe vétele a mikrohullámú radarral történő sűrűség és nedvességtartalom becslés során	29
<i>Jakócs Mihály, Bejő László</i>	
Szürke nyár (<i>Populus × canescens</i>) fűrészáru szilárdság-becslésének lehetőségei	39
<i>Ács Ruben, Vécs Martin László, Hantos Zoltán</i>	
A klímaváltozás hatása a faanyag mennyiségére és minőségére	51
<i>Sütő Anett Ibolya, Báder Mátyás, Németh Róbert</i>	
Natúr és hőkezelt platán fatestének faanyagvédelmi, tartóssági vizsgálatai I. rész: Egyes fafizikai tulajdonságok és változásaik.....	60
<i>Buga-Kovács Luca, Horváth Norbert</i>	
Színreprodukció a csomagolóanyag-nyomtatásban – A flexográfiai és a digitális nyomtatás komparatív vizsgálata	67
<i>Maňúrová Klaudia, Horváth Csaba, Preklet Edina</i>	
2-5 rétegből álló kisméretű rétegelt-ragasztott tölgy fűrészáru hajlítóvizsgálata	79
<i>Báder Mátyás, Fehér Sándor, Horváth Dénes Ákos</i>	
Termo-hidromechanikusan módosított tölgy érettfá nyomóvizsgálatai tulajdonságai különböző nedvességtartalmakon	88
<i>Báder Mátyás, Németh Róbert, Gecseg Péter Pál</i>	
Finite element analysis of furniture structures made from underutilized wood species.....	95
<i>Zsófia Benedek-Csányi, József Garab</i>	

Relationships of Fibers length and Ring Width with Precipitation and Temperature on Wood of <i>Robinia pseudoacacia</i>	104
<i>Fath Alrhman Awad Ahmed Younis, Mátyás Báder, Miklós Bak, Róbert Németh</i>	
Comparison of barks of deciduous and coniferous trees	113
<i>Hiba Khalifa, Róbert Németh</i>	
Ecological and Health Implications of Microplastics in Water: A Short Review	121
<i>Omar Saber Zinad, Csilla Csiha, Dhafer Saber Zinad, Ali Fahem Al-Mamoori</i>	
Cultural Preservation Meets Modern Design: Investigating the Impact of Traditional Woodcarvings on Natural Ventilation in Johor, Malaysia	131
<i>Noor Roziana Binti Abdul Rahim, Kovács Zsolt</i>	
Smart Network: The Role of Meta-Organizational Networks in the Sustainability-Digital Transition	150
<i>Andrea Reményi</i>	
Investigating the stability of wooden lake piles: the influence of dynamic MOE and pile length on buckling behavior	161
<i>Brougui Marwa, Krisztián Andor</i>	
Wood-based composites for 3D printing filaments to use in technical applications....	175
<i>Mihályi Domonkos, Garab József, Alpár Tibor</i>	
Clustering analysis of the nineteen most populous Hungarian cities using Urban Atlas Building Height Data from Copernicus Land Monitoring Service's 10m raster maps	191
<i>Zsolt Tóth</i>	
Az európai LVL gyártás helyzetének áttekintése	200
<i>Horváth Kund</i>	

Hazai faipari kisvállalkozások gyártási és szervezettségi szintjét felmérő hatékonyágnövelő tanácsadó rendszere	206
<i>Suriné Lengyel Veronika, Magoss Endre</i>	
A hajdani MÁV Gyermekotthon (Kőszeg) huszártonyának szerkezeti megerősítése	217
<i>Hantos Zoltán</i>	
Handler Jakab klasszicista lakóépülete a soproni Várkerületen.....	229
<i>Tárkányi Sándor</i>	
Faszerkezetek Egyiptom korai piramisaiban	235
<i>Szabó Péter</i>	
Szemelvények a Sopron, Várkerület 34. számú üzletház építés- és tulajdonlástörténetéből	244
<i>Tárkányi Sándor</i>	
A Roth Gyula Erdészeti Szakközépiskola utcai homlokzatának 2019-2020 közötti helyreállítása.....	249
<i>Tárkányi Sándor</i>	
A Voronoi-szerkezetek bútorigipari felhasználása	254
<i>Boros Eszter</i>	
A tömördi Chernel-kúria bejárati kapujának restaurálása	259
<i>Tárkányi Sándor</i>	
Modularitás és érték	265
<i>Bodorkós Dániel, Zalavári József, Horváth Péter György</i>	
A Zichy-Meskó palota porcelánkabinetjének kétszárnyú ajtói	275
<i>Tárkányi Sándor</i>	

Termo-hidromechanikusan módosított tölgy érettfá nyomóvizsgálati tulajdonságai különböző nedvességtartalmakon

88 / 88-94

Báder Mátyás^a, Németh Róbert^a, Gecseg Péter Pál^a

^a Soproni Egyetem Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, alaptudományi Intézet, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4. Email: bader.matyas@uni-sopron.hu

DOI: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-541-2-09>

ABSZTRAKT

Tanulmányunk bemutatja a kocsánytalan tölgy rostirányú tömörítési modifikációs folyamat lépéseit és eredményeit, majd nyomóvizsgálatát. A nyomóvizsgálatokat a tulajdonságok meghatározására végeztük különböző nedvességtartalmak mellett. A próbatestek tömörítéssel modifikálása során a feszültségértékek közel azonosak voltak, ami a próbatestek megfelelő előválasztásának tulajdonítható. A négy mintacsoport eredményei jelentős eltéréseket mutattak (tömörített, rosttelítettségi pont (*FSP*) feletti nedvességtartalom (*MC*); tömörített, 12% *MC*; tömörített, 0% *MC*; valamint kezeletlen, 12% *MC*). A nyomószilárdság (*CS*) tekintetében az átlagos értékek rendre 40,94 MPa, 55,55 MPa, 93,66 MPa és 55,46 MPa voltak. A nyomórugalmassági modulus (*CMoE*) átlagos értékei rendre 0,11 GPa, 1,76 GPa, 3,12 GPa és 3,08 GPa voltak. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a magasabb nedvességgel rendelkező minták kisebb terhelést bírnak el, de jelentősen plasztikusabbak, mint az alacsonyabb nedvességű minták.

Kulcsszavak: rostirányú tömörítés, nyomószilárdság, nyomó rugalmassági modulus, nedvességtartalom, kocsánytalan tölgy, Ipar, innováció és infrastruktúra

1. Bevezetés

A rostirányú tömörítés célja, hogy a faanyagot plasztikusabbá és hajlékonyabbá tegye. A fa inhomogén szálerezésű kompozitként való kezelése, a rostlágítás és a rostok mentén történő tömörítés nagyobb hajlítathatóságot eredményez kisebb erőhatás segítségével. A fa gőzöléses hajlítását először Michael Thonet alkalmazta az 1800-as években ipari körülmények között történő tömegtermelésre. Thonet módszerében a fát a gőzölés után azonnal alakítani kell, mielőtt kihülne. Ezzel szemben a rostirányú

tömörítéssel technológia előnye, amely egy termo-hidromechanikus modifikációs eljárás, hogy a kezelt faanyag tárolható és szobahőmérsékleten is hajlítható marad. A nagyobb sűrűségű keményfafajok (pl. tölgy, bükk, kőris, juhar) a rostok irányában összenyomhatónak bizonyultak. A kiváló minőségű alapanyag elengedhetetlen, mivel a fahibák jelentős problémákat okozhatnak a modifikációs folyamat során. A tömörített faanyag előállítását meghatározó legfontosabb tényezők közé tartozik a fafaj, az alap-

anyag minősége, a nedvességtartalom (*MC*), a hőmérséklet, a tömörítési arány és egyéb tényezők. A legtöbb, nagyobb sűrűségű és 20% feletti kezdeti nedvességgel rendelkező keményfa faj tömöríthető. A tömörítési folyamat során a lágyított faanyagot legalább 80 °C hőmérsékleten kell tartani. A fát meg kell támasztani az oldalirányú alakváltozás megakadályozása érdekében, ügyelve a sűrűládaerők csökkentésére, amelyek gátolják a rostok mentén történő egyenletes tömörítést. A modifikáció következtében a fa sejtszerkezetében változások következnek be. A főként ligninből és hemicellulózsból álló középső réteg lágyítás után a magas cellulóz-tartalmú, szilárdabb rostok és más szövetek egymáshoz viszonyított elcsúszását nem akadályozza, miközben e hosszanti irányú elemek sejtfalai ráncosodnak, hullámosodnak. A folyamat eredményeként a fa hajlít rugalmassági modulusa nagymértékben csökken, így alakíthatósága nagymértékben javul a kezeletlen fához képest (Báder, 2015; Báder et al., 2017; Németh et. al., 2019; Báder és Németh, 2020).

A faanyag kétféle állapotban tartalmaz vizet: szabad víz és kötött víz. A szabad víz folyékony vagy gőz formában van jelen, és jelentős hatással van a faanyag tömegére és sűrűségére. Nem befolyásolja azonban a faanyag alakját, méretét és a legtöbb mechanikai tulajdonságát. A kötött víz eltávolítása csak a szabad víz elpárolgása után kezdődik. Azt a pontot, amikor a fa sejtszerkezetében már nem marad szabad víz, rosttelítettségi pontnak (*FSP*) nevezzük. Bár az *FSP* értéke a fafajtól függ, általában az *MC* 30% alatti részét tekintjük kötött víznek, a 30% feletti *MC*-t pedig szabad víznek (Skaar, 1988). Nyomóterhelés esetén a mintára ható terhelés az erő irányában megrövidíti a mintát. Tiszta nyomóterhelésről akkor be-

szélünk, ha a minta méretei a terhelés irányával párhuzamosan nem haladják meg a terhelésnek kitett keresztmetszet méretének háromszorosát. Az ennél hosszabb minta kihajolhat.

A nyomóterhelés gyakori terhelési forma a különböző faszerkezeteknél. A bútorkeretek és épület-tartószerkezetek a rostiránnyal párhuzamos nyomóterhelésnek vannak kitéve, a padlóburkolatok és a talpfák pedig a rostirányra merőleges nyomóterhelésnek vannak kitéve. A nyomószilárdság (*CS*) hajlítóterhelés esetén is megjelenik. A tömörfa *CS* értéke a rostiránnyal párhuzamosan többszöröse (kb. 5-7-szerese) a rostirányra merőlegesnek. A göcsök, a csavarodott növekedés, a nagyfokú vetemedés és más fahibák csökkentik a rostirányú *CS*-ot. A kötött víz 1%-os növekedése a *CS* 4-5%-os csökkenését okozza. A hazai fafajok átlagos légszáraz *CS* értéke 25-80 MPa. A rostirányra merőleges *CS* három típusát különböztetjük meg: a teljes felületi *CS*-ot, a részleges/talpfák *CS*-ot és a pecsét/helyi *CS*-ot, amely a minta hosszának és szélességének csak egy részét érinti. A különböző típusú feszültségek miatt mind a részleges, mind a helyi *CS* jelentősen magasabb (50-80%), mint a teljes felületi *CS*. A faalapú laptermékek (forgácslap, farostlemez) síkkal párhuzamos *CS* értéke alacsonyabb, mint a tömör fáé. A rétegelt lemezek *CS* értéke a síkkal párhuzamosan átlagosan alacsonyabb, de a lapsíkra merőlegesen magasabb, mint a tömörfáé (Veres, 2013; Gao és Huang, 2022).

Tanulmányunk célja annak bemutatása, hogy a rostirányban tömörített tölgyfa milyen változásokon megy keresztül kizárólag a *MC* változása miatt. Ezeket a változásokat a nyomóvizsgálat segítségével vizsgáltuk, mivel különösen érdekelt bennünket, hogy

megértjük a faanyag nyomási tulajdonságainak különbségeit a MC változásaira adott válaszként. A CS jól korrelál számos faanyag-tulajdonsággal, így jól használható indikatív eredményekre tehetünk szert.

2. Anyag és módszer

Első lépésként minden mintacsoporthoz 10-10-10 darab megfelelő minőségű, 20×30×200 mm (vastagság × szélesség × szálirány) méretű kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) érettfát választottunk ki. Ügyeltünk arra, hogy a fa ne legyen hibás, mivel ezek a mérések pontatlanságához vezettek volna. Ilyen hibák például a rostkijutás, a göcsök, a repedések stb. Ezt követően a mintadarabokat a nyomon követés céljából megszámoztuk (1. ábra), majd a faanyagok gőzölését végeztük el 45 percig 100 °C hőmérsékleten. A tömörítési modifikációt egy Instron 4208 anyagvizsgáló gép (Instron Corp., USA) segítségével végeztük. A tömörítést zárt berendezés-

ben végeztük 20% mértékben az eredeti hosszhoz viszonyítva, 25%/perc sebességgel, majd a próbatesteket 1 percig tartottuk összenyomott állapotban. A tömörítést követően, ha egy minta meghajlott, kézzel kiegyenesítettük.

Miután a tömörítés befejeződött, a próbatesteket fagyasztottuk, vagy kondicionáltuk és kisebb darabokra vágtuk, előkészítve a nyomóvizsgálati próbatesteket. A nyomópróbatestek rostirányú méretei 17 mm, míg vastagságuk és szélességük 11 x 11 mm volt az ISO 13061-17 (2017) szabvány módosított méretei szerint. Az FSP feletti MC-mal rendelkező mintát fagyasztóban tároltuk az élőnedves állapot megőrzése érdekében, míg a 12% MC-ra kondicionált tömörített mintát és a kezeltlen mintát 20 °C-on és 65% relatív páratartalom mellett klímakamrában, míg az abszolút száraz mintát 103 °C-on szárítóban (Memmert UFP 500) tároltuk fokozatos hőmérsékletemeléssel. A nyomóvizsgálatokat szintén az INSTRON 4208 anyagvizsgáló gépen végeztük.



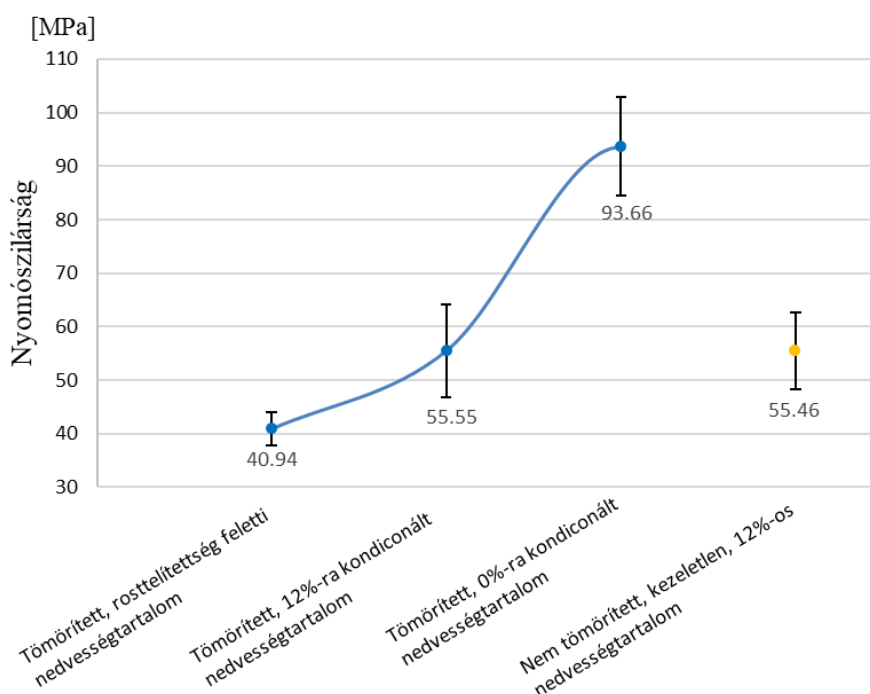
1. ábra. Képek néhány mintadarabról a rostirányú tömörítés után (balra) és a nyomóvizsgálathoz való felfűrészelés után (jobbra)

A tömörített mintáknál 2 mm/perc, míg a kezeletlen mintáknál 0,4 mm/perc sebességet alkalmaztunk. Erre azért volt szükség, hogy megfeleljen az ISO 13061-17 (2017) szabvány követelményeinek, amely 1 és 5 perc közötti nyomóvizsgálati időt ír elő. Minden mintacsoport 20 próbadarabot tartalmazott. A vizsgálat során a próbatestek egy fémlap közepén voltak. Minden vizsgálat előtt a próbatest közepén megmértük a szélességi és vastagsági méreteket. A nyomóvizsgálatok befejeztével összehasonlítottuk és kiértékeljük a gyűjtött adatokat. A mérésekből a CS és a nyomórugalmassági modulus ($CMoE$) átlagos eredményeit és relatív szórásait alkalmazva következtetéseket vontunk le.

3. Eredmények és elemzés

A tömörítés során a maximális nyomófehértség átlagos értéke 21,03 MPa volt a tömörített-fagyasztott minta esetében, 19,41

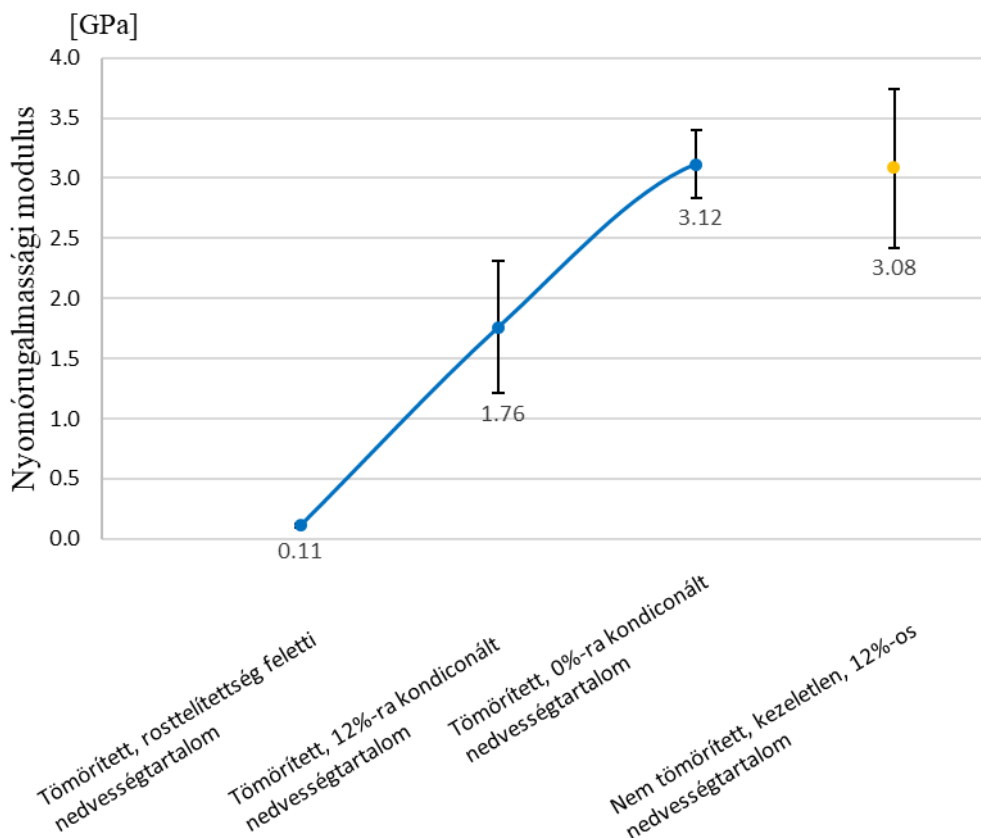
MPa a tömörített és 12% MC-ra kondicionált minta esetében, 21,27 MPa a tömörített-száritott minta esetében. A varianciák rendre 7,3%, 7,1% és 14,1% voltak. Ebből adódóan a tömörítés során a minták eredményei nem mutattak jelentős különbségeket. Vagyis a tömörítés előtt megfelelő alapanyag-kiválasztást végeztünk, biztosítva, hogy a minták anatómiai és fizikailag hasonlóak legyenek. Következésképpen a mechanikai vizsgálatok során kapott különbségek nem magának a faanyagnak, hanem inkább a minták nedvességtartalma közötti különbségeknek tudhatók be. Az átlagos CS 55,55 MPa volt a 12%-os MC-ra kondicionált tömörített minta esetében. Összehasonlításképpen, az FSP feletti tömörített minta 26,3%-kal alacsonyabb CS-ot mutatott, a tömörített-abszolút száraz minta 40,7%-kal magasabb CS-ot mutatott, míg a 12% MC-ra kondicionált kezeletlen minta esetében elhanyagolható különbség volt (2. ábra).



2. ábra. A minták nyomószilárdsága

A vizsgálatok során megfigyelt változásokat a fában lévő ligninnek és hemicellulóznek tulajdonítjuk, mivel ezek magasabb *MC* esetén plasztikusabban viselkednek. A *CS* esetében az adatok azt mutatják, hogy a tömörítés nincs hatással az eredményekre: a *CMoE* átlagos értékei a tömörített-fagyasztott minta esetében mindössze 0,11 GPa, a tömörített és 12% *MC*-ra kondicionált minta esetében 1,76 GPa, a tömörített-abszolút száraz minta esetében 3,12 GPa, a kezeletlen minta esetében pedig 3,08 GPa volt 12% *MC*-nál (3. ábra). A variancia minden esetben 20% alatt volt. E vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy minél magasabb a faanyag nedvességtartalma, annál

alacsonyabb a *CMoE*, ami megegyezik a szakirodalommal. A faanyag alacsonyabb *CMoE*-a képlékenyebb tulajdonságokat mutat. Ezért minél magasabb a fa nedvességtartalma, annál hajlékonyabbá válik. A magas *MC*-mal és ebből következően alacsony *CMoE*-szal rendelkező próbatestjeink jelentős sérüléseket szenvedtek a nyomóvizsgálat során. A tömörített és a kezeletlen minták összehasonlításakor a tömörített minta *CMoE* értéke 42,9%-kal volt alacsonyabb, mint a kezeletlen mintacsoporté. A *CMoE* esetében tehát a tömörítés óriási hatással van az eredményekre. Ezt a hatást a sejtfal deformációja okozza a tömörítés során.



3. ábra. A mintacsoportok nyomórugalmassági modulusa

4. Összefoglalás

Kutatásunk során tölgyfából készült, rosttelítettségi pont feletti nedvességtartalmon (MC) fagyasztott tömörített mintacsoport, 12% MC-ra kondicionált tömörített mintacsoport, az abszolút szárazra kondicionált tömörített mintacsoport és a 12%-os MC-ra kondicionált kezeletlen mintacsoport nyomóvizsgálati tulajdonságait vizsgáltuk. A tömörítésből kapott eredmények azt mutatták, hogy a minták faanyaga eléggé hasonló volt ahhoz, hogy a módosítás utáni vizsgálatok összehasonlíthatóak legyenek. Ez azt jelenti, hogy a nyomóvizsgálati eredményekben mutatkozó különbségek a különböző MC-knak tulajdoníthatók. A kezeletlen minta átlagos nyomószilárdsága 55,46 MPa volt, a tömörített és 12% MC-ra kondicionált minta esetében 55,55 MPa, a tömörített-abszolút száraz minta esetében 93,66 MPa, a tömörített-fagyasztott minta esetében pedig 40,94 MPa. Minél magasabb volt a faanyag nedvességtartalma, annál kisebb

terhelést tudott elviselni, de a képlékenység fordítottan nőtt. A minták közötti változásokat a fában lévő lignin és hemicellulóz okozta, mivel ezek víz jelenlétében plasztikusabban viselkednek. A minták nyomórugalmassági modulusa rendre 3,08 GPa, 1,76 GPa, 3,12 GPa és mindössze 0,11 GPa volt. A nyomóvizsgálat során a magasabb MC-mal rendelkező minták jellemzően nagyobb károkat szenvedtek. A tömörített-kondicionált mintának 42,9%-kal alacsonyabb volt a nyomórugalmassági modulusa a kezeletlen csoporthoz képest. Ez azt jelenti, hogy a tömörítésnek nagy hatása van a faanyagra, amit leginkább a sejtfal deformációi okoznak. Összefoglalva, kutatásunk kimutatta, hogy a tömörítés jelentősen csökkenti a tölgy faanyag rugalmassági modulusát, ezáltal javítja annak képlékeny tulajdonságait, és hogy a nedvességváltozás jelentősen befolyásolja a kezelt faanyag mechanikai tulajdonságait.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton fejezzük ki köszönetünket Horváth Imrének a minták elkészítéséért és előkészítéséért.

Szerzői nyilatkozatok

Báder Mátyás – konceptualizálás, kutatásvezetés, koordináció, adatelemzés, formális elemzés, módszertan, felügyelet, vizualizáció, írás – áttekintés és szerkesztés.

Németh Róbert – finanszírozás beszerzése, módszertan, írás – áttekintés és szerkesztés.

Gecseg Péter Pál – formális elemzés, vizsgálat, adatkezelés, adatelemzés, vizualizáció, írás – eredeti piszkozat, írás – áttekintés és szerkesztés.

Referenciák

- Báder, M., 2015. Faanyag rostirányú tömörítésével kapcsolatos elméleti és gyakorlati kérdések áttekintése - 3. rész: A tömörített fa mechanikai tulajdonságai, felhasználási lehetőségei. Faipar, 63(2): 52-65.
<https://doi.org/10.14602/WOODSCI.2015.2.53>
- Báder, M. & Németh, R., 2017. Faanyagok rostirányú tömörítésének kísérleti körülményei - 1. rész. Gradus, 4(2): 403-411.
- Báder, M. & Németh, R. 2020. Spring-back of wood after longitudinal compression. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 505: 012018.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/505/1/012018>
- Gao, Z. & Huang, R., 2022. Mechanical properties of surface-compressed wood resulting from the compression ratio and density distribution. BioResources, 17(3): 4280-4296.
<http://doi.org/10.15376/biores.17.3.4280-4296>
- ISO 13061-17 2017. Physical and mechanical properties of wood - Test methods for small clear wood specimens - Part 17: Determination of ultimate stress in compression parallel to grain. International Organization for Standardization, Genf, Svájc, 4 p.
- Meier, E., 2019. Sessile oak. The Wood Database. <http://www.wood-database.com/european-beech/> 9 October 2019.
- Németh, R., Bak, M., Ábrahám, J., Fodor, F., Horváth, N. & Báder, M., 2019. Wood modification research at the University of Sopron. Sibirskij Lesnoj Zurnal, 3:20-25.
<https://doi.org/10.15372/SJFS20190303>
- Skaar, C., 1988. Wood-water relations. Berlin, Germany: Springer-Verlag.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-73683-4>
- Veres, R., 2013. Faipari anyag- és gyártásismeret. Pécs: Szega Books Kft.

Compressive strength of thermo-hydromechanically modified samples at different moisture contents

Abstract

Our study presents the steps and results of the modification process compression along the grain and the compression tests of sessile oak. The compression tests were carried out to determine the properties at different moisture contents. During the compression modification of the specimens, the stress values were nearly identical, which can be attributed to the proper preselection of the specimens. The results of the four groups of specimens showed significant variations (modified, moisture content (MC) above the fibre saturation point (FSP); modified, 12% MC; modified, 0% MC; and untreated, 12% MC). The average values for compressive strength (CS) were 40.94 MPa, 55.55 MPa, 93.66 MPa and 55.46 MPa, respectively. The average values of the compressive modulus of elasticity (CMoE) were 0.11 GPa, 1.76 GPa, 3.12 GPa and 3.08 GPa, respectively. These results suggest that samples with higher moisture contents can withstand lower loads but are significantly more plastic than samples with lower moisture contents.

Keywords: fiber direction compression, compressive strength, compressive modulus of elasticity, moisture content, stemless oak, Industry, innovation and infrastructure