WOOD 4 sustainability

processing

construction

product

design

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 Egyetei 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
Magoss Endre, Csiha Csilla

Faanyagok dinamikus szilárdságvizsgálata 19
Orbán Gábor, Kánnár Antal

A vastagság figyelembe vétele a mikrohullámú radarral történő sűrűség és nedvességtartalom becslés során 29
Jakócs Mihály, Bejó László

Szürke nyár (Populus × canescens) fűrészáru szilárdság-becslésének lehetőségei 39
Ács Ruben, Vécs Martin László, Hantos Zoltán

A klímaváltozás hatása a faanyag mennyiségére és minőségére 51
Sütő Anett Ibolya, Báder Mátyás, Németh Róbert

Natúr és hőkezelt platán fatestének faanyagvédelmi, tartóssági vizsgálatai I. rész: Egyes fafizikai tulajdonságok és változásaik 60
Buga-Kovács Luca, Horváth Norbert

Színtérreprodukció a csomagolóanyag-nyomtatásban – A flexográfiai és a digitális nyomtatás komparatív vizsgálata 67
Maňúrová Klaudia, Horváth Csaba, Preklet Edina

2-5 rétegből álló kisméretű rétegelt-ragasztott tölgy fűrészáru hajlítóvizsgálata 79
Báder Mátyás, Fehér Sándor, Horváth Dénes Ákos

Termo-hidromechanikusan módosított tölgy érettfa nyomóvizsgálati tulajdonságai különböző nedvességtartalmakon 88
Báder Mátyás, Németh Róbert, Gecseg Péter Pál

Finite element analysis of furniture structures made from underutilized wood species 95
Zsófia Benedek-Csányi, József Garab

Relationships of Fibers length and Ring Width with Precipitation and Temperature on Wood of *Robinia pseudoacacia* 104
Fath Alrhman Awad Ahmed Younis, Mátyás Báder, Miklós Bak, Róbert Németh

Comparison of barks of deciduous and coniferous trees 113
Hiba Khalifa, Róbert Németh

Ecological and Health Implications of Microplastics in Water: A Short Review 121
Omar Saber Zinad, Csilla Csiha, Dhafer Saber Zinad, Ali Fahem Al-Mamoori

Cultural Preservation Meets Modern Design: Investigating the Impact of Traditional Woodcarvings on Natural Ventilation in Johor, Malaysia 131
Noor Roziana Binti Abdul Rahim, Kovács Zsolt

Smart Network: The Role of Meta-Organizational Networks in the Sustainability-Digital Transition 150
Andrea Reményi

Investigating the stability of wooden lake piles: the influence of dynamic MOE and pile length on buckling behavior 161
Brougui Marwa, Krisztián Andor

Wood-based composites for 3D printing filaments to use in technical applications.... 175
Mihályi Domonkos, Garab József, Alpár Tibor

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
Zsolt Tóth

Az európai LVL gyártás helyzetének áttekintése 200
Horváth Kund

Hazai faipari kisvállalkozások gyártási és szervezettségi szintjét felmérő hatékonyságnövelő tanácsadó rendszere 206
Suriné Lengyel Veronika, Magoss Endre

A hajdani MÁV Gyermekotthon (Kőszeg) huszártonyának szerkezeti megerősítése 217
Hantos Zoltán

Handler Jakab klasszicista lakóépülete a soproni Várkerületen..... 229
Tárkányi Sándor

Faszerkezetek Egyiptom korai piramisaiban 235
Szabó Péter

Szemelvények a Sopron, Várkerület 34. számú üzletház építés- és tulajdonlástörténetéből 244
Tárkányi Sándor

A Roth Gyula Erdészeti Szakközépiskola utcai homlokzatának 2019-2020 közötti helyreállítása..... 249
Tárkányi Sándor

A Voronoi-szerkezetek bútoripari felhasználása 254
Boros Eszter

A tömördi Chernel-kúria bejárati kapujának restaurálása..... 259
Tárkányi Sándor

Modularitás és érték 265
Bodorkós Dániel, Zalavári József, Horváth Péter György

A Zichy-Meskó palota porcelánkabinetjének kétszárnyú ajtói 275
Tárkányi Sándor

2-5 rétegből álló kisméretű rétegelt-ragasztott tölgy fűrészáru hajlítóvizsgálata

Báder Mátyás[a], Fehér Sándor[a], Horváth Dénes Ákos[a]

[a] Soproni Egyetem Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Faipari Termékfejlesztő és Szolgáltató Központ, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4. Email: bader.matyas@uni-sopron.hu

DOI: https://doi.org/10.35511/978-963-334-541-2-08

ABSZTRAKT
Cikkünk célja a gyenge minőségű tölgyfa lamellákból összeállított rétegelt-ragasztott faanyagok (GLT) hajlítási tulajdonságainak feltárása. A kétrétegű (40 mm vastag), háromrétegű (45 mm vastag) és ötrétegű (50 mm vastag) GLT-ket dinamikus és statikus vizsgálatnak vetettük alá a hajlítószilárdság (*MoR*) és a rugalmassági modulus (*MoE*) meghatározására. Az eredmények azt mutatták, hogy a *MoR* még a két- és háromrétegű minták esetében is 60 MPa feletti átlagértékkel bír, valamint 80 MPa az ötrétegű mintáknál, alacsony szórással. A *MoE* összesen 7,7%-kal csökkent a vastagság növekedésével. A roncsolásmentes és roncsolásos vizsgálatok hasonló eredményeket adtak. Megállapítható, hogy a külső rétegek minősége nagyon fontos volt. A belső rétegek azonban tartalmazhatnak olyan fahibákat, mint a ferdeszálúság, az egészséges- és korhadt göcsök, stb.

Kulcsszavak: GLT, hajlítószilárdság, rugalmassági modulus, roncsolásmentes, fahibák, Ipar, innováció és infrastruktúra

1. Bevezetés

Egyre nagyobb az érdeklődés a lombos fafajok, például a tölgy felhasználása iránt a rétegelt-ragasztott faanyagokban (glued-laminated timber, GLT), és jelenleg is folynak kutatások azon alapvető ismeretek összegyűjtésére, amelyek a lombos fafajok rétegelt-ragasztott faanyagok gyártásában történő felhasználásának szabványosításához vezetnének (Morin-Bernard et al., 2020). A tölgyből készült GLT egyre nagyobb jelentőségre tesz szert a szerkezeti alkalmazásokban, az első nemzeti és európai műszaki engedélyeket tölgyből készült ragasztott faanyagokra adták ki (Aicher és Stapf 2014). A lombos fafajok, köztük a tölgy is, kedvező mechanikai jellemzőkkel rendelkező és építőipari felhasználásra ideiglenesen engedélyezett GLT előállítására alkalmasak (Glavinić et al., 2020). A tölgy GLT különösen jó mechanikai teljesítményt mutatott mind állandó, mind ciklikus terhelési módok mellett, ami jelzi az építési projektekben való felhasználási lehetőségeit, erősségeit.

A tölgyfa GLT hajlítószilárdságát befolyásolja a gerendák mérete, és a méret egyértelmű hatása figyelhető meg a hajlítószilárdságra (Aicher és Stapf, 2014). Megállapították, hogy a rétegelt-ragasztott fagerendák mére-

te hatással van a hajlítószilárdságra, az anyag mérethatása kvázi rideg viselkedéssel társult (Blank et al., 2016). A GLT-ben a göcsök és az ékcsapok eloszlása fontos szerepet játszik a károsodás kialakulásának kezdeténél és a végső tönkremeneteli mintázatban, ami kiemeli e tényezők figyelembevételének jelentőségét a hajlítóvizsgálatok elvégzésekor (Tran et al., 2016; Melzerová és Šmídová, 2019).

Melzerová és Šmídová (2019) azt találták, hogy különböző fafajok kombinációiból készült GLT hajlítási tulajdonságaira hatással van a ciklikus hőmérséklet-változás, a hajlítószilárdságot pedig negatívan befolyásolja a hőmérséklet, különösen a lombos fafajok esetében. Megfigyelték, hogy a ciklikus hőmérséklet-változás negatívan befolyásolta az egy fafajokból készült gerendák rugalmassági modulusát (*MoE*) és hajlítószilárdságát (*MoR*), míg a több fafajú GLT a hajlítószilárdság növekedését mutatta, különösen a lombos fafajokok esetében (Kytka et al., 2022).

A nagy szilárdságú lombos GLT gerendák, köztük a tölgyfa hajlíthatósága és a mérethatás jól megjósolható egy olyan modell segítségével, amely figyelembe veszi a szomszédos rétegek közötti hajlítófeszültséggradienst (Aicher és Stapf, 2014). A GLT gyártása során használt ragasztóanyag típusa befolyásolja a mechanikai tulajdonságokat (Gáborík et al., 2016; Gaff et al., 2016; Gaff et al., 2017). A bükkfa lamellák például akkor mutatták a legnagyobb ütő-hajlító szilárdságot (*IBS*), ha polivinil-acetát (PVA) ragasztóval ragasztották őket (Gaff et al. 2016; Gaff et al., 2017). A ragasztó felhordásának módja, beleértve a ragasztási kötés vastagságát és helyét, hatással lehet a GLT nyírószilárdságára és merevségére (Ido et al., 2022).

Összefoglalva, a tölgy GLT hajlítószilárdságát számos tényező befolyásolja, beleértve a fafajt, a ragasztó típusát, a mérethatást és a környezeti feltételeket. A lombos fafajok rétegelt-ragasztott faanyagban való felhasználásának optimalizálására ipari szabványokat és gyakorlati ajánlásokat kezdtek kidolgozni, ami tükrözi a lombos fafajok szerkezeti alkalmazásokban való felhasználása iránti növekvő érdeklődést. Célunk, hogy megteremtsük az alapokat az alacsonyabb minőségű lombos faanyagok GLT-kben történő felhasználásához. Ennek megfelelően hajlítóvizsgálatokat végeztünk különböző kisméretű ragasztott tölgyfa elemeken. Az eredmények értékelésénél különös hangsúlyt fektettünk az alapanyagok hibáira.

2. Anyag és módszer

Az egyik alapanyagunk 20x50 mm keresztmetszetű és 500 mm hosszú (utóbbi a rostirány) nemes tölgy (*Quercus* spp.) lamella volt, gyalult felülettel, melyet a Zalaerdő Erdészeti Zrt. fűrészüzeméből (Lenti, Magyarország) hoztunk. Másik alapanyagunk a SEFAG Erdészeti és Faipari Zrt-től (Barcs, Magyarország) származó 5x100x1000 mm méretű vékony tölgyfa deszka, svartni volt. A 736 db gyalult lamella tartalmazott szijácsot, rostkifutást, a kisebb vastagság miatt fűrészelt felületeket, egészséges és korhadt, különböző méretű göcsöket egyaránt (1. ábra). Olyan gyenge minőségű lamellákat választottunk ki, amelyek legfeljebb az EN 975-1 (2009) szabvány QF3 és QF4 megjelenési osztályának felelnek meg. Minden lamellát lefényképeztünk, így részletes minőségi leírást tudtunk készíteni. A tölgyfa svartnik hibamentesek voltak. A fa alapanyagokat a műszárítás után egy műhelyben tárolták, ahol átlagosan 11,2%-os egyensúlyi nedvességtartalmat értek el a minták.

1. ábra. Tipikus fahibák a mintákhoz használt lamellákban

A próbatestek készítése során végig egyenletes klímaviszonyok uralkodtak. A lamellák rostirányban ékcsapos hossztoldással lettek összeillesztve, szélességben pedig tompa ütközéssel lettek ragaszva Jowat 195.60 izocianát ragasztóval, hogy 20x100x1000 mm-es elemek készüljenek. Az ékcsapos toldások egymás mellé kerültek az elem közepén, hogy a leggyengébb összeállítást vizsgálhassuk. A lamellák kész GLT gerendává ragasztása ugyanazon izocianát ragasztóval történt. A fent leírtműveletek jogi okokból meg nem nevezett gyártóüzemben lettek kivitelezve, ugyanazon módszerek alakalmazásával, amelyekkel ipari megrendelésekre gyártanak minősített tartószerkezeti elemeket, ezért a további részletek ismertetése nem áll módunkban (helyszín, technológia, préselési paraméterek, stb.). Az elemekből háromféle kisméretű GLT gerenda készült. Két elem összeragasztásával 40x100x1000 mm méretű 2 rétegű GLT gerenda, összesen 20 darab. Ennek megerősített változata 45x100x1000 mm-es volt, középen 5 mm vastag tölgyfa svartnival. Ebből 27 darab készült. A harmadik mintacsoport ca. 50x100x1000 mm méretű volt. A 20 db minta vastagság szerinti szerkezete 5 mm vastag tölgyfa svartni – 16 mm-es lamella – 5 mm vastag tölgyfa svartni – 16 mm-es lamella – 5 mm vastag tölgyfa svartni. A minták kondicionálása után (20 °C és 65% relatív páratartalom) 4 pontos hajlítóvizsgálatot végeztünk különböző támaszközökkel és a keresztfej 30 mm átmérőjű görgői közötti távolsággal, amint az az 1. táblázatban látható. A keresztfej görgői szimmetrikusan helyezkedtek el a támaszok között, az EN 408: 2010 + A1 (2012) szabványnak megfelelően.

1. Táblázat. Tesztbeállítások

Vastagság [mm]	Szélesség [mm]	Alátámasztás távolság [mm]	Nyomógörgő távolság [mm]
40	90	720	240
45	90	810	270
50	90	900	300

A hajlítóvizsgálatokat egy Instron 4208 (Instron Corporation, USA) univerzális anyagvizsgáló gépen végeztük. A terhelési sebesség 6,0 mm/min volt, ami megfelel a szabvány követelményeinek.

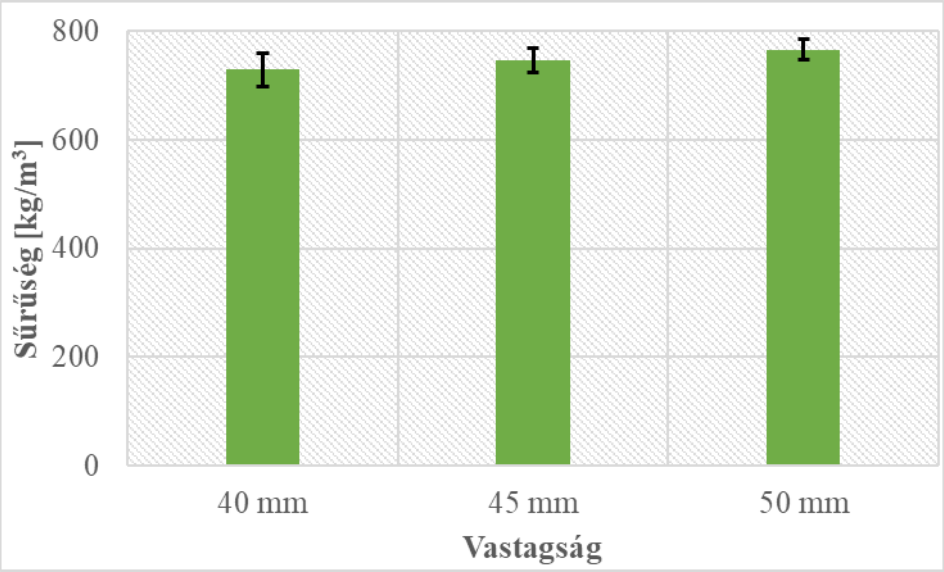
A hajlítóvizsgálatok előtt a próbatesteket először roncsolásmentes vizsgálatnak vetettük alá. A rostirányú sajátfrekvenciát használtuk, amely jó becslést ad a *MoE* értékére (Divós és mtsai. 1994). A méréseket egy Portable Lumber Grader Plus (PLG+) faanyagosztályozó berendezéssel végeztük (Fakopp Bt, Magyarország). Ez automatikusan meghatározta mind a sűrűséget (ρ), mind a dinamikus rugalmassági modulus-t (MoE_{dyn}) (Sismándy-Kiss, 2012; Bejó et al., 2022).

A rezgést a próbatest egyik végénél kalapáccsal indítottuk el, míg a jelet a próbatest másik végénél mikrofon érzékelte. A próbadarabot két ponton rezgéscsillapított párnákkal ellátott mérlegekkel támasztottuk meg a rezgés torzításának minimalizálása érdekében. A próbatestek pontos hosszát lézeres távolságmérővel figyeltük és automatikusan továbbították a számítógépbe, míg a keresztmetszetet kézzel kellett megadni. A rögzített rezgések szekvenciális dekódolása után a szoftver meghatározta a rostirányú hullámterjedési sebességet, a rezgési spektrumokat és a rezgési móduszok frekvenciáit, és automatikusan kiválasztotta a legmegfelelőbb frekvenciacsúcsot.

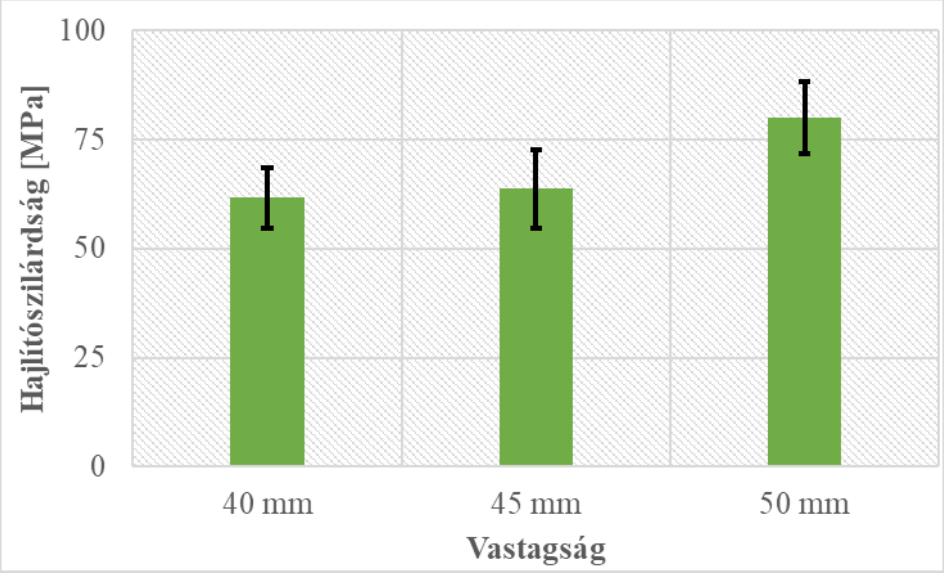
3. Eredmények és elemzés

Az összes vizsgálati eredmény alacsony szórása arra utal, hogy a nyersanyagok kiválasztása és a minták előkészítése jól történt, és a vizsgálatokat kellő pontossággal végeztük. A legtöbb esetben 10%-nál kisebb varianciát sikerült elérni. A faanyagvizsgálatok esetében a 10%-os variancia nagyon jónak számít, különösen, ha figyelembe vesszük, hogy az összes vizsgálati eredmény közül a legnagyobb variancia mindössze 14,2% volt.
A minták összehasonlíthatóságának megállapítása érdekében érdemes először a sűrűségüket elemezni. A 2. ábra a három mintacsaoport dinamikus vizsgálatokkal meghatározott átlagait és szórásait mutatja. Látható, hogy a sűrűségértékek a vastagsággal nőnek 729,0 és 766,7 kg/m^3 között. Tekintettel az egyébként alacsony szórásokra, a mintacsoportok között valószínűleg nincs statisztikailag szignifikáns eltérés.
A hajlítószilárdság a szerkezeti elemek egyik legfontosabb tulajdonsága. A 3. ábra diagramja azt mutatja, hogy a 40 mm és 45 mm vastagságú minták *MoR* értéke közel azonos (3,3% különbség) és bár nem készült statisztikai vizsgálat, a szórásokat is figyelembe

véve nem valószínűsíthető közöttük statisztikailag szignifikáns eltérés. Megállapítható, hogy a két lamella közötti vékony tölgyfa svartni hozzáadása szükségtelen, és nem javítja a próbatest *MoR* értékét. Az 50 mm vastag minta azonban 30%-kal magasabb, 80,0 MPa értékű átlagot adott, azaz a két külső rétegre ragasztott vékony tölgyfa svartnik jelentősen megnövelték a *MoR*-t. Ez annak is köszönhető, hogy az ékcsapos illesztések már nem a próbatestek külső rétegeinél helyezkedtek el, ahol a legnagyobb erők voltak, hanem beljebb. Ezért kevésbé voltak kitéve a törőerőknek, és a tömör tölgyfához képest gyengébb rendszerük kevésbé befolyásolta a végeredményt.



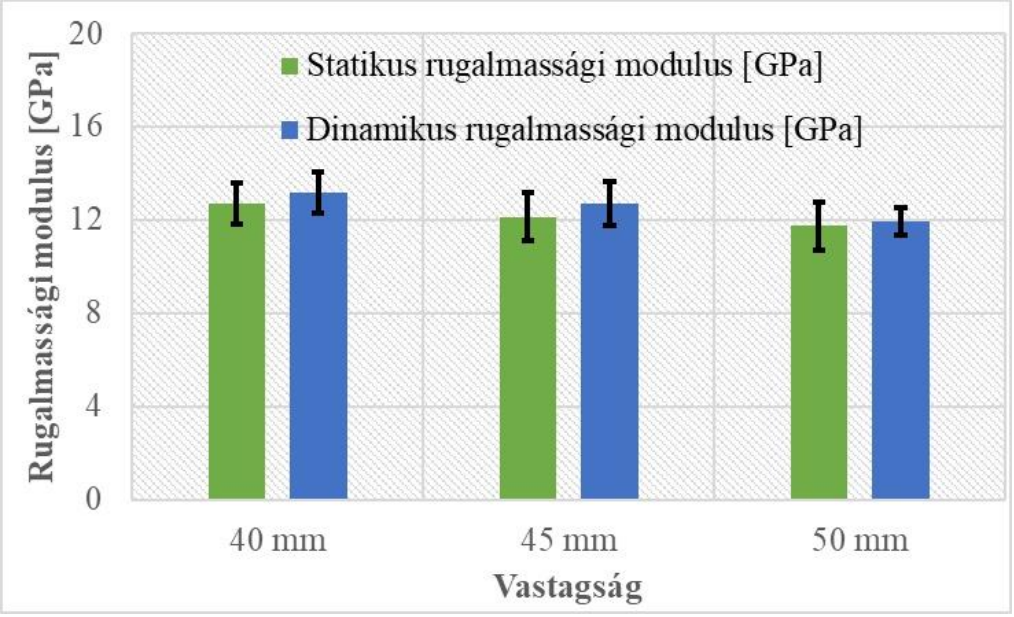
2. ábra. A kisméretű GLT minták sűrűségei



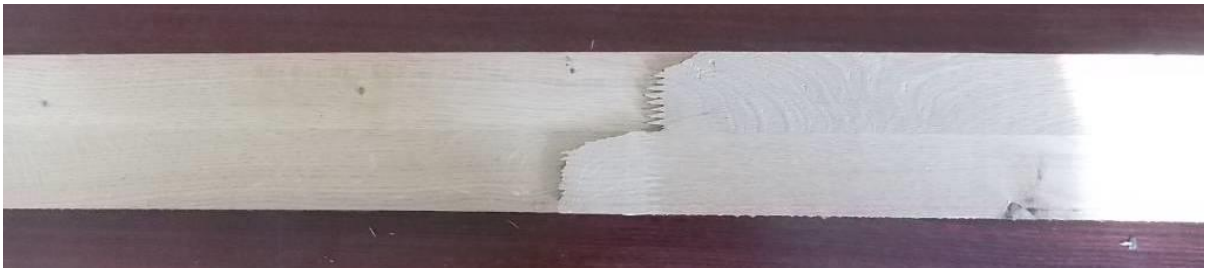
3. ábra. A kisméretű GLT gerendaminták hajlítószilárdsága

A *MoE* tekintetében két különböző mérési módszer eredményei hasonlíthatók össze. A 4. ábra zöld oszlopaiban látható hajlítóvizsgálatokból kapott eredmények a hatályos EN 408: 2010 + A1 (2012) szabvány követelményein alapulnak. A dinamikus vizsgálatból kapott roncsolásmentes eredmények, bár nem közvetlen méréssel kerültek meghatározásra, egyértelműen nagyon közel állnak a statikus hajlítóvizsgálat eredményeihez. Sőt, a szórásuk is hasonló vagy alacsonyabb. A próbatestek *MoE* értéke a vastagság növekedésével enyhe csökkenést mutat. A 40 és 50 mm vastag próbatestek között ez csak 7,7%, de valószínűleg statisztikailag szignifikáns különbség. A 12,7 GPa és 11,7 GPa közötti különbség azonban a szabvány szerinti szilárdsági osztályozás szempontjából elhanyagolhatónak tűnik.

A törésképek elemzése azt mutatja, hogy a legtöbb esetben a tönkremenetel az ékcsapos hossztoldásoknál következett be. Egy tipikus példa a 5. ábrán látható. Még az 50 mm vastag próbatestekre is igaz, ahol a külső rétegeknél nem voltak ékcsapos toldások, amelyek a legnagyobb erőknek voltak kitéve.



4. ábra. A kisméretű GLT gerendaminták rugalmassági modulusai



5. ábra. A 25-ös sorszámú, 45 mm vastag minta tipikus ékcsapos tönkremenetele

4. Összefoglalás

A tanulmány 2, 3 és 5 rétegű, rendre 40, 45 és 50 mm vastagságú, kisméretű szerkezeti rétegelt-ragasztott tölgyfa minták hajlítóvizsgálatait mutatja be. Roncsolásmentes vizsgálatokat és EN 408: 2010 + A1 (2012) szabvány szerinti hajlító-vizsgálatokat végeztünk. A lamellák nem voltak hibátlanok. Egyrészt a vizsgálati eredmények azt mutatták, hogy a statikus hajlítóvizsgálat és a dinamikus vizsgálat között nagyon kis különbség volt. Másrészt az 50 mm vastagságú minta 80 MPa hajlítószilárdsága jelentősen magasabb volt, mint a 40 mm vastagságú mintáké.

Ez azt jelenti, hogy különös figyelmet kell fordítani a rétegelt-ragasztott faanyag leginkább igénybevett, külső rétegeinek minőségére. A rugalmassági modulus a vastagság növekedésével kissé csökkent. A legtöbb esetben a hajlítóvizsgálati tönkremeneteleket az izocianát ragasztó meghibásodása okozta az ékcsapos toldásoknál, nem pedig a faanyag hibái.

Összefoglalva, a rétegelt-ragasztott tölgy faanyag mechanikai tulajdonságait elsődlegesen olyan tényezők befolyásolják, mint a rétegszerkezet és a külső rétegek minőségének változása. Ezen felül a szakirodalom alapján a ragasztó típusa is kiemelt jelentőségű. A tölgy mintákon végzett hajlítóvizsgálatok során fontos figyelembe venni a göcsök és az ékcsapos hossztoldások eloszlását. A rétegelt-ragasztott tölgy faanyag építési projektekben való felhasználásának előnyei közé tartozik a különböző terhelési körülmények között nyújtott megfelelő teljesítménye és a szerkezeti alkalmazásokban rejlő lehetőségei. További, kifejezetten a tölgyfára és a különböző szerkezeti ragasztótípusokra összpontosító kutatások hasznosak lennének, hogy közvetlenebb betekintést nyújtsanak ebbe a kérdéskörbe.

Szerzői nyilatkozatok

Báder Mátyás – vizsgálat, adatelemzés, felügyelet, írás.
Fehér Sándor – konceptualizálás, kutatásvezetés, módszertan, koordináció, adatelemzés, írás.
Horváth Dénes Ákos – vizsgálat, adatkezelés, forma, vizualizáció, írás, eredeti piszkozat.

Referenciák

Aicher, S. & Stapf, G., 2014. Glulam from European White Oak: Finger Joint Influence on Bending Size Effect. In S. Aicher, H.-W. Reinhardt, & H. Garrecht, eds. *Materials and Joints in Timber Structures*. Dordrecht: Springer Netherlands: 641-656. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7811-5_58

Bejó, L., Sismándy-Kiss, F. & Divós, F., 2022. International practice and Hungarian research regarding structural lumber grading (A fűrészáru szilárdsági osztályozásának nemzetközi gyakorlata és hazai kutatási eredményei). *Anyagvizsgálók Lapja*, 2022(I.): 27-37.

Blank, L., Jockwer, R., Frangi, A. & Fink, G., 2016. Quasi-brittleness of glued laminated timber beams subjected to bending. In A. Zingoni, ed. Insights and Innovations in *Structural Engineering, Mechanics and Computation*. Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL 33487-2742: CRC Press: 1714-1719. https://doi.org/10.1201/9781315641645-283

Divós, F., Daniel, I., Hodasz, E. & Jarasi, J., 1994. *Experimental Investigation of Thirteen Strength Predictor Parameters of Coniferous Wood*. In Proc. 1st European Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Sopron, Hungary: 341-349.

EN 408:2010+A1 (2012). Timber structures - Structural timber and glued laminated timber - Determination of some physical and mechanical properties. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 38 p.

EN 975-1 (2009). Sawn timber. Appearance grading of hardwoods. Part 1: Oak and beech. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 32 p.

Gáborík, J., Gaff, M., Ruman, D., Záborský, V., Kašíčková, V. & Sikora, A., 2016. Adhesive as a Factor Affecting the Properties of Laminated Wood. *BioResources*, 11(4): 10565-10574. https://doi.org/10.15376/biores.11.4.10565-10574

Gaff, M., Ruman, D., Svoboda, T., Sikora, A., Záborský, V. & Vallejo, C.R., 2017. Impact bending strength as a function of selected factors: 2 - Layered materials from densified lamellas. *BioResources*, 12(4): 7311-7324. https://doi.org/10.15376/biores.12.4.7311-7324

Gaff, M., Ruman, D., Záborský, V. & Borůvka, V., 2016. Impact Bending Strength as a Function of Selected Factors. *BioResources*, 11(4): 9880-9895. https://doi.org/10.15376/biores.11.4.9880-9895

Glavinić, I., Boko, I., Torić, N. & Vranković, J., 2020. Application of hardwood for glued laminated timber in Europe. *Journal of the Croatian Association of Civil Engineers*, 72(07): 607-616. https://doi.org/10.14256/JCE.2741.2019

Ido, H., Miyatake, A., Hiramatsu, Y. & Miyamoto, K., 2022. Effects of the presence or absence and the position of glued edge joints in the lamina on the shear strength of glued laminated timber. *Journal of Wood Science*, 68(1): 55. https://doi.org/10.1186/s10086-022-02062-1

Kytka, T., Gašparík, M., Sahula, L., Karami, E., Teterin, D., Das, S., Novák, D. & Sarvašová Kvietková, M., 2022. Bending characteristics of glued laminated timber depending on the alternating effects of freezing and heating. *Construction and Building Materials*, 350: 128916. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128916

Melzerová, L. & Šmídová, E., 2019. *Different types of damages of glued laminated timber beams. In Experimental Stress Analysis* - 57th International Scientific Conference, EAN 2019 - Conference Proceedings. 283-285.

Morin-Bernard, A., Blanchet, P., Dagenais, C. & Achim, A., 2020. Use of northern hardwoods in glued-laminated timber: a study of bondline shear strength and resistance to moisture. European *Journal of Wood and Wood Products*, 78(5): 891-903. https://doi.org/10.1007/s00107-020-01572-3

Sismándy-Kiss, F., 2012. *Fűrészáru szilárdsága és fizikai tulajdonságainak kapcsolata*. NyME Cziráki József Faanyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola.

Tran, V., Oudjene, M. & Méausoone, P. 2016. *Performance of oak timber in glued structural elements and joints*. In WCTE 2016 - World Conference on Timber Engineering. Vienna, Austria.

Bending test of small laminated-glued oak lumber consisting of 2-5 layers

Abstract
The aim of this article is to investigate the bending properties of glued-laminated timber (GLT) assembled from low-quality oak lamellae. Two-ply (40 mm thick), three-ply (45 mm thick) and five-ply (50 mm thick) GLTs were subjected to dynamic and static tests to determine the modulus of rupture (MoR) and modulus of elasticity (MoE). The results showed that the MoR is above 60 MPa for the two- and three-ply specimens and 80 MPa for the five-ply specimens with low standard deviances. MoE decreased overall by 7.7% with increasing thickness. Non-destructive and destructive tests gave similar results. It can be concluded that the quality of the outer layers was very important. However, the inner layers may contain wood failures such as slope of grain, sound- and dead knots, etc.
Keywords: GLT, flexural strength, modulus of elasticity, non-destructive, wood defects, Industry, innovation and infrastructure