

Nemesnyárból készült LVL mechanikai tulajdonságainak javítása lombos fafajokból készült furnérrétegekkel

I. rész: Roncsolásmentes vizsgálat és a tulajdonságok modellezése

VILPPONEN Edit¹, KOMÁN Szabolcs², BEJÓ László³

¹Aalto Egyetem

²NymE Faanyagtudományi Intézet

³NymE Faalapú Termékek és Technológiák Intézet

Kivonat

A hazai nemesnyár anyagok értéknovelt hasznosításának az egyik lehetősége az LVL termék készítése. A nyár LVL mechanikai tulajdonságai némileg elmaradnak a jelenleg kapható fenyő LVL paramétereitől. A tulajdonságok javíthatók keménylombos erősítő rétegek alkalmazásával.

Az ismertetett kutatás során óriás- és olasznyár fajtákból készült LVL mechanikai tulajdonságait módosítottuk bükk, csertölgy, illetve bálványfa erősítő furnérrétegekkel. Az elkészült LVL termékek mechanikai tulajdonságait roncsolásmentes módszerekkel és statikus vizsgálatokkal határoztuk meg. A lemezek rugalmassági modulusát modellezéssel is becsültük, a furnérrétegek elasztikus tulajdonságai és feltételezett tömörödése alapján. A cikksorozat első részében a roncsolásmentesen mért és modellezett elasztikus tulajdonságokat mutatjuk be.

Az erősítő rétegek használatával a rugalmassági modulus értékek szignifikánsan növekedtek. Bükk esetében a javulás a várakozásnak megfelelő volt, míg csertölgy, és különösen bálványfa esetén jóval meghaladták azt, ami mutatja, hogy e furnérok erősítő réteggé történő alkalmazásában jelentős lehetőségek rejlenek. Az alkalmazott modell jól becsülte a nyár kontroll lemezek és a bükk furnérral erősített lemezek rugalmassági modulusát, azonban konzervatív becslést adott a csertölgy és bálványfa rétegek hatása tekintetében.

Kulcsszavak: LVL, rugalmassági modulus, erősítő rétegek, laminációs elmélet, determinisztikus modell

Reinforcing the mechanical properties of poplar LVL with hardwood veneer layers

Part I.: Non-destructive testing and modelling the elastic properties

Abstract

One opportunity for the value-added utilisation of domestic poplar hybrids is manufacturing LVL products. The mechanical properties of poplar LVL are somewhat inferior to those of traditional Spruce/Pine LVL products. These characteristics may be improved by reinforcing the product using hardwood veneer layers.

In this study, the mechanical properties of poplar LVL were improved using beech, turkey oak and tree-of-heaven as reinforcement layers. The mechanical properties of the experimental LVL were determined using vibration testing and destructive ramp testing. The MOE was also estimated using a deterministic model based on the elastic properties and densification of the veneer layers. In this article, the non-destructively measured and model-predicted elastic properties are described.

The reinforcement layers improved the MOE significantly. Beech reinforcement performed as anticipated, while turkey oak and tree-of-heaven veneers increased the MOE more drastically than

expected. This indicates that these veneers are especially suitable for this purpose. The theoretical model predicted the MOE of the control and beech-reinforced specimen reasonably well, but provided a conservative estimate for the effect of turkey oak and tree-of-heaven.

Keywords: LVL, modulus of elasticity, reinforcement, laminate theory, deterministic modeling

Bevezetés

Az LVL tipikus értéknövelt faalapú anyag, melyben gyengébb minőségű alapanyag is felhasználható megbízható, és a természetes faanyagnál homogénebb szerkezeti anyag előállítására (Larson és tsai. 1986). A hazai nemesnyár anyagok értéknövelt felhasználására kitűnő lehetőséget biztosíthat a nyár LVL gyártása. A kísérleti eredmények jelzik azt is, hogy az olasznyár és egyéb nemesnyárok is alkalmasak LVL gyártmányok előállítására (Kovács és tsai. 1998, Kovácsvölgyi 2005). Ennek az anyagnak a teherbírási értékei ugyanakkor viszonylag alacsonyak, mindössze a jelenleg a piacon megtalálható luc- és erdeifenyőből készült LVL értékeinek a 80%-át érik el.

Az LVL mechanikai megerősítésével a múltban már több kutató is foglalkozott. Különböző megerősítési módszerek jöttek szóba:

- egyes furnérretegek keresztirányú elhelyezése (Finnforest 2007)
- a furnérreteg átlós irányú elhelyezése (Kairi 1996)
- a lágylombos faanyagból készült LVL erősítése keménylombos furnérretek elhelyezésével (Kovácsvölgyi 2005).

A nyár fafajból készült LVL mechanikai tulajdonságainak javítására többféle fafaj is felhasználható, többek között a bükk (*Fagus sylvatica*), mely közismert furnérfa, valamint a csertölgy (*Quercus cerris*) és a bálványfa (*Ailanthus altissima*), melyek a kevésbé értékes keménylombos fafajok körébe tartoznak. A csertölgy főként tűzifaként hasznosul, de igen elterjedt hazai fafaj. A bálványfát a botanikusok invazív fafajként tartják számon, Magyarországon igen gyakori (Molnár és Bariska 2006).

A tanulmányban ismertetett vizsgálat a hazai nyár faanyagból készített LVL mechanikai tulajdonságainak javítására irányult a térségben található, kevésbé értékes keménylombos fafajok, felhasználásával. A korábban nem használt bálványfa erősítő réteggént való felhasználása mellett a célkitűzés része volt az elasztikus tulajdonságok tervezhetőségének vizsgálata matematikai modellezéssel, különböző erősítő rétegek felhasználása esetén. A cikksorozat első részében a roncsolásmentes módon mért és modellezett rugalmassági modulus értékek ismertetésére kerül sor. A második részben mutatjuk be a mechanikai tulajdonságok statikus mérésének eredményeit.

Anyagok és módszerek

A kísérleti lemezek elkészítése

A vizsgálathoz négy különböző szerkezetű lemez került kialakításra. Minden lemez 14 párhuzamos rostirányú furnérből épült fel. A kontroll lemezek esetében a teljes szerkezet nyár fafajból (vegyesen *Populus × euramericana* cv. 'Robusta', illetve *Populus × euramericana* cv. 'I-214') készült, míg a többi lemeznél a fedőréteg alatti réteget helyettesítettük rendre bükk (*Fagus sylvatica*), csertölgy (*Quercus cerris*) és bálványfa (*Ailanthus altissima*) anyaggal. Mind a négy típusból 2 lemez készült, így összesen 8 lemez állt rendelkezésre a vizsgálatok folytatásához.

Az egyes furnérok tulajdonságait az 1. táblázat foglalja össze. Mint látható, a furnérok vastagsága eltérő volt, így az elkészült lemezek vastagsága is szórást mutatott. Az alkalmazott ragasztóanyag 55% szárazanyag-tartalmú Lendafen 150 fenol-formaldehid műgyanta volt, amit 63 g/m² (szárazanyag) mennyiségben hordtunk fel a felületre.

A lemezek préselése 60x60 cm préslap méretű laboratóriumi présberendezésben történt, 150 °C hőmérsékleten, 1 MPa nyomáson. Az alkalmazott présidő a nagy rétegszámnak és vastagságnak megfelelően 33 perc volt. A teríték alá és fölé teflon védőfóliát helyeztünk.

Az elkészült lemezekből a visszahűtést követően lemezenként 20 db, 25 mm szélességű és 530 mm hossz-méretű hajlító próbatest készült. A próbatestek vastagsága az alkalmazott furnéroktól függően 38-40 mm volt.

Az elvégzett mérések

A kutatás során a lemezeket felépítő furnérretegek, valamint az elkészült lemezek roncsolásmentes vizsgálatára is sor került. A furnérretegeken a hang terjedési sebességét mértük a lapsíkban rostirányban (longitudinálisan)

s arra merőlegesen (húrirányban, illetve a lapsíkra merőlegesen is (sugárirány). A lemezekből kialakított próbatesteken hajlítási sajátrezgési frekvenciát mérünk a lapsíkra merőleges síkban, és a lapsíkban is (vízszintes, illetve függőleges rétegelrendezéssel).

Összesen 1-1 db bükk és bálványfa, 2 db csertölgy, és 6 db nyár furnér vizsgálatára került sor, még a lemezek összeállítása és préselése előtt. A furnérok nedvességtartalma az 1. táblázatban megadott értékeknek megfelelő volt. Először mérőszalag illetve mikrométer segítségével meghatároztuk a furnérok hosszúsági, szélességi és vastagsági méreteit, illetve a súlyukat 0,01 g pontossággal. A furnérrétegeken, a lapsíkban gyorsulásérzékelők segítségével közvetlenül mértük a hangterjedési sebességét rostirányban, illetve arra merőlegesen. Mindkét irányban 5-5 mérést végeztünk, 55-480 mm közötti változó érzékelő-távolsággal. A kis távolságra való tekintettel a lapsíkra merőleges mérést speciális gyorsulásérzékelőkkel végeztük (1. ábra). A számított terjedési sebességből a rugalmassági modulus meghatározása Divós és tsai (1999) alapján történt. Lapsíkban a több különböző távolságon történt mérésekből számított E modulus, míg lapsíkra merőlegesen a több különböző helyen történt mérés átlaga adta a furnérra vonatkozó rugalmassági modulus értékeket.

Az elkészült lemezekből fűrészelt próbatesteken a hajlítási sajátrezgés mérését 1. modusban hajtottuk végre, lapsíkban, illetve arra merőlegesen is. Az első modusban mért sajátfrekvencia értékekből a rugalmassági modulus az Euler-egyenlet segítségével számítható (Divós és tsai 1999). A viszonylag alacsony hossz/magasság arány miatt a sajátfrekvenciát (és az abból számított rugalmassági modulus) a nyíró igénybevételből származó deformáció is jelentősen befolyásolja. A rugalmassági modulus precízebb meghatározására Timoshenko elmélete használható, azonban ehhez a 2. modusban is mérni kell a frekvenciát (Divós és tsai. 1999). Sajnos a már említett nagy viszonylagos vastagság miatt ennek precíz meghatározására nem volt lehetőség, így a meghatározott rugalmassági modulus értékek valamivel alacsonyabbak, mint tiszta hajlítás esetén.

A hajlító rugalmassági modulus modellezése

A többretegű tartók hajlító rugalmassági modulusának modellezésére használható az ún. laminációs elmélet (Bodig és Jayne 1982), amellyel a tartó ún. effektív rugalmassági modulusát határozhatjuk meg:

$$E_{eff} = \frac{\sum E_i I_i}{I} \quad [1]$$

ahol:

E_{eff}, I – a modellezett tartó hajlító rugalmassági modulusa és másodrendű nyomatéka

E_i, I_i – az egyes rétegek rugalmassági modulusa, illetve az egyes rétegeknek a tartó súlyponti tengelyére vetített másodrendű nyomatéka.

A fenti egyenlet a lapsíkra merőleges síkban történő hajlítás (fekvő rétegek) esetén érvényes. Élére állított próbatestek esetén (lapsíkkal párhuzamos hajlítási sík) a fentinel egyszerűbb módon, az egyes rétegek keresztmetszeti területével (A_i) súlyozott átlagos rugalmassági modulus (E_{atl}) használhatjuk.

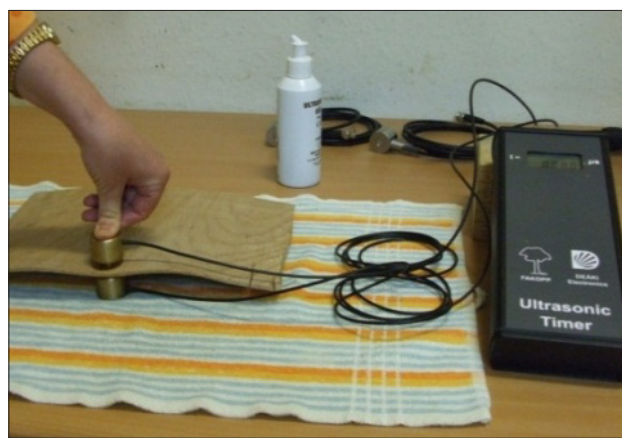
A modellezésnél a következő egyszerűsítő feltételezéseket használtuk:

1. táblázat A lemezek elkészítéséhez alkalmazott furnérok tulajdonságai (a furnérok lapmérete 610 x 610 mm)

Table 1 The properties of the veneers used in the panels (veneer sheet dimensions: 610 x 610 mm)

Fafaj	vastagság (mm)		nettó nedv. tartalom ¹ (%)
	névleges	tényleges ¹	
Nyár	3,2	2,95	3-4 %
Bükk	2,5	2,55	4-5 %
Csertölgy	2,5	2,60	4-5 %
Bálványfa	1,2	1,25	4-5 %

¹ A mérések vastagságmérő mikrométerrel és kapacitív nedvességmérővel történtek. 10-10 mérés átlaga.



1. ábra A rugalmassági modulus mérése sugárirányban

Figure 1 Measuring the MOE in the radial direction

- a furnérretek vastagsága fafajonként egyforma és egyenletes
- a próbatetek keresztmetszete nem változik
- a rétegek közötti ragasztás tökéletes
- a ragasztóanyag beszívódása nem befolyásolja az egyes rétegek rugalmassági modulusát
- a préselés folyamán az erősítő rétegek vastagsága nem változik; a nyomásból származó permanens alakváltozást és sűrűsénövekedést teljes mértékben a nyár rétegek szenvedik el, és a sűrűsénövekedés egyenletes a tartó keresztmetszetében.

Az egyes próbatetek effektív és átlagos rugalmassági modulusának (E_{eff} , $E_{\text{átl}}$) a számítását az [1] egyenletben, illetve az utána következő bekezdésben ismertetett módon végeztük. A bemeneti paraméterek meghatározása a következő módon történt:

- A próbatetek keresztmetszeti területe (A) és másodrendű nyomatéka (I) a tényleges, mért vastagságból és szélességből került meghatározásra.
- Az egyes furnérretek keresztmetszeti területének és másodrendű nyomatékának (A_i ill. I_i) számításához a tényleges meghatározott szélesség mellett szükség volt az egyes rétegek (préselés utáni) vastagságának a meghatározására. Ehhez a mért furnérvastagság középértékéből indultunk ki (1. táblázat).

A felösszegzett furnérvastagság és a tényleges vastagság eltérése a tömörödésből származik, amit a feltételezéseknek megfelelően a nyár rétegek szenvednek el. Ennek megfelelően a nyár furnérretek vastagságát arányosan és egyenlő mértékben csökkentettük. Az erősítő rétegek vastagsága az átlagos furnérvastagsággal volt egyenlő.

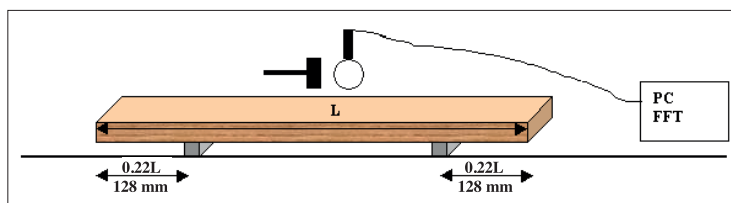
- A nyár furnérok vastagságcsökkenéséből számítható a furnérok sűrűsénövekedése ($\Delta\rho$), ami a rugalmassági modulusát is növeli. E növekedés (ΔE) becsléséhez Bejó és tsai (2001) rezgő nyárra érvényes (kísérletileg meghatározott) modelljét használtuk:

$$\Delta E = 1,606\Delta\rho - 0,008(\Delta\rho)^2 \quad [2]$$

- Az egyes rétegek rugalmassági modulusa (E_i) a rétegben felhasznált furnérok kísérletileg meghatározott rugalmassági modulusával volt azonos, amit a nyár furnérok esetén a [2] képletnek megfelelően megnöveltünk, a tömörödés figyelembe vételére.

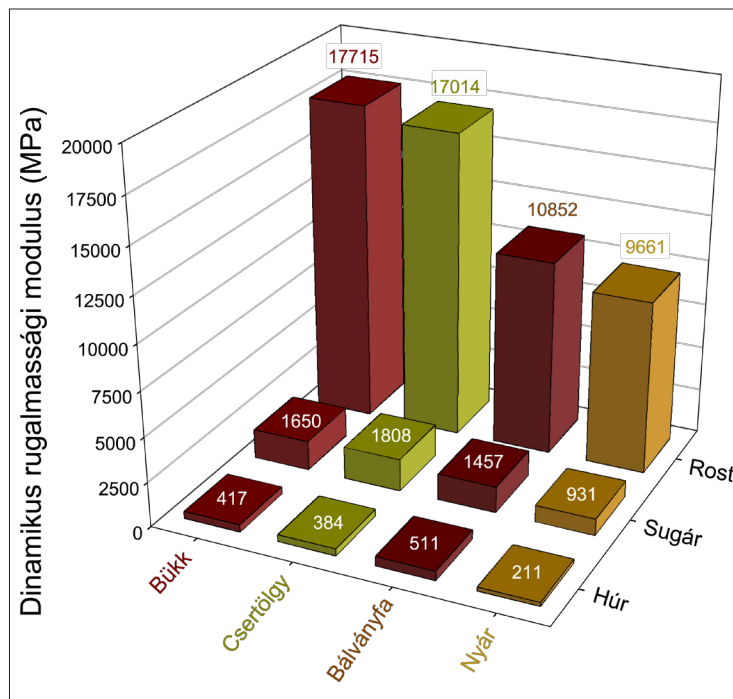
Eredmények és értékelés

Az egyes furnérok különböző anatómiai irányokban mért dinamikus rugalmassági modulus értékei a 3. ábrán láthatóak. Bodig és Jayne (1982) szerint a faanyag egyes anatómia irányokban mért rugalmassági modulusainak aránya $E_L:E_R:E_T \approx 20 : 1,6 : 1$ (Bodig és Jane 1982), ahol E_L , E_R és E_T a szálirányban, sugárirányban, illetve



2. ábra A próbatetek hajlító rugalmassági modulusának mérése hanghullámokkal (Divós 2004, a szerző engedélyével)

Figure 2 Measuring the bending MOE of the specimens using longitudinal sound waves (Divós 2004, reproduced by permission)



3. ábra A különböző furnérokban mért átlagos dinamikus rugalmassági modulusok az anatómiai főirányokban

Figure 3 Average dynamic MOE values measured on various veneers in the principal anatomical directions

érintőirányban mért rugalmassági modulus. A rost- és sugárirányú rugalmassági modulusok hozzávetőlegesen követik a fenti törvényszerűséget, és jól egyeznek az irodalmi adatokkal is (Molnár és tsai. 2000), azonban a húrirányú értékek elmaradnak ettől, inkább a longitudinális érték 1/40-ed részének felelnek meg. Ennek oka vélhetőleg a műszaki furnérok hámozási repedésében keresendő, melyek akadályozzák a hanghullámok terjedését tangenciális irányban, és ebből kifolyólag csökkentik az ebből számított rugalmassági modulusot is. Bár a rugalmassági modulus mérése ebben az irányban statikusan nagyon nehezen kivitelezhető, de feltételezhető, hogy az ilyen módon mért statikus rugalmassági modulus hasonló csökkenést mutatna. A fentiek alól kivételt képez a bálványfa, melynek esetében a tangenciális rugalmassági modulus értéke a fenti arányosságnak megfelelő. Korábbi mérések során amerikai fajokon ugyan magasabb értékeket mértek húrirányban, azonban a hazai mérések akkor is alacsonyabb tangenciális rugalmassági modulusot mutattak (Bejó és tsai. 2003).

A kész próbatesteken fekvő illetve álló rétegekkel mért dinamikus rugalmassági modulus értékeit (E_{lap} , illetve E_{el}) a 4. illetve 5. ábra mutatja. Ugyanezek az ábrák mutatják a matematikai modellezés eredményeit is. Az egyes erősítő rétegek hatását ANOVA vizsgálattal is ellenőriztük, amely egyértelműen kimutatta, hogy az erősítő rétegek hatása nagyon szignifikáns volt, mind a lapsíkban, mind az arra merőlegesen mért rugalmassági modulus esetében (2. táblázat). Az egyes erősítő rétegek hatását Duncan-próbával összehasonlítva (Duncan's New Multiple Range test) kiderül, hogy mindegyik faj hatása jelentős volt. A bükk réteg hatása jelentősen eltért a többitől, csak a csertölgy és a bálványfa erősítő rétegek hatása között nem mutatható ki szignifikáns eltérés.

Mint a 4. ábrán látható, a bükk furnérral történő erősítés a várakozásnak megfelelően jelentősen növelte az LVL lapra merőleges síkban mért rugalmassági modulusát (E_{lap}). Meglepő módon a valamivel alacsonyabb rugalmassági modulusú csertölgy furnér alkalmazásával a rugalmassági modulus javulása még jelentősebb volt. A korábbiakban Kovácsvölgyi (2005) szintén hasonló eredményeket tapasztalt cser furnér alkalmazásakor. A vékony bálványfa rétegek alkalmazása – melyeknek a mért rugalmassági modulusa egyébként is csak kis mértékben haladta meg a nyár furnérét – szintén igen jelentős, a cser furnér hatásától csak kis mértékben elmaradó javulást eredményezett. A laminációs elméletnek megfelelően modellezett rugalmassági modulus (E_{eff}) értékek jóval kisebb szórást mutatnak, mint a mért adatok. Ez nem meglepő, mivel a modellezés a furnérok sztochasztikus tulajdonságainak (a furnér rugalmassági modulus szórásának) a figyelmen kívül hagyásával történt, így a szóródás csupán a sűrűségváltozás hatását tükrözi.

Nyár kontroll próbatestek, és bükk furnér erősítés esetében a modell viszonylag helyesen becsüli az LVL átlagos rugalmassági értékeit, figyelembe véve, hogy a próbatesteken mért eredmények az alacsony fesztáv/magasság aránynak megfelelően valamivel alacsonyabbak, mint a valós dinamikus rugalmassági modulus értékek. Így nem meglepő, hogy a modell valamelyest túlbecsüli ennek az értékét. Csertölgy, és különösen bálványfa erősítő rétegek esetében a valós rugalmassági modulus értékek lényegesen meghaladják a modell segítségével becsült E_{eff} értékeket. Különösen a bálványfa furnérok jelentős hatása meglepő – itt a modell alapján csak minimális javulás volt várható.

A fenti eredményeknél még váratlanabb az élére állított próbatesteken mért rugalmassági modulus értékek (E_{el}) eloszlása (5. ábra). Mivel ebben az esetben az erősítő rétegek nem csak a húzott illetve nyomott övben helyezkednek el, elméletileg lényegesen kisebb mértékben kellett volna javítaniuk az élre állított, mint a fekvő rétegelrendezéssel mért rugalmassági modulusot. A modellezési eredmények (E_{eff}) is ezt a jóval mérsékeltebb javulást mutatják. Ezzel szemben az E_{el} értékek a valóságban nagyon hasonló javulást mutatnak az egyes erősítő rétegek alkalmazásakor, mint a lapjára mért rugalmassági modulus (E_{lap}), sőt, bizonyos esetekben még meg is haladják azt.

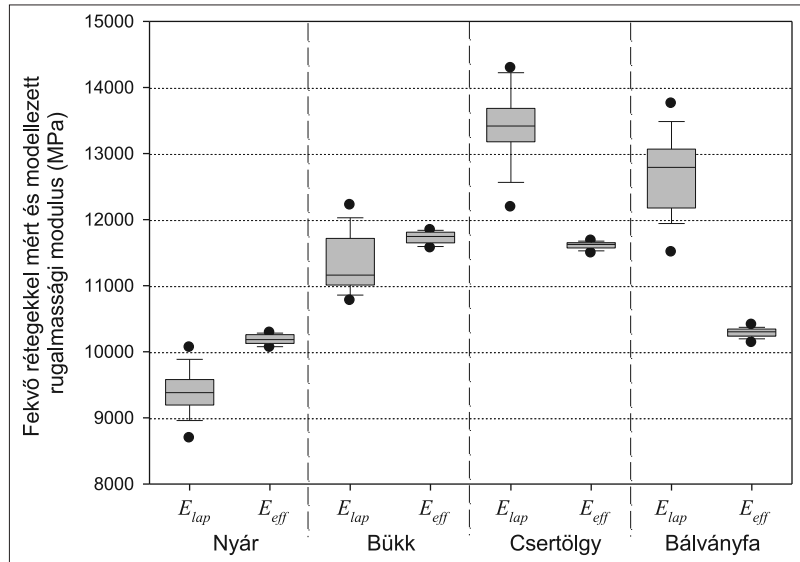
A fent említett inkonzisztenciák oka egyelőre ismeretlen. Ugyanakkor egyértelműen látható, hogy a modell által számított eredmények – a dinamikus rugal-

2. táblázat A fekvő (E_{lap}) és álló (E_{el}) rétegekkel mért dinamikus rugalmassági modulusok ANOVA táblázata

Table 2 ANOVA table of the dynamic MOE values measured with horizontal and vertical layers (E_{lap} and E_{el} respectively)

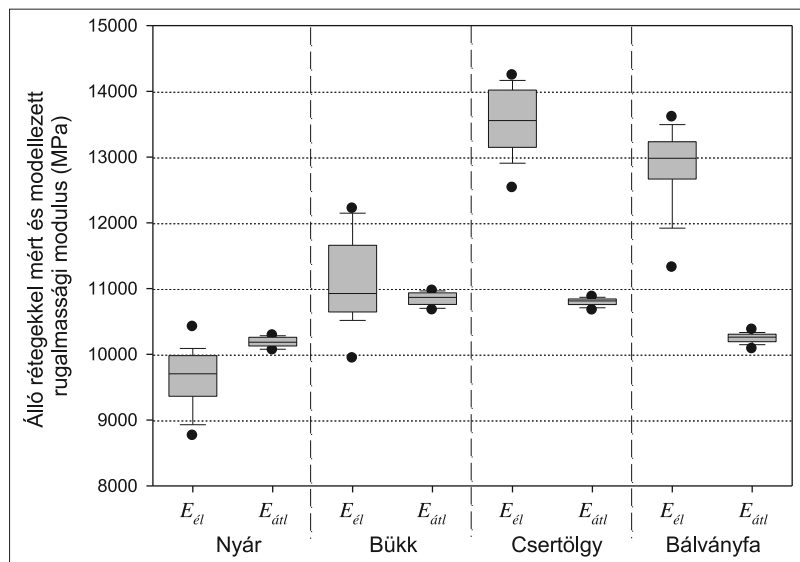
	Forrás	DF	SS	MS	F	F_{krit} ($\alpha = 0,05$)
E_{lap}	Fafaj	3	338,94	112,98	41,69	6,59
	Lemez	4	10,85	2,71	14,42	2,43
	Mérések	141	26,50	0,19		
	Összesen	148	375,59	2,54		
E_{el}	Fafaj	3	364,16	121,39	64,01	6,59
	Lemez	4	7,59	1,90	19,22	2,43
	Mérések	141	14,70	0,10		
	Összesen	148	413,62	2,65		

massági modulus mérésének szisztematikus hibáját is figyelembe véve – minden esetben konzervatív becslést adtak a valós rugalmassági modulus tekintetében. Jelenleg nehezen magyarázható, de egyértelmű pozitívum, hogy a csertölgy és a bálványfa rétegekkel történő erősítés jóval intenzívebben javítja a rugalmassági moduluszt az elméletileg várhatónál, és hogy álló rétegek esetén is ugyanakkora javulás tapasztalható, mint a fekvő rétegekkel történt mérésnél. Ez ugyan ellentmond az elméleti megfontolásoknak, de a gyakorlati felhasználáskor – amikor is többnyire élére állítva alkalmazzák az LVL-t – egyértelműen előnyt jelent.



4. ábra A fekvő rétegekkel mért (E_{lap}) és modellezett (E_{eff}) dinamikus rugalmassági modulusok összehasonlítása tiszta nyár, illetve keménylombos erősítő rétegekkel ellátott LVL esetében

Figure 4 Comparison of the measured and simulated dynamic MOE values (E_{lap} and E_{eff} , respectively), when using horizontal layers, in case of pure poplar LVL, and LVL reinforced by hardwood layers.



5. ábra Az álló rétegekkel mért (E_{el}) és modellezett (E_{atl}) dinamikus rugalmassági modulusok összehasonlítása tiszta nyár, illetve keménylombos erősítő rétegekkel ellátott LVL esetében

Figure 5 Comparison of the measured and simulated dynamic MOE values (E_{el} and E_{atl} , respectively), when using vertical layers, in case of pure poplar LVL, and LVL reinforced by hardwood layers.

Összefoglalás és következtetések

A nyár furnérból készült LVL elasztikus tulajdonságainak javítására tett kísérleteink során a külső rétegek közül 2-2 furnért keménylombos anyaggal helyettesítettünk. A furnérok, valamint az elkészült LVL próbatestek rugalmassági modulusának roncsolásmentes mérése, illetve az utóbbi elméleti modellezése alapján az alábbi következtetéseket vontuk le:

- A furnérokon mért rugalmassági modulus értékei jól illeszkednek az irodalmi adatokhoz, eltekintve a tangenciális irányban mért értékektől, amelyek a hámozási repedések miatt alacsonyabbak voltak.

- Az LVL próbatestek roncsolásmentes hajlító rugalmassági modulusa a várakozásnak megfelelően alakult a nyár kontroll próbatestek, és a bükk erősítő rétegek alkalmazása esetén. A csertölgy, és különösen a bálványfa erősítő rétegek hatása a vártnál jóval jelentősebb volt.

- Az élére állított próbatesteken – a várakozással ellentétben – a lapsíkban végzett méréshez hasonló javulás volt tapasztalható. Mivel az LVL tartókat jobbra élére állítva alkalmazzák, ez a gyakorlatban előnyt jelent.

- A laminációs elmélet alapján végzett determinisztikus modellezés a várakozásnak megfelelően a valósánál jóval alacsonyabb szórásokat eredményezett, és tipikusan konzervatív becslést adott a rugalmassági modulus tekintetében. További vizsgálatokra van szükség annak kiderítésére, hogy a laminációs elmélet miért nem működött maradéktalan sikerrel a vizsgált esetekben.

A vizsgálatok rámutatnak, hogy az iparilag egyébként kisebb jelentőségű, alacsonyabb értékűnek tartott csertölgy és a bálványfa furnérok különösen alkalmasak a nyár furnérból készült LVL tulajdonságainak a javítására. Ez mindenképpen indokolja a további vizsgálatukat ipari alkalmazás céljából.

A cikksorozat következő részében bemutatjuk a próbatestek statikus hajlítóvizsgálatának eredményeit, amelyek így összehasonlíthatóvá válnak a roncsolásmentesen mért, és az elméletileg modellezett rugalmasági modulus értékeivel. A továbbiakban a kísérletek más fafajok bevonásával folytatódnak, ami lehetőséget ad az elméleti modellezési eredmények finomítására is.

Köszönetnyilvánítás

Ez a tanulmány a Környezettudatos energia hatékony épület című TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0068 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Ezúton szeretnénk megköszönni a NymE Fa- és Papíripari Technológiák Intézetének, valamint a Faanyag-tudományi Intézet munkatársainak a segítséget és támogatást.

Irodalomjegyzék

- Bodig, J., B. A. Jayne (1982) Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold, New York, NY. 712 old.
- Divós F., Bejő L., Gergely L., Magoss E., Salamon Z. (1999) A faanyag roncsolásmentes vizsgálata. Egyetemi jegyzet, Soproni Egyetem. 78 old.
- Divós F. (2004) Roncsolásmentes faanyagvizsgálat – Új tantárgy a Nyugat-magyarországi Egyetemen. Faipar 52(4):14-19.
- Finnforest (2007) Kerto – a wood product for advanced structural engineering. Termékismertető brossúra. <http://www.specifinder.com/brochures/2372_pdf101.pdf> Megtekintve: 2013. november 29.
- Kairi M. (1996) Diagonal Veneer Laminate. Amerikai szabvány, US 5507905
- Kovács Zs., Láng E. M., Szabadhegyi Gy. (1998) A nyár faanyag értéknövelő hasznosítása Magyarországon. In: Tóth B. szerk. Az Erdészeti Tudományos Intézet Kiadványai 9, 182-191. old. ISBN 963 7349 17
- Kovácsvölgyi G. (2005) LVL típusú termékek előállítása nyár klónok alapanyagbázisán. Doktori disszertáció, NymE Faipari Mérnöki Kar. 123 old.
- Larson, D.S., L. B. Sandberg, T. L. Laufenberg, G. P. Krueger, R. E. Rowlands (1986): Butt Joint Reinforcement in Parallel-Laminated Veneer (PLV) Lumber. Wood and Fiber Sci. 19:414-429.
- Molnár S., Varga F.-né, Fehér S., Németh R. (2000). A faanyag műszaki tulajdonságai. In: Molnár S. szerk. Faipari Kézikönyv I. Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron 59-88. old.
- Molnár S., Bariska M. (2006) Magyarország ipari fája. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest