

ÚJ FAKOMPOZITOK FURNÉRHULLADÉKBÓL

INNOVATIVE WOOD COMPOSITES FROM VENEER RESIDUES

Dr. Dénes Levente, Dr. Kovács Zsolt**, Dr. Láng Elemér****

ABSTRACT

This paper describes the use of sliced veneer waste as base material for producing new types of engineered wood products. We worked out two models for predicting the strength and stiffness of such composites. The first one calculates the properties of the composite from the random values of orthotropic particle properties and their geometry on the basis of the theory for built-up sections. The distribution of the orthotropic strength properties of raw material has been determined on solid wood samples as well as on veneers of several domestic timber species. Functions describing the orthotropic behaviour have been derived and fit, using the Ashkenazi strength criteria, four-dimension tensor transformation and the modified Hankinson formula. The effects of glue penetration, compression and heat on strength properties and density of wood particles have been identified. The second model is a response surface. The study resulted in four characteristic structural composites and a novel lay-up/resin application technology. The superior mechanical properties achieved and the vast availability of high quality raw materials clearly indicate the possibility of a better utilization of wood resources

1. BEVEZETÉS

Felmérések és becslések (UNECE 2003) szerint a 2000-es évek elején Európában évente mintegy 800.000 m³ keményfa furnért állítottak elő. Figyelembe véve a furnérhasítás és valamint méretre vágás jellemző kihozatali értékeit, a feldolgozott rönktérfogatnak mintegy 21–30%-a ollózási eselékke alakul. Minthogy a kemény lombosok rönkminősége csökkenő tendenciát mutat, ez a hányad várhatóan nőni fog a jövőben.

Ma ez a magas értékű másodnyersanyag legnagyobb részét hőenergia forrásként hasznosul, mégpedig általában kis hatásfokkal. Ritkábban előfordul a forgácslap alapanyagként való további feldolgozása aprítás útján, jóllehet az alapanyag minőségi jellemzői szerkezeti célú hasznosításra alkalmas új termék előállítását is lehetővé tennék.

*egyetemi docens, NymE Faipari Mérnöki Kar Terméktervezési és Gyártástechnológiai Intézet

**egyetemi tanár, NymE Faipari Mérnöki Kar Terméktervezési és Gyártástechnológiai Intézet

***egyetemi tanár, NymE Faipari Mérnöki Kar Terméktervezési és Gyártástechnológiai Intézet

2. CÉLKITŰZÉSEK

Az utóbbi évtizedekben a tervezett fatermékek népszerűségének folyamatos növekedését tapasztalhatjuk. Ide tartozik az irányított forgácslap (oriented strand board, OSB), rétegelt furnérfa (laminated veneer lumber, LVL), hosszú forgács alapú termékek (parallel strand lumber, PSL, laminated strand lumber, LSL). Keresettségüknek két oka van: (1) mechanikai tulajdonságaik nagyobb terhelhetőséget tesznek lehetővé, ezáltal alkalmazásuk gazdaságosabb; (2) a hatékonyabb feldolgozási technológia nagyobb anyagkihozattal jár.

Kutatásunk célja tervezett tulajdonságú fatermékek kifejlesztése szerkezeti célokra a hazai kemény lombos fafajok ortotrop mechanikai tulajdonságainak alapján. Tervezett tulajdonságú új termék alatt azt értjük, hogy a termék tulajdonságait képesek vagyunk előre jelezni a felhasznált alapanyag jellemzői és a technológiai paraméterek alapján, illetve képesek vagyunk ezeket a bemeneti jellemzőket a kompozit termék elérendő tulajdonságainak megfelelően megválasztani. Ebből adódóan a célkitűzések magukba foglalták a kompozit fatermék szilárdsági és merevségi tulajdonságainak előrejelzésére alkalmas modell kidolgozását is. Két különböző típusú modellel kísérleteztünk. Az első a kompozit termék tulajdonságait az ortotrop farészecskék véletlenszerűen ingadozó tulajdonságaiból és geometriájukból vezeti le. A másik, teljesen sztochasztikus modell előállításához a tervezett kísérletek technikáját használtuk. Cikkünkben az első típusú modellezés kapcsán csak az alapanyagok ortotrop tulajdonságainak előrejelzésére irányuló vizsgálatokat és eredményeiket szemléltetjük, a második, sztochasztikus megközelítést átfogóan bemutatjuk.

3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK:

A szerkezeti célokra alkalmas, faalapanyagú kompozit anyagok tulajdonságainak előrejelzése szükségessé teszi az alkotó részecskék mechanikai tulajdonságainak ismeretét. Az alapanyag ortotrop szilárdsági jellemzőit és azok eloszlását hazai kemény lombos fafajokból készített tömörfa és furnér próbatesteken határoztuk meg. Több fafajon nagyszámú vizsgálatot végeztünk, hogy matematikai modellel képesek legyünk előre becsülni az irányfüggő szilárdsági és mechanikai tulajdonságokat. Egyebek között vizsgáltuk a csertölgyet (*Quercus cerris*), nyárfát (*Populus x. Euramericana* cv. Pannonia) is. Megállapítottuk a vizsgált tulajdonságok eloszlásjellemzőit is, az eredményeket más publikációkban közöltük (Láng 2002, Láng 2003).

A technológiai behatásoknak alávetett alapanyag tulajdonságainak megváltozását bükkből (*Fagus silvatica*) és hegyjuharból (*Acer pseudoplatanus* L.) készült hasított furnér próbatesteken vizsgáltuk. A kompozit gyártási technológia hatásait úgy vizsgáltuk, hogy az egyes furnérretegekre megfelelő mennyiségű ragasztóanyagot hordtunk fel, majd azokat hőprésben, nyomás alkalmazásával keményítettük ki. Az ortotróp dinamikus rugalmassági modulus értékeit ultrahangos technikával határoztuk meg. Ezeknek a kísérleteknek és eredményeiknek részletes leírása a hivatkozott irodalomban megtalálható (Kovács 2002, Dénes 2002).

A tervezett tulajdonságú termékek kifejlesztésének alternatív módszereként tervezett kísérleteket alkalmaztunk. Ezen belül a válaszfelület módszert választottuk.

A kompozit alapanyagként azt az eselék anyagot használtuk fel, ami az akár száraz, akár nedves hasított furnér lapok méretre történő ollózásakor képződik. A Magyarországon színfurnérként elterjedten alkalmazott két fajtát, a bükköt és a hegyi juhart választottuk. A kísérletekhez a furnér eselék anyagból azonos szélességű csíkokat vágunk. Ezekből a keskeny csíkokból, miután azokat fenolformaldehid alapú ragasztóanyaggal vontuk be, irányított, egymást keresztező elrendezésű rétegeket alakítottunk ki. Az így kialakított paplanokat hőprésbe helyeztük ahol a ragasztó kikeményedése és a paplan megszilárdulása magas hőmérsékleten és nyomáson ment végbe.

A kompozit lapokat a felépítésük és gyártási paramétereik optimalizálása céljára felállított kísérlettervnek megfelelően állítottuk elő. Kísérleteinkhez hét befolyásoló tényezőt vontuk be a vizsgálatokba, mindegyiket két szinten való beállítással, amit az 1. tábla összegez.

A szükséges beállítások számának redukálására részletes faktoros kísérleti tervet állítottunk fel, mely összesen 16 beállítást tartalmazott.

1. táblázat. A tervezett kísérlet faktorai és beállítási szintjei

	Faktorok	Alacsony szint	Magas szint
A	Fafaj	bükk	juhar
B	Csíkszélesség	15mm	35mm
C	Átlapolás	0%	50%
D	Lapvastagság	35 réteg 15-18mm	75 réteg 35-40mm
E	Orientáció szöge	15°	30°
F	Présnyomás	2,16 MPa	3,14 MPa
G	Préshőmérséklet	130 °C	160 °C

A felállított terv egy teljes négyfaktoros tervből indul ki, amelyben a háromfaktoros kölcsönhatások helyén vontunk be újabb faktorokat. Emiatt a fő faktorhatások keverednek háromfaktoros és magasabb rendű kölcsönhatásokkal, valamint a kétfaktoros kölcsönhatások egymás közötti keveredése lép fel. A terv így egy negyedrendű feloldóképességű, 2IV 7-3 részleges faktoros terv.

A tizenhat kísérleti beállítás mindegyikére véletlen sorrendben három – három ismétlést végeztünk, így összesen 48 panelt készítettünk. Megjelenésre az előállított anyag erősnak tűnik, az alkotó fafaj jellegeit hordozza. Az előállított lapokat próbatestekké vágunk fel különböző vizsgálata elvégzésére.

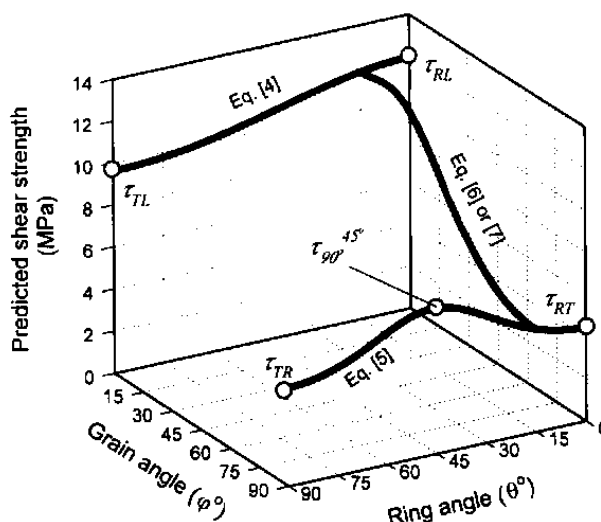
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1. Az alkotó anyagok tulajdonságainak előrejelzése

A tömörfa próbatestek vizsgálatával célunk megbízható modell felállítása volt az ortotróp szilárdsági és rugalmassági tulajdonságoknak a rostirány és évgyűrű-elhelyezkedési szög függvényében való előrejelzésére. A kipróbált modellek közül a Szalai által kifejtett négydimenziós tenzorelmélettel (Szalai 1994) kombinált, változó kitevőjű, tapasztalati két-dimenziós Hankinson – formula (Hankinson 1921) bizonyult az ortotróp szilárdsági tulajdonságok legjobb előrejelzőjének. Példaképpen a nyírószilárdságra ez a kombinációs modell röviden az alábbi formában írható fel

$$\tau_{\varphi,\theta} = \frac{\tau_{0^\circ,\theta} \cdot \tau_{\theta^\circ,\theta}}{\tau_{0^\circ,\theta} \cdot \sin^n \varphi + \tau_{\theta^\circ,\theta} \cdot \cos^n \varphi} \quad (1)$$

Az 1. ábra ennek a modellnek a szemléltetése. A fenti egyenlet az ábrán jelölt (7) görbe, míg a (4) és (5) görbék egyenletei a tenzorelmélet szerinti, 0 fokos, illetve 90 fokos rostiránynak megfelelő egyenletek.



1. ábra. Az előrejelzés elve a kombinált modell esetében

Az alapanyag tulajdonságoknak a technológiai hatások következtében történő megváltozását a változó kitevőjű két-dimenziós Hankinson – formulával modelleztük, amit a mért adatokra a rostirány függvényében illesztettünk. A ragasztás és azt követő hőpréselés a furnércsíkok látszólagos rugalmassági modulusának a rostirány függvényében közel lineáris változását eredményezte.

4.2. A tervezett kísérletek eredményeinek elemzése

A kísérleti eredményeket regresszió számítással és varianciaanalízissel dolgoztuk fel. Jelen cikkben a hajlítószilárdságra és hajlító rugalmassági tényezőre nyert eredményeket mutatjuk be. A 2. ábra a hét befolyásoló tényező hatásábráit mutatja a hajlító rugalmassági modulusra. Látható, hogy a panel síkjával párhuzamos síkú hajlítás esetében négy faktorhatás adódott szignifikánsnak: fafaj, lap-

vastagság, orientáció és nyomás. Az alábbi lineáris modell írja le a vizsgált tulajdonságot a négy befolyásoló tényező függvényében. Ha a faktorokat az optimális szintjükre állítjuk be, a rugalmassági modulus mintegy 40%-kal halad meg a valamennyi kísérleti eredmény átlagát:

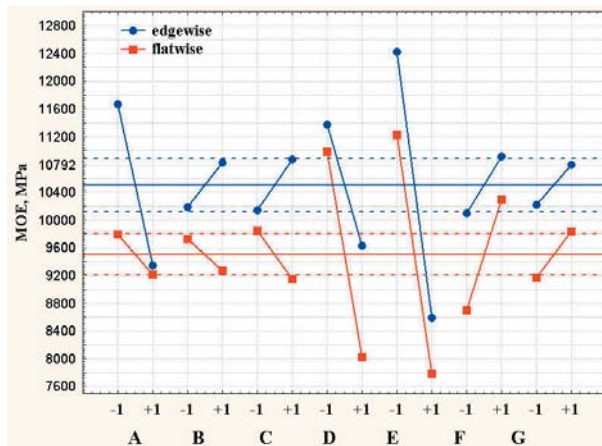
$$yE = 10506,3 - 1164,2A - 873,2D - 1915,9E + 412,7F \quad (2)$$

$$yE_{opt} = 14872,3 \text{ MPa} \quad (41,5\% \text{ növekedés}) \quad (3)$$

A lap síkjára merőleges hajlítás esetében a szignifikáns tényezők sora kiegészült egy ötödikkal, a szomszédos rétegek furnérsíkjainak átlapolási hosszával. A faktorokat az optimális szintjükre beállítva, a rugalmassági modulus mintegy 50%-kal haladja meg a valamennyi kísérleti eredmény átlagát:

$$yF = 9501,6 - 350,8C - 1478,9D - 1720,8E + 795,3F + 334,8G \quad (4)$$

$$yF_{opt} = 14182,2 \text{ MPa} \quad (49,3\% \text{ növekedés}) \quad (5)$$



2. ábra. A faktorok hatásdiagramjai a rugalmassági tényező esetében. Pontok: lap síkjával párhuzamosan; négyzetek: lap síkjára merőlegesen. A szaggatott vonalak a ± 2 standard hibának megfelelő intervallumot jelentik.

A lap síkjával párhuzamos hajlítás esetében a furnérsík szélesség kivételével valamennyi faktor hatása jelentősnek bizonyult. A regressziós modell alapján ez a szilárdsági jellemző 48%-kal növelhető az összes beállítás átlagához képest.

Ezzel szemben a lap síkjára merőleges hajlítás esetében csak három tényező, a vastagság, orientáció és nyomás jelentős hatása. Ennek a három tényezőnek az optimális szintre állítása közel 70%-os szilárdságnövekedést eredményez.

5. KÖVETKEZTETÉSEK, ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás legfontosabb eredményei az alábbiakban foglalhatók össze:

Az újonnan kifejlesztett kompozit termék a késelt furnér ollózási hulladékának növelt értékű hasznosítását teszi lehetővé. A kísérlettervezési eljárás jól hasznosítható eredményeket adott nagyobb számú befolyásoló tényező viszonylag kevés beállítással történő vizsgálatával. A ru-

galmassági jellemzőket befolyásoló legfontosabb tényezők a lapvastagság, a furnérsíkok orientációja és a préselési nyomás. A kísérleti tervben előálló keveredési rendszer miatt az elsőrendű kölcsönhatásokat nem lehetett egymástól függetlenül kiértékelni. A kísérleti adatok függetlenek, állandó varianciával, a meghatározott regressziós modellek érvényesek és adekvátak.

6. CONCLUSIONS, SUMMARY

The most important achievements of the research can be summarised as follows:

The newly developed composite presents the most valuable utilization of the sliced veneer waste. The experimental design method gives valuable results even when investigating several factors' effect with few runs. The most important factors which influence the elastic properties of the composite are thickness, orientation and pressure. The given confounding system didn't permit to assess the first order interactions independently. The data are independent and have a constant variance so the presented regression model is appropriate

REFERENCES

- [1.] DÉNES L., KOVÁCS ZS., BÁLINT ZS., LÁNG E. 2002: Színfurnérok rugalmasságának anizotrópiája. II. rész. Faipar 2002. szeptember. pp. 21-24
- [2.] HANKINSON, R. L. 1921: Investigation of crushing strength of spruce at varying angles of grain. Air Service Information Circular No. 259, U. S. Air Service, 1921.
- [3.] KOVÁCS ZS., DÉNES L., BÁLINT ZS., LÁNG E. 2002: Színfurnérok rugalmasságának anizotrópiája. I. rész. Faipar 2002. április. pp. 3-7.
- [4.] LANG E. M., LANG, E. M., L. BEJO, J. SZALAI, ZS. KOVACS AND B. ANDERSON 2002: Orthotropic Strength and Elasticity of Hardwoods in relation to Composite Manufacture. Part II.: Orthotropy of Compression Strength and MOE. Wood and Fiber Science, 34(2), 2002, pp 350-365.
- [5.] LANG E. M. BEJO L., F. DIVOS, ZS. KOVACS AND R. B. ANDERSON 2003: Orthotropic Strength and Elasticity of Hardwoods in relation to Composite Manufacture. Part III: Orthotropic Elasticity of Structura Veneers. Wood and Fiber Science, 35(2), April 2003, pp 308-320.
- [6.] SZALAI J. 1994: Anisotropic strength and elasticity of wood and wood based composites. Private ed. Sopron, Hungary (in Hungarian).
- [7.] UNECE Timber Committee statement on forest products markets in 2002 and 2003