

**FAIPAR 62. évf. (2014)**  
**1. SZÁM**

**DOI: 10.14602/WoodScience-HUN\_2014\_1**

# Javaslatok rétegelt-ragasztott fatartók tervezéséhez, gyártásához és üzemeltetéséhez, felmérési és modellezési eredmények alapján

II. rész: A számítómodell és azok eredményeinek bemutatása a rétegelt-ragasztott fatartók tönkremenetelek okaira

VANYA Csilla<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pécsi Tudományegyetem, Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar

Kapcsolat: vanya.csilla@pmmik.pte.hu

## Kivonat

A rétegelt-ragasztott fatartók egyre elterjedtebbé váltak az elmúlt 50 évben. A megfelelő minőségű anyagokból készített rétegelt-ragasztott tartók minőségi beszerelést és üzemeltetést követően időállóak, azonban egyre több esetben fordul elő a rétegelt-ragasztott tartók károsodása és a károsodás miatt egész tetőszerkezetek életveszélyessé válása. A felmerülő problémák miatt Magyarország jelentősebb komplexumait felmérték, ahol rétegelt-ragasztott tartók a teherhordó szerkezetek. A tartók rétegrepedéseit és egyéb tönkremeneteli problémáit, az épületek üzemeltetési jellegzetességeinek figyelembevételével határozták meg. A hibák ok-okozati összefüggéseit mérésekkel és számítási eljárásokkal vizsgálták. Ezek után az összes tapasztalatból iránymutató következtetések és javaslatok születtek, a tervezésre, a gyártásra és az üzemeltetésre vonatkozóan.

**Kulcsszavak:** rétegelt-ragasztott faszerkezet, delamináció, felmérés

## Design, fabrication and operation proposals for glued-laminated timber, based on measuring and modelling results

Chapter 2: The calculation model and its results used for determination the reasons of damaging of glued-laminated timbers

## Abstract

Glue-laminated timber beams have been used in an increasing number of cases in the past 50 years. Glue-laminated beams are durable constructs if they are manufactured from adequate quality materials and if their installation and operation are performed to a high quality standard. There are however an increasing number of cases of glue-laminated beams suffering damage, and, as a result, entire roof structures becoming unsafe. Because of the arising problems the most important building complexes in Hungary, -in which glue-laminated beams are used as bearing structures,- have been examined. The assessment included both the damage problems of the existing structures and the operating features of the buildings. Later, the reasons for the damages were determined with measurements and calculations. From all of these observations, conclusions and suggestions were outlined for the design, construction and operation of the structures.

**Keywords:** glue-laminated structures, delamination, assessment

## Bevezetés

Mint azt a cikksorozat első részében (Vanya 2014) is leírtuk, a rétegelt-ragasztott fatartók egyre több esetben károsodnak és a károsodások okán egyre több tetőszerkezet válik életveszélyessé. A felmerülő problémákat és azok okait átfogóan kell vizsgálni, melynek megvalósítása nem kis feladat. A Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Karának Műszaki Mechanika és Tartószerkezetek Intézete elnyert egy pályázati támogatást (Baross Gábor RRTARTO1 OMFB-00398/2010). Ezen a pályázaton belül a felmért szerkezetek rétegrepedéseit és egyéb tönkremeneteli problémáit már bemutattuk a korábbi cikkünkben.

A felmért tönkremeneteli problémák magyarázatára egy olyan számítómodellt készítettünk, mely a külső terhelésből származó feszültségeket nem a mai gyakorlat által számításba vett homogén tartókeresztmetszetként, hanem a réteges szerkezetet figyelembe véve számítja. A számítások során nem csak a külső terhelésből származó feszültségeket, hanem a gyártási és a változó klimatikus hatások következtében keletkező sajátfeszültségeket is meghatározza. A feszültségeket külön-külön és egyben is vizsgáltuk. Ebben a cikkben ezt a számítási modellt és az ezekkel végzett kísérletek eredményeit mutatjuk be.

## A számítómodell

A von Roth (1975) által meghatározott, rétegelt-ragasztott íves tengelyű fatartók külső terhelésből származó feszültségeinek, illetve a Szalai (2001) által levezetett gyártási- és klimatikus sajátfeszültségeknek a számítását anizotrop alapon használtuk fel. Mindhárom feszültség számítására külön-külön példákat dolgoztunk ki, különféle geometriát és terhelési eseteket figyelembe véve, végül meghatároztuk és összegeztük egy rétegelt-ragasztott íves fatartón mindhárom hatás feszültség-állapotmezejét. Mindhárom számításban az eredeti jelölésrendszert használtuk és csak az összegzésnél, illetve az erőtan mértekezésnél választottunk egységes jelölésrendszert. A számításokat MS Excel program segítségével végeztük.

## Az egyes feszültségfajták meghatározásának bemutatása

Az íves rétegelt-ragasztott fatartók külső terhelésből származó feszültségeinek analitikus meghatározását Roth (1975) vezette le. A feszültségek számítása az alábbi formulákkal történik:

$$\sigma_{rr} = \frac{M_0 + N_0 \cdot R}{W} \cdot K_{rr}^M + \frac{Q_0}{F} \cdot \sin\varphi \cdot K_{rr}^Q + \frac{N_0}{F} \cdot \cos\varphi \cdot K_{rr}^N, \quad [1]$$

$$\sigma_{\varphi\varphi} = \frac{M_0 + N_0 \cdot R}{W} \cdot K_{\varphi\varphi}^M + \frac{Q_0}{F} \cdot \sin\varphi \cdot K_{\varphi\varphi}^Q + \frac{N_0}{F} \cdot \cos\varphi \cdot K_{\varphi\varphi}^N, \quad [2]$$

$$\sigma_{r\varphi} = \frac{N_0}{F} \cdot \sin\varphi \cdot K_{r\varphi}^N + \frac{Q_0}{F} \cdot \cos\varphi \cdot K_{r\varphi}^Q, \quad [3]$$

ahol:

$\sigma_{\varphi\varphi}$  – a rostokkal párhuzamos normálfeszültség

$\sigma_{rr}$  – a rostokra merőleges normálfeszültség

$\sigma_{r\varphi}$  – a nyírófeszültség

$W$  – a keresztmetszeti tényező

$F$  – a keresztmetszet területe

$N_0, Q_0, M_0$  – a tartó belső erői a vizsgált szakasz kezdeti keresztmetszetében

$R$  – a tartó súlyponti szálának görbületi sugara

$\varphi$  – a számolni kívánt keresztmetszet helyének szöge a kezdeti számítási ponttól

$K_{rr}^M, K_{rr}^N, K_{\varphi\varphi}^M, K_{\varphi\varphi}^N$  – faktorok, melyek a geometriai jellemzőkből és az anyagtulajdonságokból számíthatók, valamint:

$$K_{rr}^Q = -K_{rr}^N, \quad K_{r\varphi}^N = K_{rr}^N, \quad K_{r\varphi}^Q = K_{rr}^N, \quad K_{\varphi\varphi}^Q = -K_{\varphi\varphi}^N.$$

Ezekkel az összefüggésekkel a tartó  $\varphi$ -vel megadott keresztmetszetének tetszőleges pontjában számíthatjuk a külső terhelésből származó, síkbeli feszültségi állapot három komponensét. A megoldás lehetővé teszi, hogy tetszőleges fafajnak megfelelő ortotrop anyagjellemzőket vegyünk figyelembe rugalmas állandóként.

A rétegelt-ragasztott íves fatartók gyártása során keletkező sajátfeszültségek meghatározása Szalai (2001) szerint a következő módon történik:

Az  $i$ -dik lamellában:

$$\sigma_{zzi}(z, y_i) = \frac{M_i(z)}{I_i} y_i + \frac{N_i(z)}{F_i}, \quad [4]$$

A tartóvégek közelében az  $i$ -dik ragasztórétegben:

$$\sigma_{yyi}(\xi) = \frac{2}{bh^2 f(\xi=1)} [2 \sum_{j=1}^i M_j + \sum_{j=1}^i h_j \sum_{k=1}^i N_k - N_j] f''(\xi), \quad [5]$$

$$\tau_i(\xi) = -\frac{2 \sum_{j=1}^i N_j}{bh f(\xi=1)} f'(\xi), \quad [6]$$

ahol:

$\sigma_{zzi}$  – a rostokkal párhuzamos normálfeszültség

$\sigma_{yyi}$  – a rostokra merőleges normálfeszültség

$\tau_i$  – a nyírófeszültség

$I_i = \frac{bh_i^3}{12}$  – az  $i$ -dik lamella másodrendű nyomatéka saját súlyponti  $x$  tengelyére

$F_i = bh_i$  – az  $i$ -dik lamella keresztmetszet-területe

$b$  – a lamellák szélessége

$h_i$  – az  $i$ -dik lamella vastagsága

$N_i(z) = A_i \frac{M_0(z)}{AJ-S^2} (Aa_i - S)$  – az  $i$ -dik lamella normál igénybevétele a  $z$  helyen

$M_i(z) = M_{0i}(z) - J_i \frac{M_0(z)A}{AJ-S^2}$  – az  $i$ -dik lamella hajlító igénybevétele a  $z$  helyen

ahol:

$$S = \sum_{i=1}^n A_i a_i$$

$A_i$  – az  $i$ -dik lamella módosított keresztmetszet területe

$a_i$  – az  $i$ -dik lamella súlypontjának távolsága az első lamella súlypontjától a  $z$  helyen

$J_i$  – az  $i$ -dik lamella módosított másodrendű nyomatéka

$M_{0i}(z)$  – a lamellák préselő sablonba hajlításához szükséges nyomaték.

A keletkező feszültségekről azt kell tudnunk, hogy a  $\sigma_{zzi}$  rostokkal párhuzamos normálfeszültség a tartó teljes szakaszára vonatkozik (kivéve a zavart szakasz), míg a  $\sigma_{yyi}$  rostokra merőleges normálfeszültségek és a  $\tau_i$  nyírófeszültségek csak a tartó végek közelében működnek. A tartó végén  $h/2$  hosszon alakul ki az úgynevezett zavart szakasz. A feszültségek maximumai: a tartó végpontjában, valamint a tartó végétől számított  $h/6$  és  $2h/6$  távolságra elhelyezkedő keresztmetszetekben ébrednek. A  $\sigma_{zzi}$  feszültség a zavart szakaszon fokozatosan 0-ra csökken le a  $f(\xi)$  függvény szerint (1. ábra).

Analóg módon határozhatók meg a klimatikus terhelésből származó sajátfeszültség állapotok. Az alapvető eltérés a lamellák klímaváltozásból származó hő- és nedvességtágulásának számításában van.

### A feszültségállapotok összegzésének módszere

A három hatásfajtának (külső, gyártási és klimatikus) megfelelően a tartóban háromféle feszültség-tenzorkezelő keletkezik. A tartó szerkezetek valójában ezek együttes hatását, az eredő feszültség-tenzorkezelőt érzékelik, és annak megfelelően viselkednek, azaz tönkre mennek vagy épek maradnak.

A tenzorokat úgy összegezzük, hogy a tenzor egymásnak megfelelő komponenseit skalárisan összeadjuk. Az összegezhetőség feltétele, hogy egy adott ponthoz tartozó háromféle feszültség-tenzorkezelő elemek mind ugyanabban a koordináta-rendszerben adjuk meg (a faanyaggal kapcsolatban ez a koordináta-rendszer a faanyag anatómiai főirányával párhuzamos). Ha ez a feltétel nem teljesül, akkor a tenzorkomponenseket a legalkalmasabb közös koordináta-rendszerbe kell átszámolni a megfelelő tenzor-transzformációk segítségével.

A megfelelő feltételek esetén az összegzés képletben:

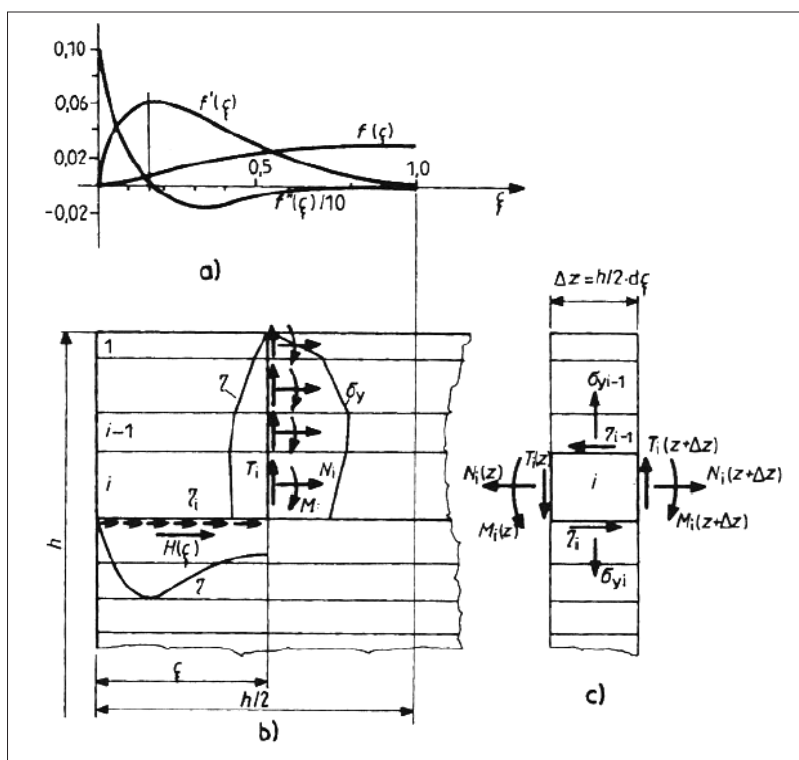
$$\begin{aligned} \sigma_{ered\acute{o}}^{ij} &= \sigma_{k\ddot{u}ls\acute{o}}^{ij} + \sigma_{gy\ddot{a}rt\ddot{a}si}^{ij} + \sigma_{kl\ddot{m}atikus}^{ij} = \\ &= \begin{bmatrix} \sigma_{k\ddot{u}}^{LL} & \sigma_{k\ddot{u}}^{RL} & \sigma_{k\ddot{u}}^{TL} \\ \sigma_{k\ddot{u}}^{LR} & \sigma_{k\ddot{u}}^{RR} & \sigma_{k\ddot{u}}^{TR} \\ \sigma_{k\ddot{u}}^{LT} & \sigma_{k\ddot{u}}^{RT} & \sigma_{k\ddot{u}}^{TT} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_{gy}^{LL} & \sigma_{gy}^{RL} & \sigma_{gy}^{TL} \\ \sigma_{gy}^{LR} & \sigma_{gy}^{RR} & \sigma_{gy}^{TR} \\ \sigma_{gy}^{LT} & \sigma_{gy}^{RT} & \sigma_{gy}^{TT} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_{kl}^{LL} & \sigma_{kl}^{RL} & \sigma_{kl}^{TL} \\ \sigma_{kl}^{LR} & \sigma_{kl}^{RR} & \sigma_{kl}^{TR} \\ \sigma_{kl}^{LT} & \sigma_{kl}^{RT} & \sigma_{kl}^{TT} \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} \sigma_{k\ddot{u}}^{LL} + \sigma_{gy}^{LL} + \sigma_{kl}^{LL} & \sigma_{k\ddot{u}}^{RL} + \sigma_{gy}^{RL} + \sigma_{kl}^{RL} & \sigma_{k\ddot{u}}^{TL} + \sigma_{gy}^{TL} + \sigma_{kl}^{TL} \\ \sigma_{k\ddot{u}}^{LR} + \sigma_{gy}^{LR} + \sigma_{kl}^{LR} & \sigma_{k\ddot{u}}^{RR} + \sigma_{gy}^{RR} + \sigma_{kl}^{RR} & \sigma_{k\ddot{u}}^{TR} + \sigma_{gy}^{TR} + \sigma_{kl}^{TR} \\ \sigma_{k\ddot{u}}^{LT} + \sigma_{gy}^{LT} + \sigma_{kl}^{LT} & \sigma_{k\ddot{u}}^{RT} + \sigma_{gy}^{RT} + \sigma_{kl}^{RT} & \sigma_{k\ddot{u}}^{TT} + \sigma_{gy}^{TT} + \sigma_{kl}^{TT} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad [7]$$

Az egyenes vagy íves tengelyű rétegelt-ragasztott fatartóban, a leggyakoribb esetben a tartó síkjával párhuzamos síkú feszültségállapot keletkezik, azaz a feszültségi állapotoknak a tartó minden pontjában három nem nulla komponense lesz. A már bemutatott három fajta terhelés mindegyikéből meghatározhatók ezek a feszültségkomponensek, mégpedig a tartó elméleti középsíkján felvett pontok helyének függvényében. Ezeket a tenzorszámítás szabályainak figyelembevételével összegezve megkapjuk a tartó síkbeli modelljének eredő feszültség-állapotmezejét. Az eredő feszültség-tenzor függvény ismeretében elvileg bármely pontban számíthatjuk a hozzá tartozó feszültség-állapotot. A tönkremenetel szempontjából legveszélyesebb feszültségállapot-tenzor helye lesz a tartó kritikus pontja, a ponthoz tartozó keresztmetszet a tartó veszélyes keresztmetszete. Természe-

tesen egy tartón egyszerre több ilyen pont is lehet. Számítógép alkalmazásával ezek a tenzormező-függvények felírhatók és a kritikus pontok, illetve feszültség-állapotok meghatározása viszonylag egyszerűen megszervezhető (erre akár egy Excel program is alkalmas).

A feladat jellegéből következik, hogy a tartó szerkezet tervezését csak közvetve végezhetjük el, azaz – a gyakorlati tapasztalatok alapján – felvesszük a tartó keresztmetszeti méreteit, majd ellenőrzést végzünk. Ha a gazdaságossági követelményeket is szem előtt tartjuk, akkor esetleg csökkenthetjük is a keresztmetszet méreteit, majd újabb ellenőrzést végzünk.

Némi gyakorlattal megspórolhatjuk a feszültség tenzor-függvények felírását. A veszélyes keresztmetszeteknek és azok kritikus pontjainak a kiválasztása megfelelő számú megoldott feladat után szinte automatikussá válik. Ebben az esetben nem kell az egész tartó feszültség-állapotmezejét meghatározni, elegendő a kritikusnak ítélt pontokban az eredő feszültség-állapotokat számítani. A külső terhelésből származó feszültségek maximum



**1. ábra** A belső erők és a sajátfeszültségek eloszlása a tartóvégek közelében a ragasztórétegben és a lamellákban: *a* – az Y. Guyon által definiált függvények; *b* – a lamella végek közelében ébredő belső erők és feszültségek; *c* – a \$\Delta z\$ hosszúságú *i*-dik lamellára ható belső erők és feszültségek (Szalai 2001, a szerző engedélyével).

**Figure 1** Distribution of internal loads and residual stresses in the vicinity of the beam ends within the glue layer and within the lamellae: *a* – the functions defined by Y. Guyon; *b* – the internal loads and stresses arising in the vicinity of the lamella ends; *c* – the internal forces and stresses acting on lamella *i* of a length of \$\Delta z\$. (Szalai 2001, with permission)

értékei azokban a keresztmetszetekben várhatók, ahol a maximális igénybevételek keletkeznek. Ezeket a keresztmetszeteket mindenképpen vizsgálni kell abból a szempontból, hogy a klimatikus hatásokból keletkező feszültségek, és a gyártási feszültségek kedvező hatást, vagy többlet terhet adnak-e az adott keresztmetszetre. Ugyanezen az elven vizsgálni kell azokat a keresztmetszeteket, ahol a sajátfeszültségek szélsőértékei vannak, hogy ott a három feszültség összegéből mekkora feszültségek jönnek létre.

Sajnos a szerkezetben a három feszültség egymásra hatásából az is előfordulhat, hogy nem ott keletkeznek a feszültségek szélsőértékei, ahol az egyes feszültségek szélsőértékei vannak, hanem olyan keresztmetszeten belül, ahol a három feszültség fajtából, bár egyenként viszonylag alacsony, de mégis egymást károsan befolyásoló értékek keletkeznek. Nagyon körültekintően kell kiválasztanunk, hogy a szerkezet melyik keresztmetszeteit és azoknak melyik kritikus pontjait vizsgáljuk. Egyszerűbb szerkezetek esetében ez nagyon gyorsan megállapítható, de bonyolult terhelések és/vagy tartógeometria esetén az is előfordulhat, hogy a szélsőérték helyeken kívül kis szakaszokra kell felbontani a tartót és minden szakasz keresztmetszetében összegeznünk kell a feszültség-tenzorokat, hogy láthassuk, hol lesznek a különböző hatásokból keletkező eredő feszültség-állapotok kritikus értékei.

### Erőtani méretezés az anizotrópia figyelembevételével

A rétegelt-ragasztott fatartók erőtani méretezését – összhangban a régi magyar MSZ és az EUROCODE előírásaival – a valószínűség-számítással kiegészített határállapot módszerével végezzük. Azaz a feszültségeket a mértékadó terhelésből számítjuk, a határfeszültségek pedig az adott típusú szilárdság eloszlásfüggvényének 0,1%-os kvantiliséhez tartozó értéke. Az anizotrop anyag összetett feszültségi állapottal kapcsolatos problémájához az Ashkenazi-féle tönkremeneteli elméletet alkalmaztuk, amely faanyagra és faalapú anyagokra az utóbbi évtizedek kutatásai alapján a legeredményesebb. Eszerint a vizsgált pontban a szerkezeti elem megfelel, ha az Ashkenazi-elmélettel számított mértékadó egyenértékű feszültsége kisebb, mint az alkalmazott faanyag rostirányú határ-húzószilárdsága. Képletben:

$$\sigma_{egy}^M = \frac{1}{t_{LLL}^H} \frac{t_{ijkl}^H \sigma_M^{ij} \sigma_M^{kl}}{\sqrt{I_1^2 - I_2}} \leq \sigma_e = f_L^{H+}, \quad i, j, k, l = L, R, T \quad [8]$$

ahol:

$\sigma_{egy}^M$  – a mértékadó terhelésnek megfelelő Ashkenazi-féle egyenértékű feszültség

$f_L^{H+}$  – rostirányú határ-húzófeszültség

$t_{ijkl}^n$  – a technikai szilárdságok határértékével (0,1%-os valószínűségi szint) számított tenzorkomponensek

$\sigma_M^{ij}$  – a ható feszültségi állapot tenzora (a tartó mértékadó terhelésből számítva) a faanyag anatómiai főirányainak megfelelő koordináta rendszerben

$I_1, I_2$  – a feszültségi állapot első és második invariánsa.

Az eljárást az összetett feszültségi állapot következtében nem lehet tervezésként (méretezésként) alkalmazni, csak ellenőrzésként. Tehát az előre felvett geometriai méretek és a mértékadó terhelés felhasználásával kiszámítjuk a mértékadó feszültségi állapotot a kritikus pontban. Kiszámítjuk a mértékadó egyenértékű szilárdságot és összehasonlítjuk a faanyag rostirányú határ-húzószilárdságával.

### Számítómodellel végzett kísérletek

A számítások során nem csak a külső terhelésből származó feszültségeket, hanem a gyártási és a változó klimatikus hatások következtében keletkező sajátfeszültségeket is meghatároztuk. A feszültségeket külön-külön és egyben is vizsgáltuk. Változó klimatikus hatásokat modellezve homogén (GL28h szilárdsági kategóriájú) és kombinált (GL28c) keresztmetszetű – azaz szélső övek jobb szilárdsági tulajdonságúak – tartókra 9 féle, a valóságból vett példát modelleztünk, ahol nem csak a nedvességtartalmi –, de a hőmérsékletváltozás hatásait is vizsgáltuk.

Csak a klimatikus hatásokból származó feszültségeket vizsgáltuk a következő esetekben:

- Egy egyenes tengelyű homogén rétegelt-ragasztott fa tartógerenda ( $h_i = 30 \text{ mm}$ ,  $n = 20 \text{ db}$ ,  $L = 60 \text{ m}$ ) sajátfeszültség-állapotmezejének meghatározása, ha a gyártáskor az 5. lamella nedvességtartalma 10%-kal nagyobb, mint a többié és a nedvességtartalom a beépítés után viszonylag rövid idő alatt kiegyenlítődik.

- Egy körív alakú homogén rétegelt-ragasztott fa tartógerenda ( $h_i = 30 \text{ mm}$ ,  $n = 20 \text{ db}$ ,  $L = 60 \text{ m}$ ) sajátfeszültség-állapotmezejének meghatározása, ha a gyártáskor az 5. lamella nedvességtartalma 10%-kal nagyobb, mint a többié és a nedvességtartalom a beépítés után viszonylag rövid idő alatt kiegyenlítődik.
- Egy körív alakú homogén rétegelt-ragasztott fa tartógerenda ( $h_i = 10 \text{ mm}$ ,  $n = 60 \text{ db}$ ,  $L = 60 \text{ m}$ ) sajátfeszültség-állapotmezejének meghatározása, ha a gyártáskor az 5. lamella nedvességtartalma 10%-kal nagyobb, mint a többié és a nedvességtartalom a beépítés után viszonylag rövid idő alatt kiegyenlítődik.
- Egy körív alakú kombinált rétegelt-ragasztott fa tartógerenda ( $h_i = 30 \text{ mm}$ ,  $n = 20 \text{ db}$ ,  $L = 60 \text{ m}$ ) sajátfeszültség-állapotmezejének meghatározása, ha a gyártáskor az 5. lamella nedvességtartalma 10%-kal nagyobb, mint a többié és a nedvességtartalom a beépítés után viszonylag rövid idő alatt kiegyenlítődik.
- Egy körív alakú kombinált rétegelt-ragasztott fa tartógerenda ( $h_i = 10 \text{ mm}$ ,  $n = 60 \text{ db}$ ,  $L = 60 \text{ m}$ ) sajátfeszültség-állapotmezejének meghatározása, ha a gyártáskor az 5. lamella nedvességtartalma 10%-kal nagyobb, mint a többié és a nedvességtartalom a beépítés után viszonylag rövid idő alatt kiegyenlítődik.
- Egy körív alakú homogén rétegelt-ragasztott tartó sajátfeszültségi-állapotmezejének kialakulása, ha a lamellák nedvességtartalma véletlenszerűen eltér egymástól, de maximum  $\pm 1\%$ -ban.
- Egy körív alakú kombinált rétegelt-ragasztott tartó sajátfeszültségi-állapotmezejének kialakulása, ha a lamellák nedvességtartalma véletlenszerűen eltér egymástól, de maximum  $\pm 1\%$ -ban.
- Egy körív alakú homogén rétegelt-ragasztott tartó sajátfeszültségi-állapotmezejének kialakulása, ha az 5. lamellának nem a nedvességtartalma, hanem a hőmérséklete magasabb a többinél ( $\Delta t_5 = 30 \text{ C}^\circ$ ).
- Egy körív alakú homogén rétegelt-ragasztott tartó sajátfeszültségi-állapotmezejének kialakulása, ha a beépítés után a tartóban viszonylag egyenletes, a magasság mentén folytonos parabola függvényvel megadható nedvesség-eloszlás alakul ki (tartós beázás miatt a lamellák nedvességtartalma a felső tartórétegekben jelentősen megnő).

Csak a gyártásból származó sajátfeszültségeket vizsgáltuk a következő esetekben (a tartó magasság és görbületi sugár viszonyait figyelembe véve):

- Egy  $R/H = 180$  viszonyszámnak megfelelő rétegelt-ragasztott íves fatartó ( $h_i = 30 \text{ mm}$ ) gyártási feszültség-állapot-mezőjének meghatározása.
- Egy  $R/H = 220$  viszonyszámnak megfelelő rétegelt-ragasztott íves fatartó ( $h_i = 30 \text{ mm}$ ) gyártási feszültség-állapot-mezőjének meghatározása.
- Egy  $R/H = 50$  viszonyszámnak megfelelő homogén rétegelt-ragasztott íves fatartó ( $h_i = 30 \text{ mm}$ ) gyártási sajátfeszültség-állapotmezejének meghatározása.
- Egy  $R/H = 50$  viszonyszámnak megfelelő homogén rétegelt-ragasztott íves fatartó ( $h_i = 10 \text{ mm}$ ) gyártási feszültség-állapot-mezőjének meghatározása.
- Egy  $R/H = 50$  viszonyszámnak megfelelő kombinált rétegelt-ragasztott íves fatartó ( $h_i = 30 \text{ mm}$ ) gyártási sajátfeszültség-állapotmezejének meghatározása.

A külső terhelésből, a gyártásból és a klimatikus hatásokból együttesen származó feszültségek meghatározására példa a következő volt:

- Egy félkörív alakú, háromcsuklós, 14 m-es feszávolságú rétegelt-ragasztott fatartó erőtan vizsgálata az összes lehetséges teherfajta egyidejű figyelembevételével, vastag és vékony lamellájú esetben. Külső terhelés egy közepesen ható koncentrált erő, a klimatikus terhelés a legfelső lamella nedvességtartalma 16%-os, míg a többi lamella 12%-os nedvességtartalmú.

### Az összes példából levonható következtetések

Az íves rétegelt-ragasztott fatartók gyártási feszültségeit érintő megállapítások:

- A gyártási és a külső terhelésből származó feszültségek összemérhetők. Ezek sokszor azonos nagyságrendűek, tehát a gyártási feszültségeket mindenképpen figyelembe kell venni a tartók erőtan méretezése során.
- Minél kisebb az  $R/H$  viszony (azaz azonos tartómagasság mellett minél kisebb a görbületi sugár), annál nagyobbak a gyártási feszültségek, különösen a rostokkal párhuzamos normál-feszültségek. Az  $R/H = 200$  érték azonban (hasonlóan a külső terhelésből származó feszültségszámításhoz) itt sem tekinthető határértéknek, hisz átlépésével nem változnak jelentősen a feszültségek. A modellszámítás alkalmas a konkrét  $R/H$  viszony figyelembe vételére.

- Azonos külső geometria esetén annál kisebbek a gyártási feszültségek, minél vékonyabbak a lamellák.
- Kombinált tartó esetén a normálfeszültségek maximumai az átmenetek környezetében jelentősek és a rostokra merőleges felszakadás veszélye közvetlenül a sablonból való kivétel után ezeknél a vegyes, eltérő rugalmassági modulusú íves tartóknál nagyobb. Ez a jelenség is a ragasztási technológia helyes betartására figyelmeztet minket.

A rétegelt-ragasztott fatartók klimatikus változások hatására fellépő feszültségeire érvényes általános megállapítások:

- A tartóvégeken fellépő, rostra merőleges normálfeszültségek és nyírófeszültségek kedvezőtlen klímaváltozás (ami a helytelen gyártási technológiának is köszönhető) esetén akkorák lehetnek, hogy akár önmagukban (a külső terhelés vagy a gyártási feszültségek nélkül) is okozhatnak tönkremenetelt, ami a tartóvégek felhasadását és elnyíródását eredményezi. E tekintetben az egyenes és íves tengelyű tartók között nincs különbség.
- Ugyanolyan külső geometria mellett vékonyabb lamellák esetén a klímaváltozásból származó feszültségek kisebbek lesznek. A rostokkal párhuzamos normálfeszültségek változása a tartó nagy részét kitevő, belső tartományában nem jelentős, míg a rostokra merőleges normálfeszültségek és a nyírófeszültségek a tartóvégeken a háromszoros lamella-vastagsághoz tartozó feszültségekhez képest majdnem a felére csökkennek.
- Ha a lamellák nedvességtartalma a gyártás kezdetén véletlenszerűen változik, de sohasem nagyobb mértékben, mint  $\pm 1\%$ , akkor homogén és kombinált keresztmetszetenél a klimatikus feszültségek lefutása a magasság mentén hasonló. Nem nagyobb, mint  $\pm 1\%$ -os nedvességtartalom eltérés esetén a klimatikus feszültségek nagysága még nem elég a szerkezet tönkremeneteléhez, de a többi feszültségfajttával szuperponálódva a tönkremenetel valószínűsége jelentősen megnő.
- A hőmérsékletváltozás anomáliái a rétegelt-ragasztott tartókban legalább egy nagyságrenddel kisebb klimatikus feszültségeket okoznak, mint a nedvességtartalom-változások (a gyakorlatban megfigyelt klímaváltozások mellett).
- Az élettartam folyamán egy 12%-os, aszimmetrikus nedvesedés hatására a rétegelt-ragasztott fatartóban ébredő klimatikus feszültségek önmagukban is tönkretelhetik a szerkezetet.

Számításokkal igazoltuk, hogy két ugyanolyan rétegelt-ragasztott fatartó (ugyanolyan külső geometria és terhelés) közül – az összes feszültséget összegezve és figyelembe véve – a vékony lamellákból állóban jóval kisebb feszültségek keletkeznek, mint a vastag lamellákból állóban.

A vékonyabb lamellákból álló tartók gyártása drágább ugyan (hiszen nagyobb a hulladékképződés, több ragasztóanyagra van szükség, érzékenyebb a gyártás-technológiai előírásokra), a tönkremenetellel szembeni nagyobb biztonság mégis indokolja alkalmazásukat, különösen a bizonytalanabb külső terheléssel és klímaki-tettséggel jellemezhető szerkezetekben.

### Összefoglalás

Megállapítható, hogy a rétegelt-ragasztott fa tartószerkezetek tönkremeneteleinek és meghibásodásainak problémái sok okra vezethetők vissza, mint azt a felmérési eredményekből is láthattuk előző cikkünkben. Hogy ezen okokat megértsük és kiküszöbölhessük, számításokat végeztünk, különféle esetek modellezésével. Ezek eredményei jó összefüggést mutatnak a felmérési eredményekkel. Így valamivel érthetőbbé vált, hogy a tervezés oldaláról milyen problémákat jelent egy nem megfelelően méretezett szerkezet. Nem csak a külső terhelésekre kell méretezni a rétegelt-ragasztott faszerkezeteket, mint azt a mai gyakorlat teszi.

A következő cikk, ugyanezen rétegelt-ragasztott fa tartószerkezetek tönkremeneteleinek és meghibásodásainak az okait vizsgálja, mechanikai mérések, vizsgálatok bemutatásával. Ezek után a gyakorlat számára is hasznos javaslatok kerülnek bemutatásra, mind a tervezésre, gyártásra és üzemeltetésre vonatkozóan.

### Köszönetnyilvánítás

A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.



**Irodalomjegyzék**

- Bartal és Rabb Kft. (2010) KUTATÁSI JELENTÉS A BAROSS RRTARTO1 OMFB-00398/2010 számú pályázathoz, 118.
- Szalai J. (2001) A faszerkezetek méretezését és gyártását befolyásoló sajátosságok; (Wittmann Gy. szerk.) Mérnöki faszerkezetek II., Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 143-258.
- Guyon Y. (1951) Contraintes dans les pièces prismatiques soumises á des forces appliqués sur le bases, au voisinage de ces bases, Internationale Vereinigung für Brückenbau und Hochbau Abhandlung, 11, pp 165-226.
- Roth W. (1975) Festigkeitsuntersuchungen an gekrümmten Brettschicht trägern unter statischer und dynamischer Belastung, Dissertation, Von der für Bauingenieur-und Vernessungswesen der Universität Karlsruhe (TH), 1-51.
- Vanya Cs. (2014) Javaslatok rétegelt-ragasztott fatartók tervezéséhez, gyártásához és üzemeltetéséhez, felmérési és modellezési eredmények alapján. I. rész: Irodalmi áttekintés és a rétegelt-ragasztott fatartók tönkremeneteleinek felmérési eredményei, FAIPAR 62. évf. (2014), DOI: 10.14602/WoodScience-HUN\_2014\_3
-

# Javaslatok rétegelt-ragasztott fatartók tervezéséhez, gyártásához és üzemeltetéséhez, felmérési és modellezési eredmények alapján

I. rész: Irodalmi áttekintés és a rétegelt-ragasztott fatartók tönkremeneteleinek felmérési eredményei

VANYA Csilla<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pécsi Tudományegyetem, Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar

Kapcsolat: vanya.csilla@pmmik.pte.hu

## Kivonat

A rétegelt-ragasztott fatartók egyre elterjedtebbé váltak az elmúlt 50 évben. A megfelelő minőségű anyagokból készített rétegelt-ragasztott tartók minőségi beszerelést és üzemeltetést követően időállóak, azonban egyre több esetben fordul elő a rétegelt-ragasztott tartók károsodása és a károsodás miatt egész tetőszerkezetek életveszélyessé válása. A felmerülő problémák miatt Magyarország jelentősebb komplexumait felmérték, ahol rétegelt-ragasztott tartók a teherhordó szerkezetek. A tartók rétegrepedéseit és egyéb tönkremeneteli problémáit, az épületek üzemeltetési jellegzetességeinek figyelembevételével határozták meg. A hibák ok-okozati összefüggéseit mérésekkel és számítási eljárásokkal vizsgálták. Ezek után az összes tapasztalatból iránymutató következtetések és javaslatok születtek, a tervezésre, a gyártásra és az üzemeltetésre vonatkozóan.

**Kulcsszavak:** rétegelt-ragasztott faszerkezet, delamináció, felmérés

## Design, fabrication and operation proposals for glued-laminated timber, based on measuring and modelling results

Chapter 1: Literature review and the results of examinations of the spoil of the glue laminated timber beams

## Abstract

Glue laminated timber beams have been used in an increasing number of cases in the past 50 years. Glue laminated beams are durable constructs if they are manufactured from adequate quality materials and if their installation and operation are performed to a high quality standard. There are however an increasing number of cases of glue laminated beams suffering damage and as a result entire roof structures becoming life-threatening. Because of the arising problems the most important building complexes in Hungary-in which glue laminated beams are used as bearing structures- have been examined, considering both the damage problems of the existing structures and the operating features of the buildings. Later the reasons for the damages were examined with measurements and calculations. From all these observations conclusions and suggestions have been outlined both for the design, construction and operation.

**Keywords:** glue laminated timber structures, delamination, examinations

## Bevezetés

A rétegelt-ragasztott fatartók egyre elterjedtebbé váltak az elmúlt 50 évben. Jelenleg számos építőipari cég foglalkozik rétegelt-ragasztott faszerkezetek gyártásával és tartók építésével. A megfelelő minőségű anyagokból készített rétegelt-ragasztott tartók, minőségi beszerelést és üzemeltetést követően időtállóak, azonban egyre több esetben fordul elő a rétegelt-ragasztott tartók károsodása és a károsodás miatt egész tetőszerkezetek életveszélyessé válása (pl. pécsi uszoda, berettyóújfalui uszoda, harkányi III. sz. medence, stb.). A felmerülő problémákat és azok okait átfogóan kell vizsgálni, melynek megvalósítása nem kis feladat. A Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Karának Műszaki Mechanika és Tartószerkezetek Intézete elnyert egy pályázati támogatást (Baross Gábor RRTARTO1 OMFB-00398/2010). Ezen a pályázaton belül Magyarország jelentősebb komplexumait mérték fel, ahol rétegelt-ragasztott tartók a teherhordó szerkezetek. A tartók rétegrepedési és egyéb tönkremeneteli problémáit, az épületek üzemeltetési jellegzetességeinek figyelembevételével határozták meg. A hibák okait mérésekkel és számítási eljárásokkal vizsgáltuk. Ezek után az összes tapasztalatból iránymutató következtetések és javaslatok születtek, mind a tervezésre, gyártásra és üzemeltetésre vonatkozóan.

A cikksorozat első része egy részletesebb irodalmi áttekintést, az elnyert pályázatban szereplő – a Bartal és Rabb Kft. által elvégzett – 16 épület felmérését, illetve a rétegelt-ragasztott tartószerkezetek lehetséges tönkremeneteli módjainak ismertetését tartalmazza. A 16 épületen tapasztalt tönkremeneteli módok tudományos magyarázatát a jelen cikk nem tárgyalja, csupán általánosságban tesz felvetéseket.

A cikksorozat második része a felmérési eredményeket bizonyító számítási modellt, az ezzel elvégzett példákat, és az ezekből levont általános következtetéseket mutatja be.

A cikksorozat harmadik része a felmérési eredményeket bizonyító vizsgálatokat, méréseket tartalmazza, ezek után az összes tapasztalatból iránymutató következtetések és javaslatok kerülnek bemutatásra, a tervezésre, a gyártásra és az üzemeltetésre vonatkozóan.

## Irodalmi áttekintés

Hansson és Larsen (2005) két viszonylag fiatal rétegelt-ragasztott tetőszerkezet tönkremenetelének okait mutatja be. Az egyik csarnok a dán Siemens Super Aréna, míg a másik a finnországi Jyväskylä csarnok. A publikáció bemutatja a szerkezetek kialakítását, tervezését, a szerkezet tervezése és kivitelezése során felmerülő problémákat, valamint az összeomlás lehetséges okait. A két szerkezet két különböző okból ment tönkre. Az egyik esetben már a tervezés fázisában, míg a másik esetben a gyártás és az építés során merültek fel a hibák.

Frese és Blaß (2011) átfogó elemzést készítettek németországi faszerkezetek károsodásairól. 550 kár került rögzítésre, melyeket osztályozni és értékelni próbáltak. A károk többségét a rétegelt-ragasztott tartók esetén a rétegelválás, vagyis a ragasztás nem megfelelő minősége, illetve a váltakozó klímaviszonyokból következő túlterheltség okozhatta. A károk felmérésének rendszerezéséből próbáltak előremutató következtetéseket levonni. A csoportosításuk során megállapítottak beruházói, tervezési, statikai, anyagminőségi, gyártási, kivitelezési, épületfizikai, nedvesedési, váltakozó klimatikus hatású, rovarok okozta és karbantartási problémákat.

Frühwald és Thelandersson (2008) munkájukban számos faszerkezet összeomlásának hátterét vizsgálták. Leggyakoribb hiba a rossz tervezés, például a forma kialakítása volt. Probléma a kivitelezés pontatlansága, a hibás faanyagvédelem. Megállapították, hogy a hibáknak csak kis részét okozza a fa minősége.

A tartókban keletkező feszültségek nem egyedül a külső terhelésből származnak. Vannak úgynevezett sajátfeszültségek is. Gyakorlatban ezekkel a belső feszültségekkel nem foglalkoznak, pedig igen jelentősek is lehetnek. A gyártás során keletkező és a klimatikus hatásokból származó sajátfeszültségeket Szalai (1985), (1984-85), (1994), (2001) illetve Szalai és Kánnár (2002 a), (2002 b) határozta meg.

A rétegelt-ragasztott faszerkezetekre a páratartalom befolyásoló hatását is többen kutatták, kutatják. Több tanulmány, publikáció jelent meg már ezzel kapcsolatosan is.

Gustafsson, Hoffmeyer és Valentin (1998) munkájukban a ragasztott LVL gerendákat vizsgálták állandó és ciklikus páratartalom esetén. Megállapításuk szerint a páratartalom és a nedvességingadozás jelentősen befolyásolja a gerendák teherbíró képességét, mind rövid távú, mind hosszú távú terhelés esetén is.

Niemz, Bärtschi, és Howald (2005) a több rétegű tömörfa panelek homlokzati repedéseinek okait vizsgálták, eltekintve a statikus terhektől. A repedések okai a nedvességsökkenés, vagyis a különböző klimatikus hatások. Azt vizsgálták, hogy mennyire befolyásolják a faanyag különböző felületi kezelése a fában ébredő feszültségeket, és hogyan csökkenthetőek a repedések a tartókban ezen felületkezelő anyagok segítségével.

Häglunk (2009) a nedvesség befolyásoló hatásairól ír faszerkezetek esetén. A nedvesség okozta feszültség fő okának a környező levegő nedvességváltozását adja meg.

Angst és Malo (2012) munkájukban a nedvesség okozta feszültségeket vizsgálják rétegelt-ragasztott keresztmetszetek esetén. A környezet okozta nedvességváltozás befolyásolja a biztonságot és a használhatóságot. Repedések alakulnak ki, de ezek függenek a geometriai kialakításoktól.

Major (2010) TDK dolgozatában a faanyag nedvességtartalmának változását vizsgálta klimatikus hatások figyelembevételével. A próbatesteket a kísérlet előtt klimatizálásnak vetette alá. Ciklikus klimatikus terhelést alkalmazott. Végül mérte a nedvességtartalmakat, melynek eredményeiből arra lehetett következtetni, hogy a rétegelt-ragasztott tartókban a klimatikus hatásokra létrejövő nedvességeloszlás miatt a lamellák deformálódnak, és közöttük húzó és nyomó igénybevételek jönnek létre. A keletkező feszültségek a ragasztórétegre hatnak, a lamellák száradásakor a ragasztó húzó igénybevételnek van kitéve, míg a lamella nedvedésekor a dagadás következtében nyomó igénybevételt szenved. Ez a folyamatos igénybevétel tönkre teheti a lamellákat, ezért erre a hatásra is méretezni kell a ragasztót, ha tudjuk, milyen klímába kerül majd a szerkezet.

Garab és tsai. (2010) munkájukkal egy új értékelési módszert fejlesztettek ki rétegelt-ragasztott gerendák vizsgálatára. Dolgozatuk bemutatja a rétegelt-ragasztott tartók esetén a tipikus hibákat is. Szemrevételezés mellett roncsolásmentes méréseket is alkalmaztak. A roncsolásmentes vizsgálatok alkalmasak belső rejtett hibák kimutatására is. A módszer ötvözi a szemrevételezés és a roncsolásmentes technikákat.

### **Ipari adatgyűjtés, tönkremeneteli problémák behatárolása**

A Bartal és Rabb Kft. a Baross Gábor pályázatához 16 épület felmérését végezte el (Kánnár 2012). A projektbe bevont jelentős klimatikus kitettséggű rétegelt-ragasztott fa tetőszerkezetek vizsgálati helyszínei:

- Harkány, III. sz. medence időközben lebontott térlefedő szerkezete
- Harkány, „legyező” medence térlefedő szerkezetei
- Harkány, „B” medence térlefedő szerkezetei
- Harkány, élményfürdő térlefedő szerkezetei
- Harkány, Zsigmond Vilmos Gyógykórház balneológia medence lefedés
- Soproni uszoda gömbsüveg kupola
- Eger, élményfürdő 2 kupolája
- Eger, sportuszoda
- Hajdúszoboszló, élményfürdő
- Hajdúszoboszló, városi uszoda
- Mohács, városi uszoda.

Állandó légállapotúnak tekinthető térlefedések: Sopron MKB Aréna edzőterem és sportcsarnok; Harkány, városi tornacsarnok; Pécs, vásárcsarnok; Kisharsány, református templom tetőszerkezete.

A megvizsgált 16 épületnél 4 épület esetében észleltek gyártási, kivitelezési hibát. A harkányi III. sz. medence lefedésénél a tartókat gyártás közbeni *ragasztóréteg elválás*<sup>1</sup> miatt menet közben facsavarral megerősítették. Az egri sportuszodánál a tartókat – vélelmezhetően gyártási problémák miatt – kivitelezés közben a tartó hossz tengelyére merőlegesen összecsavarozták, majd ezt ledugózták, és egy újabb lamellával lefedték. A hajdúszoboszlói városi uszoda esetében a kivitelezés közben évekig lefedés nélkül álló tartók lamellái szétváltak, a tartókat utólagos pántolással látták el. Ugyanitt a tanmedencénél a tartón belül lamellaméret-változtatás miatt a tartók lamellái szétrepedtek, a tartókat utólagos pántolással látták el.

Jellemző repedés a tartók végein, a kapcsoló elemeknél a lamella-szétválás. A csavarkötés elemei között a lamellák gátolt alakváltozásúak, ezért ezeken a helyeken a tartó rendszerint szétreped.

A vékonyabb lamella kevésbé veszélyes, de a nagyobb terhelés miatt ott is lehet repedés. A harkányi tornacsarnok három darab vastag lamellából álló tartója szétrepedt, a vékony lamellás nem (1. ábra).

Az egri élményfürdőnél a két gömbkupola összemetsződésében levő vápa tartó vékonyabb lamellákból áll, mint a többi tartó, mégis ez reped, mert jóval nagyobb igénybevétel éri. A mohácsi városi fürdő esetében

<sup>1</sup> Rétegelválásnak nevezzük azt, amikor a ragasztórétegben fellépő feszültségek meghaladták a ragasztás szilárdságát, repedésnek pedig azt nevezzük, amikor a faanyagban a feszültségek meghaladták a szilárdságot és elrepedt.

a túlméretezett nyomott oszlopokon – mivel egyenletes a feszültség a tartóban – alig van repedés; míg a szelemenekben – melyek végein jelentős a nyíró igénybevétel is – a tartók felrepedtek. (A csavarkötés hatása is ott jelentkezik.)

A koncentrált erő bevezetése repedési hajlammal jár. Kisharsányban a templom tetőszerkezetén a vonórúd bekötésnél a tartó lamellái elváltak (2. ábra).

Az egyenletes klímában a tartók kevésbé repednek. A harkányi élménymedence nyitható tetejű, a tartók felrepedése jelentős. Az egrí élményszobában, valamint a hajdúszoboszlói élményszobában esetén a stabil, éjjel-nappal működő klíma megfelelő egyenletes légállapotot mutat. A harkányi városi tornacsarnokban nincs szellőzés, a légállapot általában stabilnak mondható, a felmérés során a legnagyobb mértékű repedések itt jelentkeztek.

A bútük és a kifutó lamellás kialakítás jelentős rétegelválasztási kockázati tényező. A harkányi elbontott III. sz. medence tartóinál törvényszerű volt a „fogyószálás” rész lerepedése. A harkányi új medencék közül a „B” medencénél a kifutó lamellás sarok keretek repedtek. Pécssett az uránvárosi piacnál a kifutó lamellás keretek inkább a bútükknél repedtek. A mohácsi városi uszoda esetén a keretek kifutó lamellásak, de láthatóan jelentős mértékben túlméretezettek. A nyomott oszlopokban a lamellákban közel azonos feszültség van, így a lamellaszétválasztási-hajlam nem jelentős. Tapolcán a városi rendezvénycsarnokban, 2012 márciusában a kifutó lamellás rész lerepedt a tartóról (3. ábra), a gerincáttörések mentén további bútü felületek alakultak ki a tartón, ahol a bútü jelentősebb párafelvételi hajlama további többlet feszültséget vitt a tartóba, klimatikus sajátfeszültség formájában.

A tartók inhomogenitásának problémái is felmerültek a felmérések során. A harkányi új medencék közül a „B” medence 3-as tartójának ultrahangos vizsgálata az egyes lamellák jelentős szilárdsági inhomogenitását mutatta. A tapolcai rendezvénycsarnok műszeres és vizuális vizsgálata kimutatta, hogy a tartó jelentős számban belet tartalmazó lamellából állt.

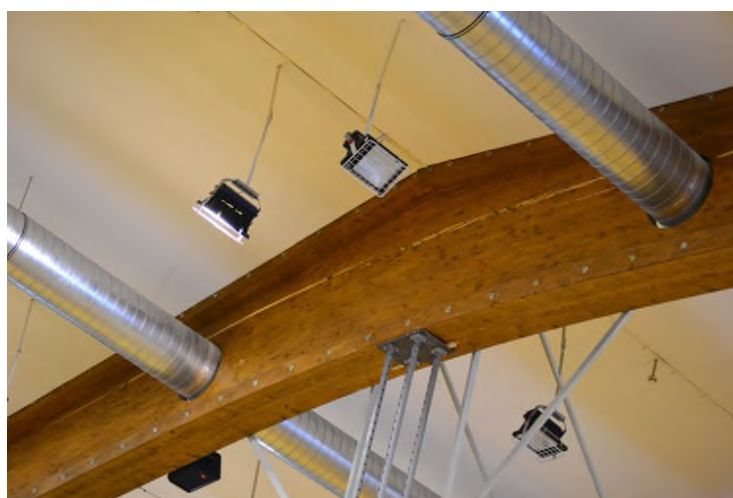


**1. ábra** A harkányi tornacsarnok vékony lamellás ép és vastag lamellás repedt tartói

**Figure 1** Cracked beams made of thin and thick lamellas in the gym hall in Harkány



**2. ábra** A kisharsányi templom tetőszerkezetének repedése az erőbevezetésnél  
**Figure 2** Crack at the loading point in the roof-construction of the church in Kisharsány



**3. ábra** Tapolca, városi rendezvénycsarnok: fogyószálás rész lerepedése  
**Figure 3** Crack of the outrunning grain in the Tapolca town-hall

A bél körüli anyaggal (ún. juvenilis fával) kapcsolatban a legnagyobb probléma, hogy ebben az anyagban jelentősen nagyobb a fában egyébként többnyire elhanyagolható mértékű hosszirányú zsugorodás-dagadás. (Ez annak köszönhető, hogy a juvenilis fa sejteinek falában sokkal nagyobb a mikrofibrillaszög, emiatt a sejtek, és a sejtekből felépülő faanyag is nagyobb méretmozgást mutat.) A bél körüli fa anatómiai és szilárdsági tulajdonságainak jelentős eltérése miatt, a tartó inhomogenitása és ezáltal a változó klimatikus körülmények között keletkező belső feszültségei jelentősen növekednek (4. ábra). Az inhomogenitás jelen esetben túl a lamella ortotróp tulajdonságain, a lamellák eltérő rugalmassági modulusa következtében az előállított keresztmetszettel jellemezhető tartó további, a tartó élettartamára jelentős kihatással bíró inhomogenitást mutat. Az eltérő rugalmassági modulusú (szilárdsági kategóriájú) lamellák az egyébként szeszélyesen változó klimatikus környezetben eltérő módon viselkednek, emiatt a tartóban jelentős, az igénybevételekből számítható feszültségekkel összemérhető nagyságú, és azokhoz hozzáadódó belső, ún. saját feszültségek keletkeznek. Az inhomogén lamellás tartók lamella elválása fizikailag törvényszerű.

#### Tönkremenetek lehetséges okai

A rétegelt-ragasztott fa tartószerkezet lamelláinak szétválása több tényező együttes hatására következhetett be, ezek:

- gátolt zsugorodási-dagadási alakváltozás
- kifutó lamella
- a lamellák eltérő nedvességtartalma
- a tartó hossz tengelyére merőleges feszültségek
- ragasztási probléma
- a faanyag anizotrop, inhomogén anyagi tulajdonságai
- az egyes tartók lamelláinak csupán vizuális és nem gépi szilárdsági osztályozáson alapuló osztályozása.

A rendkívüli környezeti feltételeknek kitett rétegelt-ragasztott fa tartószerkezetnél a repedések megjelenése gyakran előforduló jelenség. A felvett víz hatására a fa rostjai dagadnak, száradáskor zsugorodnak. Változó klimatikus környezetben gyors zsugorodás és dagadás mellett a fa belső feszültségei repedésekhez vezethetnek (klimatikus saját feszültségek). Az iker főtartós kialakításoknál alkalmazott betétfák rostiránya merőleges a főtartó rostirányára, és emiatt a két faelem zsugorodása-dagadása különböző, illetve részben gátolt folyamat, a két faelem gyakorlatilag egymást repeszti szét.

Mivel a fa ortogonálisan anizotrop, a vízfelvétel során fellépő alakváltozás is – az egyéb fizikai jellemzőkhöz hasonlóan – jelentős mértékben függ az iránytól. Rostirányban a zsugorodás-dagadás mértéke legalább egy nagyságrenddel kisebb, mint sugár vagy tangenciális irányban. A szabad tartóvégeken, ami a lamellák nyitott bütü felületét jelenti, a gyorsabb nedvesedés vagy száradás következtében hamar keletkeznek repedések.

A kifutó lamellák, melyek a tartó változó magasságú kialakításának következményei, szintén jóval több nedvességet vesznek fel, mint a többi lamella. A nedvesebb lamellák dagadnak, és a fa tartóban jelentős belső feszültségek alakulnak ki. Eltérő nedvességtartalmú lamellák esetén még rezorcin-formaldehid ragasztó alkalmazása esetén is történhet lamella szétválás, elsősorban a tartó zsugorodásból eredő belső feszültségei következtében. Statikai számításokkal egyébként is bizonyítható, hogy a változó keresztmetszetű tartó kiegészítő, kifutószálas részében nagyobb rosttal párhuzamos normál feszültségek ébrednek, mintha nem lenne ott a kiegészítés. Építészeti okokból szükséges kiegészítést ezért csak ráhelyezik (együttműködés nélkül) a párhuzamos övű tartóra. Ez a megoldás egy kedvezőbb erőjátékú szerkezetet eredményez.

A tartó alakjából és az igénybevételekből fakadóan szintén keletkeznek a tartó hossz tengelyére merőleges nyomó-húzó feszültségek, és a zsugorodási-dagadási feszültségek ezekkel összegződnek. Mivel a repedések jelentős mértékben a lamellák között, a ragasztás síkjában fordulnak elő, nem lehet kizárni a ragasztási problémát sem.



**4. ábra** A tapolcai rendezvénycsarnok repedt tartójának bütüje

**Figure 4** End grain of the cracked beam in the Tapolca town-hall

A csomóponti kötésekhez alkalmazott acélbetétek, lemezek mérete és alakja a nedvesség hatására nem változik, és emiatt a faelem zsugorodása-dagadása részben gátolt folyamat.

Ugyanezeket állapította meg Kánnár (2011) is.

### Összefoglalás

Sokan kutatták és kutatják a rétegelt-ragasztott fatartók viselkedését, mint azt az irodalmi áttekintés mutatja. De sokkal átfogóbb kutatásokra van szükség, hogy ténylegesen meg tudjuk érteni a rétegelt-ragasztott fatartók viselkedését, károsodásainak okait. Megállapítható, hogy a rétegelt-ragasztott fa tartószerkezetek tönkremeneteleinek és meghibásodásainak problémáit sok okra vezethetjük vissza, mint azt a felmérési eredményekből is láthatjuk.

Hogy ezen okokat megértsük és kiküszöbölhessük, számítómodellt dolgoztunk ki, mellyel különféle eseteket vizsgáltunk. A számítómodell, az ezekkel megvizsgált esetek, és ezekből levonható következtetések kerülnek bemutatásra a cikksorozat második részében.

### Köszönetnyilvánítás

A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

### Irodalomjegyzék

- Angst V., Malo A. K.: 2012: Moisture-induced stresses in glulam cross sections during wetting exposures; Springer-Verlag 2012, Wood Science Technology DOI 10.1007/s00226-012-0493-8,
- Bartal és Rabb Kft.: 2010: KUTATÁSI JELENTÉS A BAROSS RRTARTO1 OMFB-00398/2010 számú pályázathoz, 118.
- Frese M., Blaß H. J.: 2011: Statistics of damages to timber structures in Germany, Contents lists available at SciVerse ScienceDirect, Engineering Structures, journal homepage: [www.elsevier.com/locate/engstruct](http://www.elsevier.com/locate/engstruct), Engineering Structures 33 (2011) 2969–2977
- Frühwald, E., Thelandersson S.: 2008: Design of safe timber structures, [http://www.ewpa.com/Archive/2008/june/Paper\\_269.pdf](http://www.ewpa.com/Archive/2008/june/Paper_269.pdf)
- Garab J., Karácsonyi Zs.: 2010: Engineering strength of European ash (*Fraxinus excelsior* L.), Proceedings of “Hardwood Science and Technology, the 4th Conference on Hardwood Research and Utilisation in Europe 2010” xxx
- Garab J., Tóth Á., Szalai J., Bejő L., Dívós F.: 2010: Evaluating glued laminated beams using a nondestructive testing technique, Transactions of Famena 34(4):33–46
- Gustafsson P. J., Hoffmeyer P., Valentin G.: 1998: DOL behaviour of end-notched beams, Holz als Roh- und Werkstoff 56 (0998) 307–317, Springer-Verlag 1998
- Häglunk M.: 2009: Parameter influence on moisture induced eigen-stresses in timber, European Journal of Wood and Wood Products (2010) 68:397–406, Springer-Verlag 2009, DOI 10.1007/s00107-009-0377-2
- Hansson M., Larsen H.J.: 2005: Recent failures in glulam structures and their causes, Engineering Failure Analysis 12 (2005) 808–818
- Kánnár A.: 2011: Theoretical and experimental investigations of damage development of glulam beams The 17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium 2011. szept 14–16. Sopron Hungary. Proceedings 367–374
- Kánnár A.: 2012: Szakmai zárójelentés: Rétegelt ragasztott fatartók méretezési és technológiai innovációja a klimatikus sajátfeszültségek figyelembevételével projekt REG-ND-09-2-2009-0019
- Major B.: 2010: Faanyag nedvességtartalmának változása klimatikus hatásokra, Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, 1–23
- Szalai J.: 1984–85: Rétegelt-ragasztott íves fatartók gyártása során, valamint klímaváltozás következtében fellépő sajátfeszültségeinek és alakváltozásainak meghatározása, Kandidátusi értekezés tézisei, 11.
- Szalai J.: 1985: Rétegelt ragasztott íves fatartók gyártása során, valamint klímaváltozás következtében fellépő sajátfeszültségeinek és alakváltozásának meghatározása, Kandidátusi értekezés; Sopron, 151.

- Szalai J.: 1992: Indirekte Bestimmung der Scherfestigkeit des Holzes mit Hilfe der anisotropen Festigkeitstheorie, Holz als Roh- und Werkstoff 50:233-238
- Szalai J.: 1994: A faanyag anizotrop rugalmasságtana. I. rész. A mechanikai tulajdonságok anizotrópiája. Hillebrand nyomda. Sopron
- Szalai J.: 1996: Az erdei fenyő (Pinus sylvestris) technikai szilárdságai, Bútor- és Faipar (6-7):14-15
- Szalai J.: 1997a: Technische Festigkeiten des Buchenholzes (Fagus sylvatica), Drevársky Vyskum (Wood Research), 42(3): 1-14
- Szalai J.: 1997b: A faanyag anizotrop szilárdsági jellemzői, az MTA Doktori tudományos cím megszerzéséért benyújtott disszertáció; Sopron, 248.
- Szalai J.: 1998a: Technische Festigkeiten der Akazie (Robinia pseudo-Acacia) und der Fichte (Picea abies), Drevársky Vyskum (Wood Research), 43(3-4):39-61
- Szalai J.: 1998b: Design values of acacia and spruce (Robinia pseudo-Acacia and Picea excelsa), Drevarsky Vyskum 43(3-4):39-51
- Szalai J.: 1999: Technische Festigkeiten der Eiche (Quercus robur). A Soproni Egyetem Tudományos Közleményei. (Scientific Bulletin, University of Sopron), 42-45:189-198
- Szalai J.: 2001: A faszerkezetek méretezését és gyártását befolyásoló sajátosságok; (Wittmann Gy. szerk.) Mérnöki faszerkezetek II., Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 143-258.
- Szalai J., Kánnár A.: 2002a: Réteges felépítésű faszerkezeti elemek klímaváltozás során bekövetkező vetemedésének és sajátfeszültségeinek számítása. 1. rész: elméleti összefoglaló. Faipar L. évf. 2002/1. 19-23.
- Szalai J., Kánnár A.: 2002b: Réteges felépítésű faszerkezeti elemek klímaváltozás során bekövetkező vetemedésének és sajátfeszültségeinek számítása. 2. rész: Az elméleti levezetések eredményeinek alkalmazása. Faipar L. évf. 2002/4. 7-12.
- Szalai J.: 2005: Technische Festigkeiten der Pannonia Pappel (Populus x euramericana cv. Pannonia) und Zerreiche (Quercus cerris L.), Acta Sylvatica Lignaria Hungarica 1:93-103
- Vanya Cs.: 2012: Damage problems in glued laminated timber; Drewno – Prace, Naukowe, Donesienia, Komunikaty, No. 188, pp.115-128; ISSN 1644-3985



# Javaslatok rétegelt-ragasztott fatartók tervezéséhez, gyártásához és üzemeltetéséhez, felmérési és modellezési eredmények alapján

II. rész: A számítómodell és azok eredményeinek bemutatása a rétegelt-ragasztott fatartók tönkremenetelek okaira

VANYA Csilla<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pécsi Tudományegyetem, Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar

Kapcsolat: vanya.csilla@pmmik.pte.hu

## Kivonat

A rétegelt-ragasztott fatartók egyre elterjedtebbé váltak az elmúlt 50 évben. A megfelelő minőségű anyagokból készített rétegelt-ragasztott tartók minőségi beszerelést és üzemeltetést követően időállóak, azonban egyre több esetben fordul elő a rétegelt-ragasztott tartók károsodása és a károsodás miatt egész tetőszerkezetek életveszélyessé válása. A felmerülő problémák miatt Magyarország jelentősebb komplexumait felmérték, ahol rétegelt-ragasztott tartók a teherhordó szerkezetek. A tartók rétegrepedéseit és egyéb tönkremeneteli problémáit, az épületek üzemeltetési jellegzetességeinek figyelembevételével határozták meg. A hibák ok-okozati összefüggéseit mérésekkel és számítási eljárásokkal vizsgálták. Ezek után az összes tapasztalatból iránymutató következtetések és javaslatok születtek, a tervezésre, a gyártásra és az üzemeltetésre vonatkozóan.

**Kulcsszavak:** rétegelt-ragasztott faszerkezet, delamináció, felmérés

## Design, fabrication and operation proposals for glued-laminated timber, based on measuring and modelling results

Chapter 2: The calculation model and its results used for determination the reasons of damaging of glued-laminated timbers

## Abstract

Glue-laminated timber beams have been used in an increasing number of cases in the past 50 years. Glue-laminated beams are durable constructs if they are manufactured from adequate quality materials and if their installation and operation are performed to a high quality standard. There are however an increasing number of cases of glue-laminated beams suffering damage, and, as a result, entire roof structures becoming unsafe. Because of the arising problems the most important building complexes in Hungary, -in which glue-laminated beams are used as bearing structures,- have been examined. The assessment included both the damage problems of the existing structures and the operating features of the buildings. Later, the reasons for the damages were determined with measurements and calculations. From all of these observations, conclusions and suggestions were outlined for the design, construction and operation of the structures.

**Keywords:** glue-laminated structures, delamination, assessment

## Bevezetés

Mint azt a cikksorozat első részében (Vanya 2014) is leírtuk, a rétegelt-ragasztott fatartók egyre több esetben károsodnak és a károsodások okán egyre több tetőszerkezet válik életveszélyessé. A felmerülő problémákat és azok okait átfogóan kell vizsgálni, melynek megvalósítása nem kis feladat. A Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Karának Műszaki Mechanika és Tartószerkezetek Intézete elnyert egy pályázati támogatást (Baross Gábor RRTARTO1 OMFB-00398/2010). Ezen a pályázaton belül a felmért szerkezetek rétegrepedéseit és egyéb tönkremeneteli problémáit már bemutattuk a korábbi cikkünkben.

A felmért tönkremeneteli problémák magyarázatára egy olyan számítómodellt készítettünk, mely a külső terhelésből származó feszültségeket nem a mai gyakorlat által számításba vett homogén tartókeresztmetszetként, hanem a réteges szerkezetet figyelembe véve számítja. A számítások során nem csak a külső terhelésből származó feszültségeket, hanem a gyártási és a változó klimatikus hatások következtében keletkező sajátfeszültségeket is meghatározza. A feszültségeket külön-külön és egyben is vizsgáltuk. Ebben a cikkben ezt a számítási modellt és az ezekkel végzett kísérletek eredményeit mutatjuk be.

## A számítómodell

A von Roth (1975) által meghatározott, rétegelt-ragasztott íves tengelyű fatartók külső terhelésből származó feszültségeinek, illetve a Szalai (2001) által levezetett gyártási- és klimatikus sajátfeszültségeknek a számítását anizotrop alapon használtuk fel. Mindhárom feszültség számítására külön-külön példákat dolgoztunk ki, különféle geometriát és terhelési eseteket figyelembe véve, végül meghatároztuk és összegeztük egy rétegelt-ragasztott íves fatartón mindhárom hatás feszültség-állapotmezejét. Mindhárom számításban az eredeti jelölésrendszert használtuk és csak az összegzésnél, illetve az erőtan mértekezésnél választottunk egységes jelölésrendszert. A számításokat MS Excel program segítségével végeztük.

## Az egyes feszültségfajták meghatározásának bemutatása

Az íves rétegelt-ragasztott fatartók külső terhelésből származó feszültségeinek analitikus meghatározását Roth (1975) vezette le. A feszültségek számítása az alábbi formulákkal történik:

$$\sigma_{rr} = \frac{M_0 + N_0 \cdot R}{W} \cdot K_{rr}^M + \frac{Q_0}{F} \cdot \sin\varphi \cdot K_{rr}^Q + \frac{N_0}{F} \cdot \cos\varphi \cdot K_{rr}^N, \quad [1]$$

$$\sigma_{\varphi\varphi} = \frac{M_0 + N_0 \cdot R}{W} \cdot K_{\varphi\varphi}^M + \frac{Q_0}{F} \cdot \sin\varphi \cdot K_{\varphi\varphi}^Q + \frac{N_0}{F} \cdot \cos\varphi \cdot K_{\varphi\varphi}^N, \quad [2]$$

$$\sigma_{r\varphi} = \frac{N_0}{F} \cdot \sin\varphi \cdot K_{r\varphi}^N + \frac{Q_0}{F} \cdot \cos\varphi \cdot K_{r\varphi}^Q, \quad [3]$$

ahol:

$\sigma_{\varphi\varphi}$  – a rostokkal párhuzamos normálfeszültség

$\sigma_{rr}$  – a rostokra merőleges normálfeszültség

$\sigma_{r\varphi}$  – a nyírófeszültség

$W$  – a keresztmetszeti tényező

$F$  – a keresztmetszet területe

$N_0, Q_0, M_0$  – a tartó belső erői a vizsgált szakasz kezdeti keresztmetszetében

$R$  – a tartó súlyponti szálának görbülete sugara

$\varphi$  – a számolni kívánt keresztmetszet helyének szöge a kezdeti számítási ponttól

$K_{rr}^M, K_{rr}^N, K_{\varphi\varphi}^M, K_{\varphi\varphi}^N$  – faktorok, melyek a geometriai jellemzőkből és az anyagtulajdonságokból számíthatók, valamint:

$$K_{rr}^Q = -K_{rr}^N, \quad K_{r\varphi}^N = K_{rr}^N, \quad K_{r\varphi}^Q = K_{rr}^N, \quad K_{\varphi\varphi}^Q = -K_{\varphi\varphi}^N.$$

Ezekkel az összefüggésekkel a tartó  $\varphi$ -vel megadott keresztmetszetének tetszőleges pontjában számíthatjuk a külső terhelésből származó, síkbeli feszültségi állapot három komponensét. A megoldás lehetővé teszi, hogy tetszőleges fafajnak megfelelő ortotrop anyagjellemzőket vegyünk figyelembe rugalmas állandóként.

A rétegelt-ragasztott íves fatartók gyártása során keletkező sajátfeszültségek meghatározása Szalai (2001) szerint a következő módon történik:

Az  $i$ -dik lamellában:

$$\sigma_{zzi}(z, y_i) = \frac{M_i(z)}{I_i} y_i + \frac{N_i(z)}{F_i}, \quad [4]$$

A tartóvégek közelében az  $i$ -dik ragasztórétegben:

$$\sigma_{yyi}(\xi) = \frac{2}{bh^2 f(\xi=1)} [2 \sum_{j=1}^i M_j + \sum_{j=1}^i h_j \sum_{k=1}^i N_k - N_j] f''(\xi), \quad [5]$$

$$\tau_i(\xi) = -\frac{2 \sum_{j=1}^i N_j}{bh f(\xi=1)} f'(\xi), \quad [6]$$

ahol:

$\sigma_{zzi}$  – a rostokkal párhuzamos normálfeszültség

$\sigma_{yyi}$  – a rostokra merőleges normálfeszültség

$\tau_i$  – a nyírófeszültség

$I_i = \frac{bh_i^3}{12}$  – az  $i$ -dik lamella másodrendű nyomatéka saját súlyponti  $x$  tengelyére

$F_i = bh_i$  – az  $i$ -dik lamella keresztmetszet-területe

$b$  – a lamellák szélessége

$h_i$  – az  $i$ -dik lamella vastagsága

$N_i(z) = A_i \frac{M_0(z)}{AJ-S^2} (Aa_i - S)$  – az  $i$ -dik lamella normál igénybevétele a  $z$  helyen

$M_i(z) = M_{0i}(z) - J_i \frac{M_0(z)A}{AJ-S^2}$  – az  $i$ -dik lamella hajlító igénybevétele a  $z$  helyen

ahol:

$$S = \sum_{i=1}^n A_i a_i$$

$A_i$  – az  $i$ -dik lamella módosított keresztmetszet területe

$a_i$  – az  $i$ -dik lamella súlypontjának távolsága az első lamella súlypontjától a  $z$  helyen

$J_i$  – az  $i$ -dik lamella módosított másodrendű nyomatéka

$M_{0i}(z)$  – a lamellák préselő sablonba hajlításához szükséges nyomaték.

A keletkező feszültségekről azt kell tudnunk, hogy a  $\sigma_{zzi}$  rostokkal párhuzamos normálfeszültség a tartó teljes szakaszára vonatkozik (kivéve a zavart szakasz), míg a  $\sigma_{yyi}$  rostokra merőleges normálfeszültségek és a  $\tau_i$  nyírófeszültségek csak a tartó végek közelében működnek. A tartó végén  $h/2$  hosszon alakul ki az úgynevezett zavart szakasz. A feszültségek maximumai: a tartó végpontjában, valamint a tartó végétől számított  $h/6$  és  $2h/6$  távolságra elhelyezkedő keresztmetszetekben ébrednek. A  $\sigma_{zzi}$  feszültség a zavart szakaszon fokozatosan 0-ra csökken le a  $f(\xi)$  függvény szerint (1. ábra).

Analóg módon határozhatók meg a klimatikus terhelésből származó sajátfeszültség állapotok. Az alapvető eltérés a lamellák klímaváltozásból származó hő- és nedvességtágulásának számításában van.

### A feszültségállapotok összegzésének módszere

A három hatásfajtának (külső, gyártási és klimatikus) megfelelően a tartóban háromféle feszültség-tenzorkeletkezik. A tartó szerkezetek valójában ezek együttes hatását, az eredő feszültség-tenzorkeletet érzékelik, és annak megfelelően viselkednek, azaz tönkre mennek vagy épek maradnak.

A tenzorokat úgy összegezzük, hogy a tenzor egymásnak megfelelő komponenseit skalárisan összeadjuk. Az összegezhetőség feltétele, hogy egy adott ponthoz tartozó háromféle feszültség-tenzorkelet elemi mind ugyanabban a koordinátarendszerben adjuk meg (a faanyaggal kapcsolatban ez a koordinátarendszer a faanyag anatómiai főirányával párhuzamos). Ha ez a feltétel nem teljesül, akkor a tenzorkomponenseket a legalkalmasabb közös koordinátarendszerbe kell átszámolni a megfelelő tenzor-transzformációk segítségével.

A megfelelő feltételek esetén az összegzés képletben:

$$\sigma_{eredő}^{ij} = \sigma_{külső}^{ij} + \sigma_{gyártási}^{ij} + \sigma_{klimatikus}^{ij} =$$

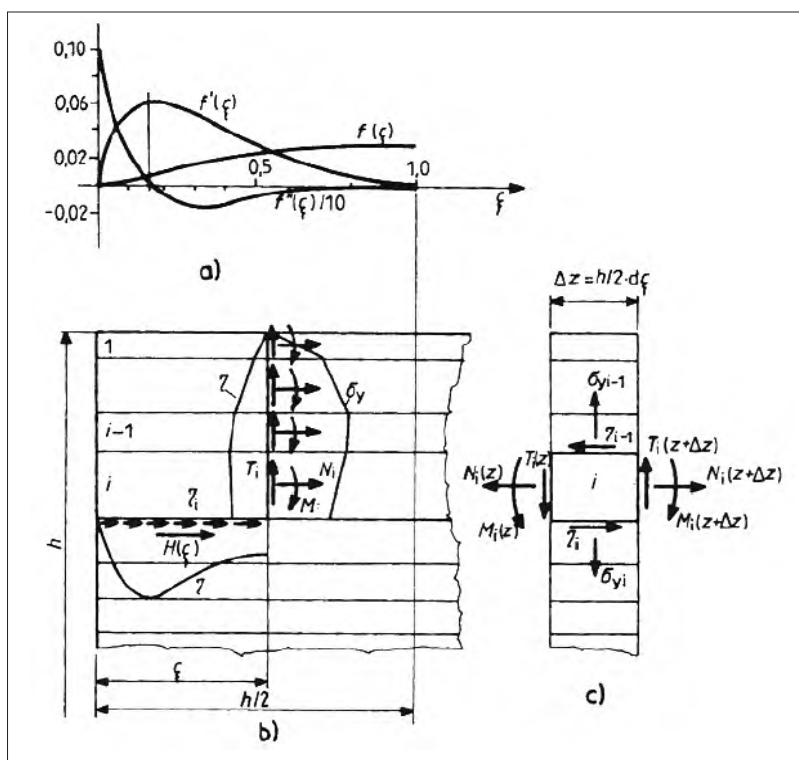
$$= \begin{bmatrix} \sigma_{k\ddot{u}}^{LL} & \sigma_{k\ddot{u}}^{RL} & \sigma_{k\ddot{u}}^{TL} \\ \sigma_{k\ddot{u}}^{LR} & \sigma_{k\ddot{u}}^{RR} & \sigma_{k\ddot{u}}^{TR} \\ \sigma_{k\ddot{u}}^{LT} & \sigma_{k\ddot{u}}^{RT} & \sigma_{k\ddot{u}}^{TT} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_{gy}^{LL} & \sigma_{gy}^{RL} & \sigma_{gy}^{TL} \\ \sigma_{gy}^{LR} & \sigma_{gy}^{RR} & \sigma_{gy}^{TR} \\ \sigma_{gy}^{LT} & \sigma_{gy}^{RT} & \sigma_{gy}^{TT} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sigma_{kl}^{LL} & \sigma_{kl}^{RL} & \sigma_{kl}^{TL} \\ \sigma_{kl}^{LR} & \sigma_{kl}^{RR} & \sigma_{kl}^{TR} \\ \sigma_{kl}^{LT} & \sigma_{kl}^{RT} & \sigma_{kl}^{TT} \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} \sigma_{k\ddot{u}}^{LL} + \sigma_{gy}^{LL} + \sigma_{kl}^{LL} & \sigma_{k\ddot{u}}^{RL} + \sigma_{gy}^{RL} + \sigma_{kl}^{RL} & \sigma_{k\ddot{u}}^{TL} + \sigma_{gy}^{TL} + \sigma_{kl}^{TL} \\ \sigma_{k\ddot{u}}^{LR} + \sigma_{gy}^{LR} + \sigma_{kl}^{LR} & \sigma_{k\ddot{u}}^{RR} + \sigma_{gy}^{RR} + \sigma_{kl}^{RR} & \sigma_{k\ddot{u}}^{TR} + \sigma_{gy}^{TR} + \sigma_{kl}^{TR} \\ \sigma_{k\ddot{u}}^{LT} + \sigma_{gy}^{LT} + \sigma_{kl}^{LT} & \sigma_{k\ddot{u}}^{RT} + \sigma_{gy}^{RT} + \sigma_{kl}^{RT} & \sigma_{k\ddot{u}}^{TT} + \sigma_{gy}^{TT} + \sigma_{kl}^{TT} \end{bmatrix}$$

Az egyenes vagy íves tengelyű rétegelt-ragasztott fatartóban, a leggyakoribb esetben a tartó síkjával párhuzamos síkú feszültségállapot keletkezik, azaz a feszültségi állapotoknak a tartó minden pontjában három nem nulla komponense lesz. A már bemutatott három fajta terhelés mindegyikéből meghatározhatók ezek a feszültségkomponensek, mégpedig a tartó elméleti középsíkján felvett pontok helyének függvényében. Ezeket a tenzorszámítás szabályainak figyelembevételével összegezve megkapjuk a tartó síkbeli modelljének eredő feszültség-állapotmezejét. Az eredő feszültség-tenzor függvény ismeretében elvileg bármely pontban számíthatjuk a hozzá tartozó feszültség-állapotot. A tönkremenetel szempontjából legveszélyesebb feszültségállapot-tenzor helye lesz a tartó kritikus pontja, a ponthoz tartozó keresztmetszet a tartó veszélyes keresztmetszete. Természetesen egy tartón egyszerre több ilyen pont is lehet. Számítógép alkalmazásával ezek a tenzormező-függvények felírhatók és a kritikus pontok, illetve feszültség-állapotok meghatározása viszonylag egyszerűen megszervezhető (erre akár egy Excel program is alkalmas).

A feladat jellegéből következik, hogy a tartó szerkezet tervezését csak közvetve végezhetjük el, azaz – a gyakorlati tapasztalatok alapján – felvesszük a tartó keresztmetszeti méreteit, majd ellenőrzést végzünk. Ha a gazdaságossági követelményeket is szem előtt tartjuk, akkor esetleg csökkenthetjük is a keresztmetszet méreteit, majd újabb ellenőrzést végzünk.

Némi gyakorlattal megspórolhatjuk a feszültség tenzor-függvények felírását. A veszélyes keresztmetszeteknek és azok kritikus pontjainak a kiválasztása megfelelő számú megoldott feladat után szinte automatikussá válik. Ebben az esetben nem kell az egész tartó feszültség-állapotmezejét meghatározni, elegendő a kritikusnak ítélt pontokban az eredő feszültség-állapotokat számítani. A külső terhelésből származó feszültségek maximum



**1. ábra** A belső erők és a sajátfeszültségek eloszlása a tartóvégek közelében a ragasztórétegben és a lamellákban: a – az Y. Guyon által definiált függvények; b – a lamella végek közelében ébredő belső erők és feszültségek; c – a Δz hosszúságú i-dik lamellára ható belső erők és feszültségek (Szalai 2001, a szerző engedélyével).

**Figure 1** Distribution of internal loads and residual stresses in the vicinity of the beam ends within the glue layer and within the lamellae: a – the functions defined by Y. Guyon; b – the internal loads and stresses arising in the vicinity of the lamella ends; c – the internal forces and stresses acting on lamella i of a length of Δz. (Szalai 2001, with permission)

értékei azokban a keresztmetszetekben várhatók, ahol a maximális igénybevételek keletkeznek. Ezeket a keresztmetszeteket mindenképpen vizsgálni kell abból a szempontból, hogy a klimatikus hatásokból keletkező feszültségek, és a gyártási feszültségek kedvező hatást, vagy többlet terhet adnak-e az adott keresztmetszetre. Ugyanezen az elven vizsgálni kell azokat a keresztmetszeteket, ahol a sajátfeszültségek szélsőértékei vannak, hogy ott a három feszültség összegéből mekkora feszültségek jönnek létre.

Sajnos a szerkezetben a három feszültség egymásra hatásából az is előfordulhat, hogy nem ott keletkeznek a feszültségek szélsőértékei, ahol az egyes feszültségek szélsőértékei vannak, hanem olyan keresztmetszeten belül, ahol a három feszültség fajtából, bár egyenként viszonylag alacsony, de mégis egymást károsan befolyásoló értékek keletkeznek. Nagyon körültekintően kell kiválasztanunk, hogy a szerkezet melyik keresztmetszeteit és azoknak melyik kritikus pontjait vizsgáljuk. Egyszerűbb szerkezetek esetében ez nagyon gyorsan megállapítható, de bonyolult terhelések és/vagy tartógeometria esetén az is előfordulhat, hogy a szélsőérték helyeken kívül kis szakaszokra kell felbontani a tartót és minden szakasz keresztmetszetében összegeznünk kell a feszültség-tenzorokat, hogy láthassuk, hol lesznek a különböző hatásokból keletkező eredő feszültség-állapotok kritikus értékei.

### Erőtani méretezés az anizotrópia figyelembevételével

A rétegelt-ragasztott fatartók erőtani méretezését – összhangban a régi magyar MSZ és az EUROCODE előírásaival – a valószínűség-számítással kiegészített határállapot módszerével végezzük. Azaz a feszültségeket a mértékadó terhelésből számítjuk, a határfeszültségek pedig az adott típusú szilárdság eloszlásfüggvényének 0,1%-os kvantiliséhez tartozó értéke. Az anizotrop anyag összetett feszültségi állapottal kapcsolatos problémájához az Ashkenazi-féle tönkremeneteli elméletet alkalmaztuk, amely faanyagra és faalapú anyagokra az utóbbi évtizedek kutatásai alapján a legeredményesebb. Eszerint a vizsgált pontban a szerkezeti elem megfelel, ha az Ashkenazi-elmélettel számított mértékadó egyenértékű feszültsége kisebb, mint az alkalmazott faanyag rostirányú határ-húzószilárdsága. Képletben:

$$\sigma_{egy}^M = \frac{1}{t_{LLL}^H} \frac{t_{ijkl}^H \sigma_M^{ij} \sigma_M^{kl}}{\sqrt{I_1^2 - I_2}} \leq \sigma_e = f_L^{H+}, \quad i, j, k, l = L, R, T \quad [8]$$

ahol:

$\sigma_{egy}^M$  – a mértékadó terhelésnek megfelelő Ashkenazi-féle egyenértékű feszültség

$f_L^{H+}$  – rostirányú határ-húzófeszültség

$t_{ijkl}^n$  – a technikai szilárdságok határértékével (0,1%-os valószínűségi szint) számított tenzorkomponensek

$\sigma_M^{ij}$  – a ható feszültségi állapot tenzora (a tartó mértékadó terhelésből számítva) a faanyag anatómiai főirányainak megfelelő koordináta rendszerben

$I_1, I_2$  – a feszültségi állapot első és második invariánsa.

Az eljárást az összetett feszültségi állapot következtében nem lehet tervezésként (méretezésként) alkalmazni, csak ellenőrzésként. Tehát az előre felvett geometriai méretek és a mértékadó terhelés felhasználásával kiszámítjuk a mértékadó feszültségi állapotot a kritikus pontban. Kiszámítjuk a mértékadó egyenértékű szilárdságot és összehasonlítjuk a faanyag rostirányú határ-húzószilárdságával.

### Számítómodellel végzett kísérletek

A számítások során nem csak a külső terhelésből származó feszültségeket, hanem a gyártási és a változó klimatikus hatások következtében keletkező sajátfeszültségeket is meghatároztuk. A feszültségeket külön-külön és egyben is vizsgáltuk. Változó klimatikus hatásokat modellezve homogén (GL28h szilárdsági kategóriájú) és kombinált (GL28c) keresztmetszetű – azaz szélső övek jobb szilárdsági tulajdonságúak – tartókra 9 féle, a valóságból vett példát modelleztünk, ahol nem csak a nedvességtartalmi –, de a hőmérsékletváltozás hatásait is vizsgáltuk.

Csak a klimatikus hatásokból származó feszültségeket vizsgáltuk a következő esetekben:

- Egy egyenes tengelyű homogén rétegelt-ragasztott fa tartógerenda ( $h_i = 30 \text{ mm}$ ,  $n = 20 \text{ db}$ ,  $L = 60 \text{ m}$ ) sajátfeszültség-állapotmezejének meghatározása, ha a gyártáskor az 5. lamella nedvességtartalma 10%-kal nagyobb, mint a többié és a nedvességtartalom a beépítés után viszonylag rövid idő alatt kiegyenlítődik.

- Egy körív alakú homogén rétegelt-ragasztott fa tartógerenda ( $h_i = 30 \text{ mm}$ ,  $n = 20 \text{ db}$ ,  $L = 60 \text{ m}$ ) sajátfeszültség-állapotmezejének meghatározása, ha a gyártáskor az 5. lamella nedvességtartalma 10%-kal nagyobb, mint a többié és a nedvességtartalom a beépítés után viszonylag rövid idő alatt kiegyenlítődik.
- Egy körív alakú homogén rétegelt-ragasztott fa tartógerenda ( $h_i = 10 \text{ mm}$ ,  $n = 60 \text{ db}$ ,  $L = 60 \text{ m}$ ) sajátfeszültség-állapotmezejének meghatározása, ha a gyártáskor az 5. lamella nedvességtartalma 10%-kal nagyobb, mint a többié és a nedvességtartalom a beépítés után viszonylag rövid idő alatt kiegyenlítődik.
- Egy körív alakú kombinált rétegelt-ragasztott fa tartógerenda ( $h_i = 30 \text{ mm}$ ,  $n = 20 \text{ db}$ ,  $L = 60 \text{ m}$ ) sajátfeszültség-állapotmezejének meghatározása, ha a gyártáskor az 5. lamella nedvességtartalma 10%-kal nagyobb, mint a többié és a nedvességtartalom a beépítés után viszonylag rövid idő alatt kiegyenlítődik.
- Egy körív alakú kombinált rétegelt-ragasztott fa tartógerenda ( $h_i = 10 \text{ mm}$ ,  $n = 60 \text{ db}$ ,  $L = 60 \text{ m}$ ) sajátfeszültség-állapotmezejének meghatározása, ha a gyártáskor az 5. lamella nedvességtartalma 10%-kal nagyobb, mint a többié és a nedvességtartalom a beépítés után viszonylag rövid idő alatt kiegyenlítődik.
- Egy körív alakú homogén rétegelt-ragasztott tartó sajátfeszültségi-állapotmezejének kialakulása, ha a lamellák nedvességtartalma véletlenszerűen eltér egymástól, de maximum  $\pm 1\%$ -ban.
- Egy körív alakú kombinált rétegelt-ragasztott tartó sajátfeszültségi-állapotmezejének kialakulása, ha a lamellák nedvességtartalma véletlenszerűen eltér egymástól, de maximum  $\pm 1\%$ -ban.
- Egy körív alakú homogén rétegelt-ragasztott tartó sajátfeszültségi-állapotmezejének kialakulása, ha az 5. lamellának nem a nedvességtartalma, hanem a hőmérséklete magasabb a többinél ( $\Delta t_5 = 30 \text{ C}^\circ$ ).
- Egy körív alakú homogén rétegelt-ragasztott tartó sajátfeszültségi-állapotmezejének kialakulása, ha a beépítés után a tartóban viszonylag egyenletes, a magasság mentén folytonos parabola függvényvel megadható nedvesség-eloszlás alakul ki (tartós beázás miatt a lamellák nedvességtartalma a felső tartórétegekben jelentősen megnő).

Csak a gyártásból származó sajátfeszültségeket vizsgáltuk a következő esetekben (a tartó magasság és görbületi sugár viszonyait figyelembe véve):

- Egy  $R/H = 180$  viszonyszámnak megfelelő rétegelt-ragasztott íves fatartó ( $h_i = 30 \text{ mm}$ ) gyártási feszültség-állapot-mezőjének meghatározása.
- Egy  $R/H = 220$  viszonyszámnak megfelelő rétegelt-ragasztott íves fatartó ( $h_i = 30 \text{ mm}$ ) gyártási feszültség-állapot-mezőjének meghatározása.
- Egy  $R/H = 50$  viszonyszámnak megfelelő homogén rétegelt-ragasztott íves fatartó ( $h_i = 30 \text{ mm}$ ) gyártási sajátfeszültség-állapotmezejének meghatározása.
- Egy  $R/H = 50$  viszonyszámnak megfelelő homogén rétegelt-ragasztott íves fatartó ( $h_i = 10 \text{ mm}$ ) gyártási feszültség-állapot-mezőjének meghatározása.
- Egy  $R/H = 50$  viszonyszámnak megfelelő kombinált rétegelt-ragasztott íves fatartó ( $h_i = 30 \text{ mm}$ ) gyártási sajátfeszültség-állapotmezejének meghatározása.

A külső terhelésből, a gyártásból és a klimatikus hatásokból együttesen származó feszültségek meghatározására példa a következő volt:

- Egy félkörív alakú, háromcsuklós, 14 m-es feszávolságú rétegelt-ragasztott fatartó erőtan vizsgálata az összes lehetséges teherfajta egyidejű figyelembevételével, vastag és vékony lamellájú esetben. Külső terhelés egy közepesen ható koncentrált erő, a klimatikus terhelés a legfelső lamella nedvességtartalma 16%-os, míg a többi lamella 12%-os nedvességtartalmú.

### Az összes példából levonható következtetések

Az íves rétegelt-ragasztott fatartók gyártási feszültségeit érintő megállapítások:

- A gyártási és a külső terhelésből származó feszültségek összemérhetők. Ezek sokszor azonos nagyságrendűek, tehát a gyártási feszültségeket mindenképpen figyelembe kell venni a tartók erőtan méretezése során.
- Minél kisebb az  $R/H$  viszony (azaz azonos tartómagasság mellett minél kisebb a görbületi sugár), annál nagyobbak a gyártási feszültségek, különösen a rostokkal párhuzamos normál-feszültségek. Az  $R/H = 200$  érték azonban (hasonlóan a külső terhelésből származó feszültségszámításhoz) itt sem tekinthető határértéknek, hisz átlépésével nem változnak jelentősen a feszültségek. A modellszámítás alkalmas a konkrét  $R/H$  viszony figyelembe vételére.

- Azonos külső geometria esetén annál kisebbek a gyártási feszültségek, minél vékonyabbak a lamellák.
- Kombinált tartó esetén a normálfeszültségek maximumai az átmenetek környezetében jelentősek és a rostokra merőleges felszakadás veszélye közvetlenül a sablonból való kivétel után ezeknél a vegyes, eltérő rugalmassági modulusú íves tartóknál nagyobb. Ez a jelenség is a ragasztási technológia helyes betartására figyelmeztet minket.

A rétegelt-ragasztott fatartók klimatikus változások hatására fellépő feszültségeire érvényes általános megállapítások:

- A tartóvégeken fellépő, rostra merőleges normálfeszültségek és nyírófeszültségek kedvezőtlen klímaváltozás (ami a helytelen gyártási technológiának is köszönhető) esetén akkorák lehetnek, hogy akár önmagukban (a külső terhelés vagy a gyártási feszültségek nélkül) is okozhatnak tönkremenetelt, ami a tartóvégek felhasadását és elnyíródását eredményezi. E tekintetben az egyenes és íves tengelyű tartók között nincs különbség.
- Ugyanolyan külső geometria mellett vékonyabb lamellák esetén a klímaváltozásból származó feszültségek kisebbek lesznek. A rostokkal párhuzamos normálfeszültségek változása a tartó nagy részét kitevő, belső tartományában nem jelentős, míg a rostokra merőleges normálfeszültségek és a nyírófeszültségek a tartóvégeken a háromszoros lamella-vastagsághoz tartozó feszültségekhez képest majdnem a felére csökkennek.
- Ha a lamellák nedvességtartalma a gyártás kezdetén véletlenszerűen változik, de sohasem nagyobb mértékben, mint  $\pm 1\%$ , akkor homogén és kombinált keresztmetszetenél a klimatikus feszültségek lefutása a magasság mentén hasonló. Nem nagyobb, mint  $\pm 1\%$ -os nedvességtartalom eltérés esetén a klimatikus feszültségek nagysága még nem elég a szerkezet tönkremeneteléhez, de a többi feszültségfajttával szuperponálódva a tönkremenetel valószínűsége jelentősen megnő.
- A hőmérsékletváltozás anomáliái a rétegelt-ragasztott tartókban legalább egy nagyságrenddel kisebb klimatikus feszültségeket okoznak, mint a nedvességtartalom-változások (a gyakorlatban megfigyelt klímaváltozások mellett).
- Az élettartam folyamán egy 12%-os, aszimmetrikus nedvesedés hatására a rétegelt-ragasztott fatartóban ébredő klimatikus feszültségek önmagukban is tönkretelhetik a szerkezetet.

Számításokkal igazoltuk, hogy két ugyanolyan rétegelt-ragasztott fatartó (ugyanolyan külső geometria és terhelés) közül – az összes feszültséget összegezve és figyelembe véve – a vékony lamellákból állóban jóval kisebb feszültségek keletkeznek, mint a vastag lamellákból állóban.

A vékonyabb lamellákból álló tartók gyártása drágább ugyan (hiszen nagyobb a hulladékképződés, több ragasztóanyagra van szükség, érzékenyebb a gyártás-technológiai előírásokra), a tönkremenetellel szembeni nagyobb biztonság mégis indokolja alkalmazásukat, különösen a bizonytalanabb külső terheléssel és klímaki-tettséggel jellemezhető szerkezetekben.

### Összefoglalás

Megállapítható, hogy a rétegelt-ragasztott fa tartószerkezetek tönkremeneteleinek és meghibásodásainak problémái sok okra vezethetők vissza, mint azt a felmérési eredményekből is láthattuk előző cikkünkben. Hogy ezen okokat megértsük és kiküszöbölhessük, számításokat végeztünk, különféle esetek modellezésével. Ezek eredményei jó összefüggést mutatnak a felmérési eredményekkel. Így valamivel érthetőbbé vált, hogy a tervezés oldaláról milyen problémákat jelent egy nem megfelelően méretezett szerkezet. Nem csak a külső terhelésekre kell méretezni a rétegelt-ragasztott faszerkezeteket, mint azt a mai gyakorlat teszi.

A következő cikk, ugyanezen rétegelt-ragasztott fa tartószerkezetek tönkremeneteleinek és meghibásodásainak az okait vizsgálja, mechanikai mérések, vizsgálatok bemutatásával. Ezek után a gyakorlat számára is hasznos javaslatok kerülnek bemutatásra, mind a tervezésre, gyártásra és üzemeltetésre vonatkozóan.

### Köszönetnyilvánítás

A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

**Irodalomjegyzék**

- Bartal és Rabb Kft. (2010) KUTATÁSI JELENTÉS A BAROSS RRTARTO1 OMFB-00398/2010 számú pályázathoz, 118.
- Szalai J. (2001) A faszerkezetek méretezését és gyártását befolyásoló sajátosságok; (Wittmann Gy. szerk.) Mérnöki faszerkezetek II., Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 143-258.
- Guyon Y. (1951) Contraintes dans les pièces prismatiques soumises á des forces appliqués sur le bases, au voisinage de ces bases, Internationale Vereinigung für Brückenbau und Hochbau Abhandlung, 11, pp 165-226.
- Roth W. (1975) Festigkeitsuntersuchungen an gekrümmten Brettschicht trägern unter statischer und dynamischer Belastung, Dissertation, Von der für Bauingenieur-und Vernessungswesen der Universität Karlsruhe (TH), 1-51.
- Vanya Cs. (2014) Javaslatok rétegelt-ragasztott fatartók tervezéséhez, gyártásához és üzemeltetéséhez, felmérési és modellezési eredmények alapján. I. rész: Irodalmi áttekintés és a rétegelt-ragasztott fatartók tönkremeneteleinek felmérési eredményei, FAIPAR 62. évf. (2014), DOI: 10.14602/WoodScience-HUN\_2014\_3
-



# Nemesnyárból készült LVL mechanikai tulajdonságainak javítása lombos fafajokból készült furnérrétegekkel

## I. rész: Roncsolásmentes vizsgálat és a tulajdonságok modellezése

VILPPONEN Edit<sup>1</sup>, KOMÁN Szabolcs<sup>2</sup>, BEJÓ László<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Aalto Egyetem

<sup>2</sup>NymE Faanyagtudományi Intézet

<sup>3</sup>NymE 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 furnérretek keresztirányú elhelyezése (Finnforest 2007)
- a furnérretek 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/m<sup>2</sup> (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 furnérretek, valamint az elkészült lemezek roncsolásmentes vizsgálatára is sor került. A furnérreteken 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 <sup>1</sup> (%)
	névleges	tényleges <sup>1</sup>	
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 %

<sup>1</sup> 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.

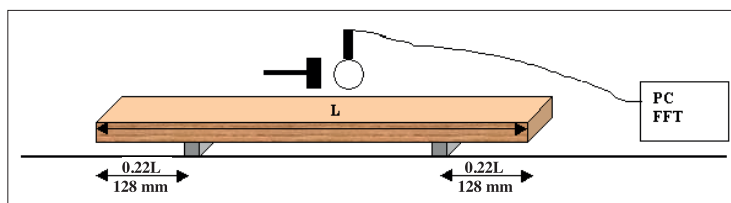
- A nyár furnérok vastagságcsökkenéséből számítható a furnérok sűrűsénövekedése ( $\Delta\rho$ ), ami a rugalmassági modulusát is növeli. E növekedés ( $\Delta E$ ) becsléséhez Bejó és tsai (2001) rezgő nyárra érvényes (kísérletileg meghatározott) modelljét használtuk:

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

- 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.

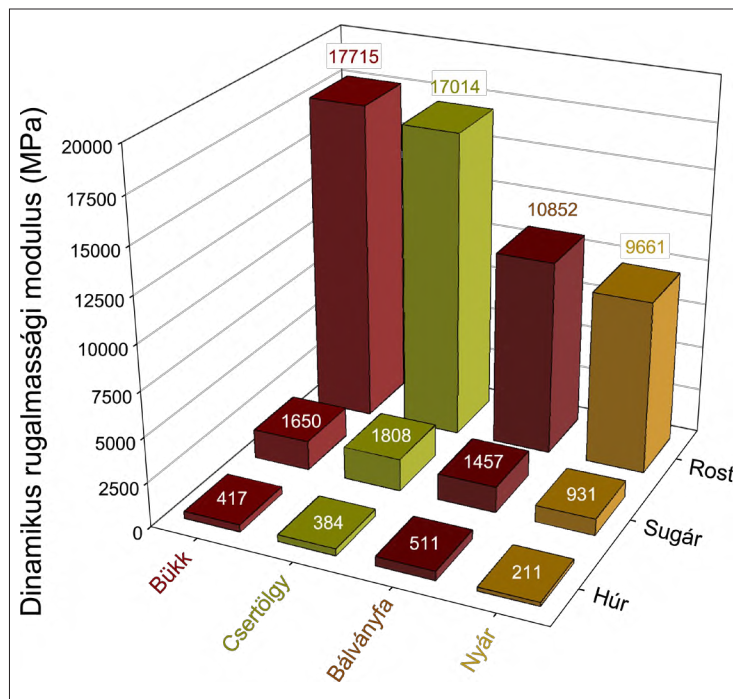
### Eredmények és értékelés

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 többtől, 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 ( $E_{átl}$ ) 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.

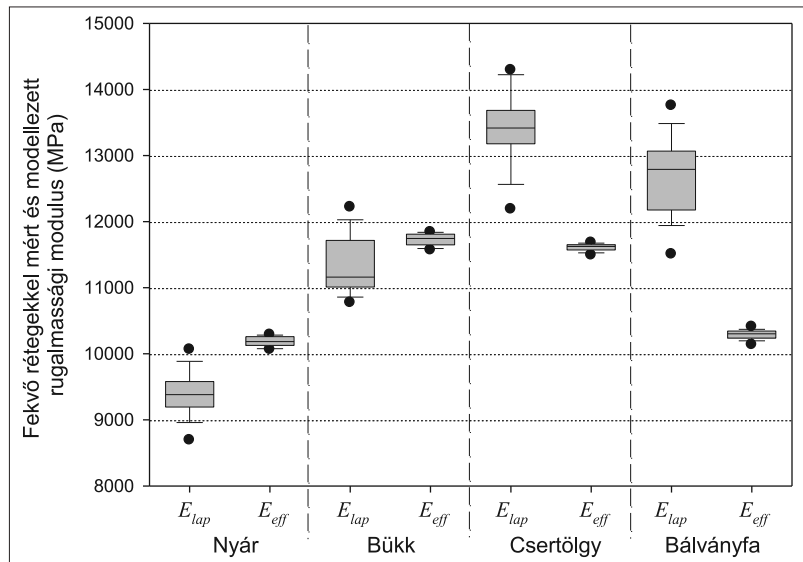
A fent említett inkonzisztenciák oka egyelőre ismeretlen. Ugyanakkor egyértelműen látható, hogy a modell által számított eredmények – a dinamikus rugal-

**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)

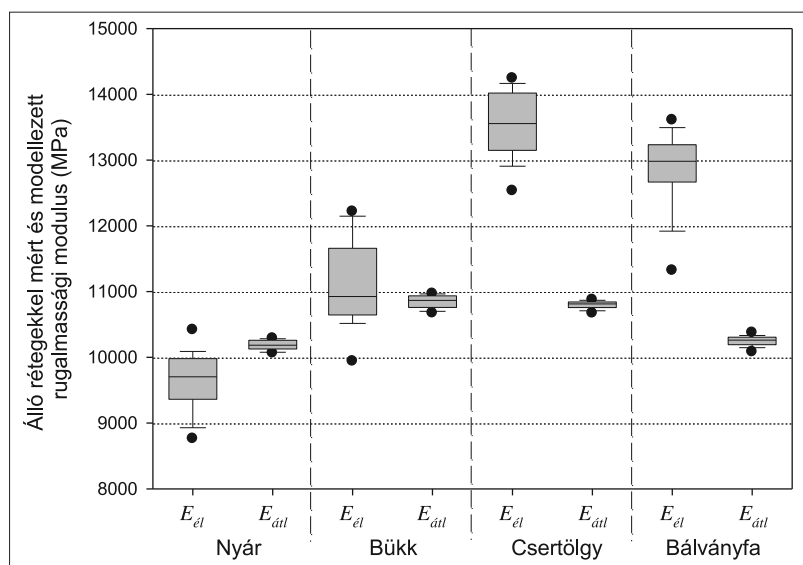
	Forrás	DF	SS	MS	F	$F_{krit}$ ( $\alpha = 0,05$ )
$E_{lap}$	Fafaj	3	338,94	112,98	41,69	6,59
	Lemez	4	10,85	2,71	14,42	2,43
	Mérések	141	26,50	0,19		
	<b>Összesen</b>	<b>148</b>	<b>375,59</b>	<b>2,54</b>		
$E_{el}$	Fafaj	3	364,16	121,39	64,01	6,59
	Lemez	4	7,59	1,90	19,22	2,43
	Mérések	141	14,70	0,10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

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 brosúra. <[http://www.specifinder.com/brochures/2372\\_pdf101.pdf](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

# Természetes anyagok szigetelőképesége

RÉBÉK-NAGY Péter<sup>1</sup>, PÁSZTORY Zoltán<sup>1</sup>

<sup>1</sup>NymE SKK Innovációs Központ

## Kivonat

Az energia minél célszerűbb felhasználása a mai kutatómunkák egyik fő témája. Ennek fontos összetevője az épületek energiafogyasztásának csökkentése. Így egyre nagyobb figyelmet fordítunk az épületeink hőszigetelő anyagának megfelelő megválasztására. Nem csak az anyagok hőszigetelőként nyújtott teljesítménye a fontos, hanem a környezetbarát mivoltuk is. Természetes, növényi és állati eredetű anyagok szigetelőképességét vizsgáltuk és hasonlítottuk össze különböző tömörítettség mellett. Az eredmények alapján a madártoll és a gyapjú mutatták a legjobb szigetelőképeséget szemben más anyagokkal, mint pamutfonal, eröműből származó fahamu, haj, állati szőrme, faforgács, valamint óriás mamutfenyő tűlevél.

**Kulcsszavak:** gyapjú, madártoll, hőszigetelés, hővezetési tényező, eröművi fahamu, faforgács

## Thermal performance of natural materials

### Abstract

The most effective use of energy is a popular research topic nowadays. The energy consumption of buildings is an important component of this. Thus, more and more attention is paid to choosing the proper thermal insulation of our buildings. Not only the thermal performance of the materials is important, but their environmental friendly nature, too. For this reason, thermal conductivity of several natural materials including wool, cotton yarn, feather, wood ash from a power station, hair, fur, wood chips and Sequoia pine needles was investigated at different levels of compaction. Feather and wool showed the best thermal performance among the materials investigated.

**Keywords:** wool, feather, thermal insulation, thermal conductivity, ash, wood chips

## Bevezetés

*A kutatómunka célja*

Az épületek egyik fő feladata mindig is az időjárási viszonyok elleni védelem volt. Az egyik ilyen időjárási tényező a hőmérséklet változása. Korábbi évszázadokban a falak vastagságával szabályozták a ház falainak szigetelőképességét, szemben a mai speciális szigetelőrétegek alkalmazásával (Albert 1962). A falszerkezetek extra rétegeként alkalmazott hőszigeteléseket eleinte természetes anyagokból készítették, majd a habosított műanyag és az olvasztott és szálalított üveg és ásvány alapú szigetelések váltak uralkodóvá. Azonban az épületek szigetelési paramétereire egyre szigorodó épületenergetikai előírások vonatkoznak (Zach és tsai. 2012, Pásztory 2007). Az ilyen irányú szigorítások az épület üzemeltetése során felhasznált tüzelőanyag mennyiségét redukálják, nem foglalokoznak a beépített energia (embodied energy) mennyiségével. A beépített energia mennyisége az az energia, amelyet az adott termék előállításánál használtak fel. A környezettudatos gondolkodás ezt az energiamennyiséget is figyelembe kívánja venni és lehetőség szerint alacsony szinten tartani, annak érdekében, hogy az épületek létrehozása se terhelje nagyobb mértékben a környezetet, mint amennyire feltétlenül szükséges (Bejó és tsai. 2013).

A szabályozások folyamatos változásából eredő megnövekedett szigetelési igényeket általában olcsóbb ki-elégíteni a manapság általánosan használt, szintetikus szigetelőanyagokkal, melyek beépített energiataralma jelentősen magasabb, mint a természetes alapanyagú szigetelőanyagoké. Ezen anyagok előállítása környezeti szempontból nagyobb terhelést jelent.



A folyamatosan lakott lakások száma a népességünk csökkenése ellenére is növekszik a háztartások elaprózódásának következtében (Elek 2009). Egyre kevésbé jellemző a több generáció együttélése. Ez a tény a hőtechnikai előírások szigorodásával együtt a hőszigetelések mennyiségi felhasználásának növekedéséhez vezet. Ez azt is jelenti, hogy a szigetelőanyagok előállítására fordított energiafogyasztás is folyamatosan emelkedni fog. Az épületek üzemeltetése a világ összes energiafogyasztásának 45%-át teszi ki (Zöld 1999), amelynek egyik fő összetevője a fűtésre fordított energiamennyiség. A nagymértékű fűtési energiafogyasztás csökkenthető lenne a szigetelőanyagok vastagságának, jellegének helyes megválasztásával és precíz installálásukkal, a beépített energia pedig csökkenthető a környezetbarát anyagok felhasználásával. Mindezek tudatában törekednünk kell olyan hőszigetelő anyagok alkalmazására, melyek természetes eredetűek, előállításuk gazdaságos, kímélik a környezetet és mindezek mellett anyaguk időtálló.

Jelen kutatómunka célja különböző természetes eredetű anyagok hővezetési tényezőinek meghatározása. A vizsgálatba bevont anyagok a következők: gyapjú, pamutfonal, madártoll, fahamu, haj, állati szőrme, marógép faforgácsa, valamint óriás mamutfenyő tűlevel. A kapott eredményeket kiértékelve meg kívánjuk határozni, hogy a vizsgált anyagok közül a hővezetési tényező szempontjából melyik javasolható potenciálisan hőszigetelő anyagként.

### Tudományos előzmények

E témában más kutatók is végeztek már vizsgálatokat (Bozsaky 2011, Ronyecz és tsai. 2012). Panyakaew és Fotios (2008) a mezőgazdasági hulladékok hőszigetelő anyagként történő felhasználási lehetőségeit vizsgálták. A vizsgált anyagok közül a rizshéjat (0,046–0,057 W/mK), a kipréselt cukornádat (0,046–0,051 W/mK) és a kókuszrostot (0,054–0,143 W/mK) találták a legalkalmasabbnak hőszigetelés gyártására. Mások természetes kaucsuk kötőanyaggal előállított táblásított terméket (vastagság 1,5 cm) vizsgáltak különböző kötőanyag-arányok mellett. Az ananászlevél-tábla 0,043–0,035 W/mK hővezetési tényező értékkel ( $\lambda$ ) rendelkezett. A papirusz növényből készült tábla pedig 0,029 W/mK értéket ért el (Tangjuank és Kumfu 2011). Vėjelienė és társai (2011) a gyékény, az *Agrostis* fűféle, a nád és az árpa mikro- és makroszerkezetének vizsgálatával igyekeztek magyarázatot adni a hőtani tulajdonságaikra. A gyékénnyel 0,06 W/mK érték alá tudtak menni. Volt olyan kutató is, aki poliészter gyantával külön-külön fehér tollból, fekete tollból, jutából és tojásból készített kompozit tömörítvényeket. A juta tömörítvény érte el a legjobb  $\lambda$  értéket ~0,300 W/mK-t (Fadhel 2011). Egy kutatótársaság pedig az úgynevezett „Triple bottom line” analízissel vizsgálta a bambuszból és pamutból készült hőszigetelések költségvonzatát, környezeti hatását és a társadalomra gyakorolt hatását (Jafarian és tsai. 2011). Egy 2012-es tudományos munka eredményeként Pinto és társai (2012) az általuk előállított kukoricacsutka-tábla  $\lambda$  értéket 0,139 W/mK-nak mérték. Egy másik kutatás az olajpálma rostjának  $\lambda$  értékét 0,0555 W/mK-ben állapította meg 20 °C-on és 100 kg/m<sup>3</sup>-es sűrűség mellett (Manohar 2012). Egy hasonló témájú tanulmány a gyapjú  $\lambda$  értékét 0,036 W/mK-ben adja meg (Zach 2012). Rahul D. (2012) áttekintő munkájában pedig összehasonlítja a korszerű szigetelőanyagokat, melyek között számos természetes hőszigetelés  $\lambda$  értéke is szerepel. Egy 2013-as kutatómunkában egy speciális rétegrendű (2 cm vakolat, 4 cm óriásnád, 2 cm vakolat) falszerkezet hőtechnikai tulajdonságait mérték. A vizsgált szerkezet hőátbocsátási tényezője  $U=1,31$  W/m<sup>2</sup>K (Barreca és Fichera 2013). Úgyszintén ebben az évben a textilhulladék hőszigetelő anyagként történő felhasználásának potenciálját is vizsgálták, ahol a  $\lambda$  értékre 0,044 W/mK-t kaptak (Briga-Sá és tsai. 2013). A felsorolt tanulmányok egy része nem ad részletes útmutatást a vizsgált anyagok tömörítettségi állapotáról. Tapasztalataink alapján ez nem is egyszerű feladat, hiszen a tömörítettséget számos nehezen mérhető tényező is befolyásolja, így a méréseink során nem minden esetben tudtuk meghatározni a tömörítettség vagy sűrűség adatokat.

### Vizsgálati anyagok és mérési módszerek

A méréseket gyapjú, pamutfonal, madártoll, erőművi fahamu, haj, állati szőrme, faforgács – 60% lucfenyő (*Picea abies*) és 40% bükk (*Fagus sylvatica*) –, valamint óriás mamutfenyő (*Sequoiadendron giganteum*) tűlevel bevonásával végeztük el. Közülük a legtöbb – a madártollat is ideértve – szálas (rostos) anyag. A forgács anyaga porózus szerkezetű gyalugép forgács, az egyes forgács elemek dimenziója 10–15 mm hosszú, 5–15 mm széles és 0,5–1 mm vastag. A forgács elemek dimenziója nyilvánvalóan befolyásolja a forgács levegő részarányt, az összennyomhatóságot és az elemek érintkezési felületeit. A hamu (Pannon Power Zrt. faapríték-tüzelésű erőművi blokkjának hamuja) finom por jellegű, vagyis nagy testsűrűségű tömör anyagként jelenik meg.

A szigetelő hatást az anyag által közbezárt levegő mennyisége és a légzárványok mérete jelentősen befolyásolja. A vizsgálatok során törekedtünk arra, hogy a levegő arányt az anyag összenyomásával változtassuk és így határozzuk meg a szigetelésre gyakorolt hatást.

A mérések során stacioner állapotban vizsgáltuk az anyagokat. Állandósult állapotról beszélünk, ha a hőmérsékletmező nem függ az időtől, tehát időben állandó (Mihajev 1966). Hőmérsékletmező alatt pedig egy adott pillanatban a tér pontjai és pontjainak hőmérsékletei közti összefüggést értjük. Más szavakkal: a vizsgált test- vagy térrész pontjaiban uralkodó hőmérsékletek összessége és megoszlása a hőmérsékletmező. Ideális esetben a hőáramnak a mérési felületre merőlegesnek kell lennie. Ez az egydimenziós hőáram csak tökéletesen párhuzamos és végtelen kiterjedésű felületek között jöhet létre (1. ábra).

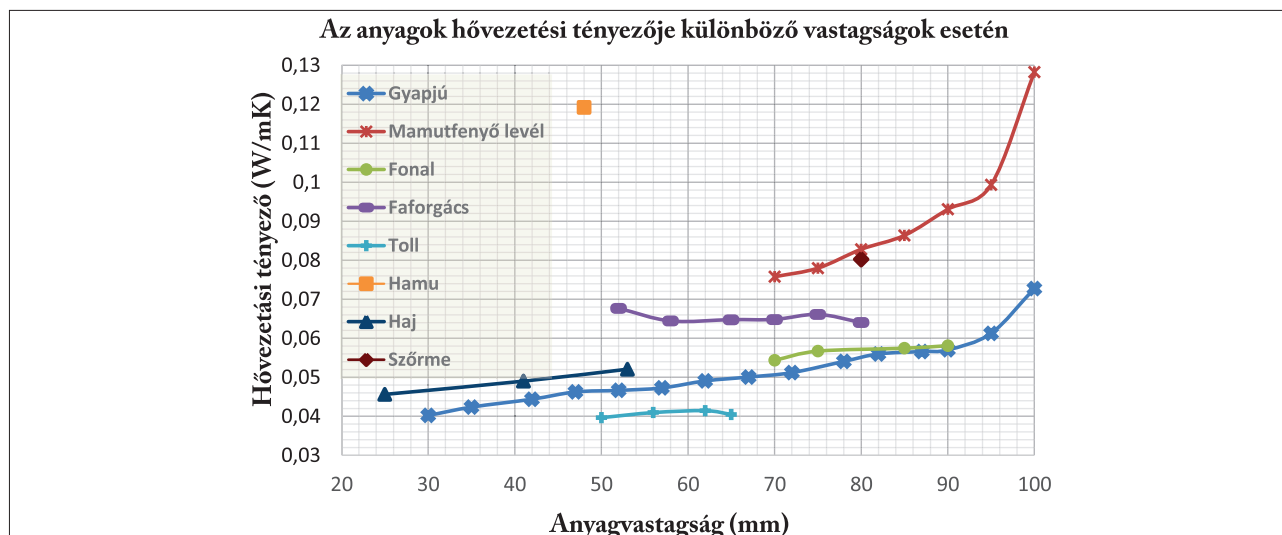
A valóságban ezt úgy tudjuk megközelítőleg kivitelezni, ha a próbadarab vastagsága a szélességi méreteihez képest jóval kisebb, továbbá a mérést 200 mm oldalsó hőszigetelő réteggel körülvett tartályban végezzük (1. ábra). A mérőműszer felső részén elhelyezett fűtőlaptól indul meg a hőáramlás az alsó fűtetlen szobahőmérsékletű lap felé. A fűtőlap hőmérsékletét minden esetben 40 °C-ra, állítottuk a hideg oldal pedig a környezeti hőmérséklet (~22 °C) volt. A hőmérsékleteket mind az alsó fűtetlen, mind a felső fűtött lapon két-két termoelemmel mértük, a hőáramot a meleg oldalon egy 120 x 120 mm felületű hőáram mérővel. Minden érzékelő a próbatest vízszintes felületeinek geometriai középpontjánál helyezkedett el. A próbatest keresztmetszeti mérete 500 x 500 mm, vastagsága pedig 25–100 mm közötti. A méretekből látható, hogy a próbatest mérete többszöröse a mérési felületnek, így az oldalirányú hőáramok a középső mérési sávban gyakorlatilag nullának tekinthetők. Amelyik anyag összenyomható volt, azt többszöri mérésnek vetettük alá különböző vastagsági méret beállításával. Vagyis ugyanazt a mennyiségű anyagot mértük meg különböző vastagság esetén. A rendelkezésre álló anyagmennyiségtől és anyagstruktúrától függően induló értéknek 100 mm-t választottunk és ezt csökkentettük 5 mm-rel minden egyes mérésnél, lehetőség szerint addig, amíg az összenyomást a mérőkészülékben meg tudtuk valósítani. Több anyag esetén nem volt lehetőség a 100 mm-es induló érték beállítására, így ezeknél kisebb vastagságról indult a mérés. A fahamu és a szörme esetén az összenyomást nem tudtuk biztosítani, így csak egy vastagság mellett végeztünk mérést. A mérés a stacioner állapot beálltát követően kezdődött meg, az adatlekérés percenként egyszer automatikusan történt. Az eredmények kiértékelése során az utolsó 100 mérés átlagát határoztuk meg.

### Mérési eredmények és értékelésük

Az egyes vizsgált anyagok hővezető képessége a tömörítés függvényében a 2. ábrán látható. Az anyagok tömörítése során sok esetben a szigetelési értékek javultak. Nem minden esetben értük el azt a váltópontot, mely után a további tömörítés már a  $\lambda$  értékének a növekedését eredményezné. A szigetelőanyag összenyomásával a levegő mennyisége csökken a rendszerben, ezáltal a levegő szabad áramlása is korlátozódik, csökkentve a konvekciós hőáramot, amely a nyugvó levegő alacsony hővezetési képességének a jobb kihasználtságát eredményezi. Tehát a rendszer egészére vonatkozó szigetelőképeség javul. Azonban egy bizonyos mértékű tömörödést meghaladva a levegő olyan mértékben kiszorul az anyagból, hogy a tömör szigetelőanyag hővezetése veszi át a domináns szerepet, így a rendszer szigetelőképesége újra romlani kezd. Más szavakkal: ettől a ponttól kezdve minél jobban tömörítenénk az anyagot, annál kedvezőtlenebb (nagyobb) hővezetési tényezőt kapnánk (Rébék-Nagy 2013). A nagyobb fokú tömörítés nagyobb erőhatással jár, amit a mérőberendezés szerkezete csak korlátozott mértékben tudott felvenni, így nem minden esetben tudtuk a szigetelési érték további növekedését kimutatni. A mérőtérbe kerülő anyagmennyiségeket nem súlyban, hanem térfogatban határoztuk meg úgy, hogy az adott anyag szabadon töltsse ki az induló teret. Ez az érték természetesen változó volt a különböző anyagok esetén (2. ábra).



**1. ábra** Gyapjú a mérőtérben  
**Figure 1** Wool in the measuring box



**2. ábra** A vizsgálati anyagok  $\lambda$  értéke különböző vastagságok esetén

**Figure 2**  $\lambda$  value of the materials at different thicknesses

A gyapjú görbét vizsgálva látható, hogy a meredeksége egyre csökken és így várhatóan további tömörítéssel elértük volna a függvény minimumát, tehát feltételezhetően  $0,04 \text{ W/mK}$  alá tudtunk volna menni, amit az irodalmi értékek is alátámasztanak (Zach 2012).

A mamutfenyő levelének vizsgálatakor a hővezetési tényező görbéje egyre csökkenő meredekséggel tartott a minimum ponthoz tartozó tömörség felé. Ezt a pontot sajnos a mérések során nem sikerült elérnünk, de vélhetően kismértékű további tömörítés hatására már észleltük volna, azaz  $0,075 \text{ W/mK}$ -nél nem tudnánk sokkal kedvezőbb eredményt elérni a mamutfenyő levél esetében.

A pamutfonal esetében a görbe változó meredekségű. Egy köztes tömörítettségi állapotban,  $75 \text{ mm}$  és  $85 \text{ mm}$  között láthatjuk a legkisebb hajlásszögű szakaszát. Ezen jelenség magyarázata az, hogy a fonalgombolyagok hengeres üregeinek tengelye párhuzamos volt a hő terjedési irányával. A mérés elején ( $90 \text{ mm}$ -nél) ezek az üregek még teljesen nyitottak voltak, majd ahogy egyre jobban összenyomtuk a fonalakot, úgy záródtak össze. Mikor végül a tömörítés hatására ezek az üregek eltűntek és a fonalak összeértek, csökkent a konvekció létrejöttének lehetősége, és egyre jobb  $\lambda$  értéket kaptunk. A görbe meredeksége azt sejteti, hogy további tömörítéssel kedvezőbb eredményt érhetünk volna el.

A faforgács görbén egyértelműen látszik, hogy az összenyomás mértékéhez képest kis hővezetési változások történtek, melyek arra engednek következtetni, hogy a forgácssűrűség ebben a tartományban csak nagyon minimális mértékben befolyásolja a hővezetést. Sajnálatos módon a mérőberendezés nem tett lehetővé nagyobb mértékű összenyomást.

A madártoll görbén a forgácshoz hasonló jelleg mutatkozik meg. Szemben a többi anyaggal, ahol az összenyomás hatására a hővezetési értékek csökkennek, itt először enyhe növekedés, majd enyhe csökkenés következik be. A mérés során fellépő bizonytalanságokat sem zárhatjuk ki teljes egészében, habár a végeredmény  $100$  mérési eredmény átlagolásával történt, ami a mérési hibát meglehetősen minimalizálja.

Az erőművi hamu esetében szóba sem jöhetett tömörítés, hiszen finom por jellegű volt az anyag, a berendezés pedig nem alkalmas jelentősebb erőhatások felvételére a tömörítés során. Így nem meglepő módon meglehetősen kedvezőtlen hővezetési tényezőt kaptunk.

A haj esetében a  $\lambda$  változását bemutató görbe csaknem egyenes. Feltételezhetően további tömörítés jelentősebb javulást eredményezne a hővezetési tényező értékében. A téli időszakban a tömörebb haj jobb fajlagos szigetelést biztosít a fej számára, de a hővezetési ellenállást tekintve a lazább hajszerkezet nagyobb hővédelmet biztosít.

A szőrme esetében a kedvezőtlen eredmény magyarázata valószínűleg abban rejlik, hogy a bundák szabálytalansága miatt nem tudtuk tökéletesen összeilleszteni a rétegeket, a kialakuló légréseknél pedig nagyfokú cirkuláció alakulhatott ki. Hozzáteesszük, hogy nyári bundáról volt szó, amely minimális alapszőrzzel és pehelyszőrzzel rendelkezett.

**1. táblázat** A vizsgálati anyagok által elért legjobb hőszigetelési értékek és az ehhez tartozó vastagságok

**Table 1** Thicknesses providing the best insulation values of the investigated materials

	Gyapjú	Mamut-fenyő tű	Fonal	Toll	Hamu	Haj	Szörme	Faforgács
Vastagság (mm)	30	70	70	50	48	25	80	80
$\lambda$ (W/mK)	0,040	0,076	0,054	0,040	0,119	0,046	0,080	0,064

A fenti anyagokat a hőszigetelő-képességük alapján három plusz egy kategóriába sorolhatjuk. A manapság általánosan használt hőszigetelések  $\lambda$  értéke 0,04 W/mK körül mozog (Rahul 2012), de többségében alatta marad. Ezért hőszigetelőként jól használható anyagnak azt tekintjük, amely a méréseink alapján ezen érték alatt van, vagy további tömörítéssel feltételezhetően elérné ezt a kedvező tartományt. Ide soroljuk a gyapjút és a madártollat. A hőszigeteléseként közepesen használható kategóriába azok az anyagok estek, melyek  $\lambda$  értéke 0,04–0,07 W/mK között található. Ide tartozik a fonal, és a faforgács. Hőszigeteléseként gyengén használható a mamutfenyő levél és a bunda, melyek  $\lambda$  értéke 0,07–0,08 W/mK közé esik. Az ennél rosszabb eredményt elérő hamut alkalmatlannak ítéltük meg hőszigetelő anyagként való felhasználásra (1. táblázat).

### Következtetések

- Megállapítható, hogy a madártoll az elért hővezetési tényező ( $\lambda = 0,0396$  W/mK) alapján egyértelműen ajánlható hőszigetelési célokra. A baromfiiparban nagy mennyiségű toll keletkezik melléktermékként, és – mivel a toll főként keratinból épül fel –, ezért nehezen bomlik le, tehát viszonylag tartós.
- A gyapjú hőszigetelő anyagként való használata már gyakorlatban van. Az alkalmasságát a mi méréseink is alátámasztották. Az iparban a lenyírt gyapjút 30–70%-át tudják csak ruhaipari célokra felhasználni. A maradék 25–70% (juhajtva függvénye) a szennyezett gyapjút, ami hőszigetelés gyártásra alkalmas lenne. Tartóssága is kielégítő (Radnóti 1967, Zilahi 1953).
- A faforgács hőszigetelő anyagként való használata kísérleti szinten zajlik. Németországban egy szabadalmaztatott technológiát is alkalmaznak a forgácsszigetelések gyártására. A mi méréseink alapján meglehetősen elmarad a manapság alkalmazott hagyományos hőszigetelő anyagok hőtechnikai tulajdonságaitól, habár a rost alapú szigetelő táblák értékei is 0,5–0,7 W/mK környékén vannak.

A természetes alapanyagú anyagok között találhatóak kifejezetten jó szigetelőképeséggel bíróak, ezek főként állati eredetűek, mint a gyapjú és a madártoll. Gyakorlati szempontból e kettő mellett alkalmas lehet a faforgács, mely kellő mennyiségben koncentráltan keletkezik és további kezelésekkel szigetelőanyaggá dolgozható fel. A fenyőtű, hamu és a szörme tulajdonságaik és begyűjthetőségük miatt csak nagyon alacsony valószínűséggel alkalmazhatóak szigetelőanyagként.

A haj esetében már előre valószínűsíthető volt, hogy szigetelőanyagként való alkalmazása nem jöhet szóba, csupán összehasonlítási céllal vettük be a vizsgálandó anyagok közé. A fonal természetes alapanyagú termékként és a textilipari hulladékok képviselőjeként került a vizsgálatba.

A természetes anyagok előállítása nem terheli a környezetet az előállítás/keletkezés során szén-dioxid kibocsátással, ezért ezek az anyagok a szigetelési képességükhöz képest nagyon kedvező beépített energia-tartalommal rendelkeznek. Jelentősebb alkalmazásuk esetén további specifikus vizsgálatok szükségesek.

### 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.

### Irodalomjegyzék

- Albert, J. (1962) A hőszigetelés kézikönyve. Műszaki könyvkiadó, Budapest
- Barreca F., Fichera C. R. (2013) Wall panels of *Arundo donax* L. for environmentally sustainable agriculture buildings: Thermal performance evaluation. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 11(2):1353-7.
- Bejő L., Szabó P., U. Nagy G., Kuzsner Á. (2013) Az energiátanúsításon túl: a környezetterhelés értékelése, különös tekintettel a fa alapú építés esetén. *Faipar* 61(4):26-30

- Bozsaky D. (2011) Természetes és mesterséges hőszigetelő anyagok összehasonlító vizsgálatai és elemzése, doktori (PhD) értekezés, Széchenyi István Egyetem, Győr
- Briga-Sa A., Nascimento D., Teixeira N., Pinto J., Caldeira F., Varum H., Paiva A. (2013) Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. *Construction and Building Materials* 38:155–160
- Elek L. (2009) A háztartások energiafogyasztása. Az Energia Központ Nonprofit Kft. elektronikus kiadványa – [http://www.mekh.hu/gcpdocs/201201/haztartasok\\_energiafogyasztasa.pdf](http://www.mekh.hu/gcpdocs/201201/haztartasok_energiafogyasztasa.pdf)
- Fadhel A. A. (2011) Theoretical and experimental investigation of natural composite materials as thermal insulation, *Al-Qadisiya Journal For Engineering Sciences* 4(2):26-36
- Jafarian M. H., Ying-udomrat T., Huang X. X., Hao Chen H. (2011) An Investigation into Rapidly Renewable Materials: Bamboo and Cotton, UBC Social Ecological Economic Development Studies (SEEDS) Student Report, University of British Columbia
- Manohar K. (2012) Renewable Building Thermal Insulation – Oil Palm Fibre. *International Journal of Engineering and Technology* 2(3):475-479
- Mihajev M. A. (1966) A hőátadás gyakorlati számításának alapjai. Tankönyvkiadó, Budapest
- Panyakaew S., Fotios S. (2008) Agricultural Waste Materials as Thermal Insulation for Dwellings in Thailand: Preliminary Results. 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th October:1-6
- Pásztory Z. (2007) Hőszigetelés fejlesztési lehetőségek könnyűszerkezetes faházak számára, doktori (PhD) értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron
- Pinto J., Cruz D., Paiva A., Pereira S., Tavares P., Fernandes L., Varum H. (2012) Characterization of corn cob as a possible raw building material. *Construction and Building Materials* 34:28–33
- Radnóti I. (1967) Szálasanyagok és fonalak kézikönyve, Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- Rahul D. A. (2012) State-Of-The-Art Insulation Materials: A Review, *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)* 2(6):97-102
- Rébék-N. P. (2013) Természetes anyagok hőszigetelő-képességének vizsgálata, Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Energiagazdálkodási Szakmérnök Szak, diplomamunka
- Ronyecz I., Mohácsi K., Pásztory Z. (2012) Néhány hazai fafaj kérgének hőszigetelő-képessége, *Faipar*, 60(1):16-21.
- Tangjuank S. (2011) Thermal insulation and physical properties of particleboards from pineapple leaves, *International Journal of Physical Sciences* 6(19):4528-4532
- Tangjuank S., Kumfu S. (2011) Particle board from Papyrus Fibres as Thermal Insulation, *Journal of Applied Sciences* 11(14):2640-2645
- Véjéliené J., Gailius A., Véjelis S., Vaitkus S., Balčiūnas G. (2011) Evaluation of structure influence on thermal conductivity of thermal insulating materials from renewable resources, *Materials Science* 17(2):208-212
- Zach J., Korjenic A., Petráněk V., Hroudová J., Bednar T. (2012) Performance evaluation and research of alternative thermal insulations based on sheep wool, *Energy and Buildings* 49:246–53
- Zilahi M. (1953) A textilipar nyersanyagai. Tankönyvkiadó, Budapest
- Zöld A. Energiatudatos építészet, Műszaki könyvkiadó, Budapest

## A mikro-, kis- és középvállalkozások aktuális finanszírozási kérdései \*

GYALLAI Gábor<sup>1</sup>

<sup>1</sup>NymE SKK Informatikai és Gazdasági Intézet

### Bevezetés

A kisvállalkozások hitelezésének bővítését nehezíti a továbbra is alacsony beruházási kedv, miközben a forgóeszköz-hitelek iránti igény megmaradt. A beruházási hitelek iránti alacsony kereslet oka, hogy a jelenlegi nehéz nemzetközi és hazai gazdasági környezetben viszonylag kevés vállalkozó mer beruházni, újra és újra pénzt fektetni tevékenysége bővítésébe. Az tapasztalható, hogy csupán a pályázati forrásokkal támogatott, így alacsonyabb önerővel és hiteligénnyel megvalósítható, kisebb kockázattal járó beruházásoknál van élénkülés.

Míg a mezőgazdasághoz kapcsolódó vállalkozások, a feldolgozóipari cégek, és az autóipari beszállítók termelése az utóbbi évek mélypontjához képest bővülni kezdett, a többi ágazatban a mai napig még kevésbé láthatóak a kilábalás jelei.

Ebben a vállalkozói szegmensben is problémát okoz, hogy az emelkedő üzemanyagárakat és energiaköltségeket nem mindig tudják érvényesíteni az árban a csökkenő vagy éppen szinten maradó fogyasztás miatt. A forgóeszköz-hitelek iránti keresletet viszont nem befolyásolja sem a kisvállalkozások tevékenységi köre, sem a területi elhelyezkedése. A kereslet összefügg a fizetési határidők hosszabbodásával, valamint a fizetési határidők tartásához is szükség van likviditást bővítő finanszírozási megoldásokra.

A minimálbér-emelés a létszámcsökkentés, illetve a részmunkaidős foglalkoztatás felé orientálja a vállalkozásokat. Terjed a határozott idejű, egy-egy projekt megvalósítására szóló munkaszerződés, a nem saját alkalmazottakkal történő teljesítés. A bérterhek növekedése a kényszervállalkozások számának gyarapodását vonja maga után, ez pedig hosszú alvállalkozói láncokat hoz létre. Mindezek láncartozások kialakulásához vezetnek.

A fizetési határidők hosszabbodása a szállítói sor végén álló vállalkozásoknál jelentősen emelheti a folyamatos likviditás fenntartásának árát, amely egy kritikus helyzetben lévő cégnél akár végzetes is lehet. Emellett lehetnek olyan cégek, akik a vevői fizetési határidő növekedését nem képesek továbbhárítani, számukra szintén fokozottan kedvezőtlenek ezek a tendenciák. A fizetési határidők gyors emelkedése játszódott le a válság kitörésekor is, amit aztán egy konszolidáció követett. A költségmegtakarítások, belső tartalékok mozgósítása, a gyengébb vállalkozások eltűnése a piacról együttesen képes volt a fizetési határidőket szinten tartani, egyes esetekben javítani.

A kkv szektort terhelő közterhek, a gazdaságpolitika és a versenyhelyzet változásának megítélése is visszaesett, amely megkérdőjelezi az újonnan bevezetni kívánt, kisvállalati adózást segítő adófajták eredményességét. A növekvő közterhek negatív hatásai a vállalkozások éves beszámolóiból jól kiolvashatóak.

### Melyek a leggyakrabban használt finanszírozási eszközök?

#### Banki hitel

A leggyakrabban használt idegen forrásbevonási mód a szegmensben a banki hitelfelvétel. Érdemes először áttekinteni, létezik-e valamilyen kedvezményes termék az adott cél finanszírozására. Fontos a saját igények, elvárások pontos megfogalmazása: összeg, futamidő, vállalható terhek (kamat, költségek, egyéb díjak).

A legtöbb vállalkozói hitel kamata valamilyen referenciakamatból (forintban pl. a jegybanki alapkamat, vagy BUBOR – Budapesti Bankközi Kamatláb) és kamatfelárból tevődik össze. Megjelentek azonban az utóbbi időben a lakossági termékekhez nagyon hasonlító fix kamatozású vagy állandó törlesztő részletű változatok is, elsősorban mikrocégeknek. Jelenleg már nincs olyan nagy, országos hálózattal rendelkező hitel-

\* Szerkesztői megjegyzés a szerző kérésére: A kézirat 2013. decemberében került lezárásra. A cikkben megjelenő információkat, adatokat ennek megfelelően kell értelmezni.

intézet, amely ne csatlakozott volna a Széchenyi Kártya Programhoz, vagy ne nyújtaná az MFB hiteleit. Sorra kötik a refinanszírozási megállapodásokat a hitelintézetek az Eximbankkal is, ami révén középtávú, versenyképes árazású, fix kamatozású export-előfinanszírozási hitelhez juthatnak a vállalkozások. Elindult a Magyar Nemzeti Bank Növekedési Hitel Programja, amelynek keretében alacsony kamat mellett juthatnak a kkv-k hitelhez.

Fontos szempont a megfelelő futamidő kiválasztása. A cég likviditásának fenntartásához egy folyószámlahitel is elegendő lehet. Rövidebb futamidőre (például, ha a készletek zavartalan feltöltését szolgáló tőkére van szükség) igényelhető forgóeszközhitel, amely jellemzően egy évnél nem hosszabb konstrukció, de minden banknál van folyószámla- és rulírozóhitel (tehát a lejáraton belül többször is igénybe vehető) változat. A nagyobb összegű, hosszabb idő alatt megtérülő befektetésekre pedig beruházási hitel igényelhető, amelynek futamideje a fejlesztés időhorizontjától függ. A forrás futamideje és az elérhető megtérülés közötti összhangot maximálisan biztosítani kell: az agresszív finanszírozási stratégia – éven belüli hitelből beruházást finanszírozni – roppant veszélyes, a vállalkozás bedőléséhez vezethet.

Kérdés lehet a hitel devizaneme is. Ezt azonban csak és kizárólagosan akkor szabad mérlegelni, ha a vállalkozásnak van devizában bevétele, és olyan devizában szabad csak eladósodni, amelyben a bevételek is keletkeznek.

Először érdemes a saját számlavezető banknál tájékozódni, mert – bár ma már több pénzügyintézet úgy nyilatkozik, hogy a hitelnyújtásnak nem feltétele a számlavezetési múlt – az a tény, hogy ha ismert a vállalkozás előélete, az adott esetben olcsóbb finanszírozást eredményezhet és gyorsíthatja a hitelbírálatot is. Egy ajánlat azonban nem elégséges ahhoz, hogy a vállalkozás megfelelően tudja kiválasztani a neki legjobb finanszírozást. A kereskedelmi bankok kínálata nagyon sokrétű, célszerű több bankot is megkeresni, mivel nagy eltérések lehetnek az egyes módok között. Az összehasonlítás alapja pedig a hitel teljes költsége kell, hogy legyen, nem elég csak a kamatokat összehasonlítani, az induló díjakkal, fedezetértékelési költségekkel stb. is számolni kell ahhoz, hogy a vállalkozás a számára legkedvezőbb finanszírozási módot, konstrukciót tudja kiválasztani.

A kockázati besorolás is befolyásolja a bankok árazását. Az adózott eredmény, az éves árbevétel mellett figyelembe vesznek egyéb tényezőket is, kezdve a vállalatcsoporthoz tartozástól a tevékenység jellegén át a cég múltjáig. Fontos, hogy a vállalkozás a hitel futamideje alatt folyamatosan törekedjen a zavartalan teljesítésre. Ha fizetési problémája lenne, inkább előre egyeztessen a bankkal, különben utólag kell viselnie a nemfizetés következményeit. Célszerű a bankkal olyan üzleti kapcsolatot kialakítani a vállalkozásnak, mint a vevőkkel, szállítókkal, hisz ugyanolyan partnere, mint bármely cég, amellyel működése során kapcsolatba került. Bár a kamatkondíciók egyre kedvezőbbek, az árakon túli egyéb feltételek továbbra is szigorúak. A hitelkínálati korlátokat egyelőre csak a jegybanki és állami intézkedések lazítják, így a hitelképes ügyfelek köre szűk maradt.

A mikro-, kis- és középvállalati szegmens a bankok számára méretgazdaságossági okok miatt komoly fajlagos költségeket jelent, miközben az egyik legkockázatosabb terület. Ezzel összefüggésben a hitelbírálatot igen szigorú, az adminisztrációs terhek magasak. Ráadásul korábban a kamatok is olyan magasságokban jártak, amely csak a kivételesen jó jövedelemtermelő képességű ágazatok számára jelentett megfelelő alternatívát. A helyzetben az egyre szélesebb körben elérhető kedvezményes kamatozású források hozhatnak megoldást.

Az alacsonyabb árazás persze nem azt jelenti, hogy bárki hitelezhető. A válság hatására a bankok sokkal kockázatkerülőbbé váltak: a saját-igény emelkedett, a vállalkozás tulajdonosainak készfizető kezességvállalása is egyre gyakoribb elvárás.

A bank a hitel folyósítása előtt kihelyezésének biztos megtérüléséről akar meggyőződni, a kihelyezés megtérülése kockázatának mérséklése miatt pedig valamilyen fedezetet kér. Előbbihez vizsgálja a kérelmező hitelképességét, üzleti tervének realitását, a fennálló tartozásokat. A hitel kondícióit javíthatja, esetlegesen a fedezettel kapcsolatos hiányokat pótolhatja, ha valamilyen szervezet – például a Garantiqa HG, az Agrár Vállalkozói Hitelgarancia Alapítvány, az Új Széchenyi Hitelgarancia – a meglévő biztosítéki kör mellett, garanciát vállal a kölcsön visszafizetésére. Ennek azonban díja van, s fontos számolni azzal, hogy nemfizetés esetén a garanciaszervezet a bankkal rendezi a tartozást (annak egy meghatározott részét), ez azonban nem jelenti azt, hogy ezt az összeget nem próbálja majd behajtani a nemfizető vállalkozástól.

### **Hitelbiztosítéki és zálogjogi változások**

A 2014. március 15-én hatályba lépő új Ptk. alapjaiban változtatja meg a finanszírozások korábban alkalmazott biztosítéki rendszerét. A hitelbiztosítéki rendszer átalakításán túl a hitelezést érintő fontos változás

még az új hitelbiztosítéki nyilvántartás megteremtése, illetve a zálogjogosulti bizományos és az „önálló” elidegenítési tilalom bevezetése is.

A *hitelbiztosítéki nyilvántartás* az ingó jelzálogjog mellett tartalmazza a követelésen alapított zálogjogot, valamint az ingó tekintetében kikötött tulajdonjog-fenntartást, a pénzügyi lízinget és a faktoringot. Ez a nyilvántartás váltja fel a jelenleg közjegyzők által vezetett közhiteles zálogjogi nyilvántartást. Az ingatlanon alapított jelzálogot továbbra is az ingatlan-nyilvántartásba kell majd bejegyeztetni, azonban a nyilvántartásba nem vett ingó dolgokon, jogon és követelésen alapított zálogjog az új, hitelbiztosítéki nyilvántartásba kerül.

A zálogjogot érintő változásokkal megszűnik a keretbiztosítéki jelzálog, a vagyont terhelő zálogjog és az önálló zálogjog is, és csak a kézzizálog és a jelzálog lesz szabályozva a jelenlegitől eltérő módon. A megszűnő jogintézmények azonban nem tűnnek el teljesen a gyakorlatból, mert az új zálogjogi szabályozás azokat részben pótolja, így például a vagyont terhelő zálogjog helyett a jövőben körülírással meghatározott zálogtárgyat terhelő zálogjog alapítható. Az internet alapú új zálogjogi nyilvántartás nyilvános és mindenki számára ingyenesen elérhető lesz. A zálogszerződésben részes felek hatósági közreműködés nélkül, maguk gondoskodhatnak a zálogjog nyilvántartásba vételéről, így a zálogjog alapítása egyszerűbbé és olcsóbbá válik.

Az új Ptk. megszünteti a föld és az épület tulajdonának kötelező egységét kimondó főszabályt, és a jövőben a tulajdonos a földdel és a rajta álló felépítménnyel egymástól függetlenül, szabadon rendelkezhet. Az épület tulajdonjoga továbbra is alapvetően a földtulajdonost illeti meg, aki a törvény hatályba lépésétől dönthet úgy, hogy a földet és a rajta álló, vagy tervezett épületet önálló helyrajzi szám alatt jegyezzék be az ingatlan-nyilvántartásba, hogy azok külön-külön is forgalomképesek legyenek.

A szabályozás új jogintézményként vezeti be a *zálogjogosulti bizományos* személyét, amely ugyan a nemzetközi finanszírozások során igen elterjedt, azonban a magyar szabályozás hiányában eddig hazánkban csak ritkán alkalmazott jogintézmény volt. Az új szabályozásnak megfelelően több zálogjogosult kijelölhet egy bizományost, aki egy személyben, a zálogjogosultak javára gyakorolhatja a zálogjogosultakat megillető jogokat. Zálogjogosulti bizományos kijelölése esetén a zálogjogosultak helyett kizárólag a bizományost jegyzik be a megfelelő nyilvántartásba, ami csökkenti a hitelezéssel kapcsolatos adminisztrációs terheket, hiszen a zálogjogosultak személyének változása esetén a bejegyzés módosítására nem lesz szükség.

A finanszírozási ügyletekben a hitelintézetek gyakran alkalmazzák az elidegenítési és terhelési tilalmat annak érdekében, hogy a hitelfelvevő a biztosítékul lekötött vagyontárgyat ne idegeníthesse el. Korábban kizárólag a tulajdonjog átruházásakor lehetett elidegenítési és terhelési tilalmat létesíteni. Az új Ptk. azonban az „önálló” elidegenítési tilalom bevezetésével lehetővé teszi, hogy a tulajdonos a dolog tulajdonjogának átruházása nélkül, önállóan is megterhelje azt, ezzel pedig jelentősen felértékelődik az új jogintézmény hitelbiztosítéki szerepe. A jelenlegi szabályozáshoz hasonlóan elidegenítési tilalmat a tulajdonjog tárgyára vonatkozó jogi biztosítása érdekében lehet majd alapítani.

## Factoring

Egy másik, főleg mikro- és kisvállalkozások által használt önerő és biztosíték nélküli finanszírozási termék a faktoring. A vállalkozások havi faktordíjért cserébe nem csak a számláik ellenértékének beérkezésére számíthatnak.

Átlagosan 40 nappal nőttek a fizetési határidők 2008 óta, miközben az értékesítési volumen nem nőtt. Az egyre romló vevőállomány következménye, hogy a cégek kényszerből bankként viselkednek, természetesen anélkül, hogy banki tudással, kockázatelemzési rendszerekkel rendelkeznének. Minden olyan cégnek megéri faktoráltatni követeléseit, amely likviditási gondokkal küzd, van állandó piaca és eladható terméke, és a vevőköre pénzügyileg, gazdaságilag egészséges. Olyan halasztott fizetésben megállapodott cégek részére is ajánlott, amelyek még nem felelnek meg a banki hitelezési feltételeknek.

A cégek erőforrásainak egyre nagyobb részét köti le a kintlévőségek kezelése. Itt nem csak arról van szó, hogy a be nem érkezett követelések által tulajdonképpen kamatmentesen hitelezik vevőiket. Az ügylettel töltött idő – a számlák folyamatos ellenőrzése, a nem fizető partnerekkel való levelezés, a felszólítások kiküldése és nyomon követése – hatalmas adminisztrációs pluszmunkát jelent a vállalkozás számára.

A faktoring hitelbiztosítékok és önerő nélkül igénybe vehető finanszírozási lehetőség. Döntő érv lehet mellette az is, hogy a vevőkövetelés előfinanszírozását nem befolyásolják az elmúlt évek rosszabb mérlegeredményei. Érdemes igénybe venni akkor is, ha a vevők hosszú fizetési határidővel teljesítenek, hosszabbal,



mint ahogyan a zavartalan működéshez, a folyamatosan fennálló likviditáshoz forrásra lenne szüksége a vállalkozásnak. Akkor is megfontolandó a cégek számára, hogy ezen finanszírozási formát használják, ha nem szeretnék kitenni magukat a nemfizetés kockázatának. Az empirikus számok azt mutatják, hogy a követelés-beszedési tevékenység 30 százalékkal javítja a fizetési hajlandóságot. A vevők fizetőképességének felmérését azonban ezután sem kerülhetik el a cégek, hiszen ha valaki fizetésképtelen, attól a faktoring-szolgáltató sem tudja beszedni a pénzt.

A finanszírozás e formáját kifejezetten kis cégekre találták ki, hiszen ennek révén azonnal pénzhez juthat a vállalkozás (akkor is, ha például partnere piaci erőfölényével élve viszonylag hosszú határidőre fizet). Mivel a faktoringgal elérhető likviditás együtt nő a forgalommal anélkül, hogy biztosítéki céllal megterhelné a vállalkozás vagyonát, a cég úgy tudja megoldani a forgóeszköz finanszírozását, hogy közben nem zárja ki azt sem, hogy fejlesztését bankhitelből finanszírozza.

### Lízing

A Növekedési Hitel Program második fordulója keretében finanszírozható a lízing is 2014 januárjától. Mivel a lízingtevékenységet nagy arányban erre szakosodott pénzügyi vállalkozások végzik, a pénzügyi termékek szélesebb kínálata oly módon válhat elérhetővé nagy volumenben a vállalkozások számára, ha az MNB partnerkörébe tartozó hitelintézetek és a végső adós kkv-k közé pénzügyi vállalkozások beékelődhetnek közvetítőként. Az MNB csak a partnerkörbe tartozó hitelintézetekkel áll szerződéses kapcsolatban, és számukra nyújt fedezett hitelt, továbbá a hitelintézetek tartoznak felelősséggel azért, hogy az általuk, de pénzügyi vállalkozás közvetítésével nyújtott ügyletek minden tekintetben megfeleljenek az MNB által támasztott feltételeknek. A hitelintézet a pénzügyi vállalkozás felé a közvetítő tevékenységéért díjazást számíthat fel azzal, hogy a pénzügyi vállalkozás által nyújtott lízing vagy hitel kkv által fizetendő teljes költsége továbbra sem haladhatja meg a 2,5 százalékos maximált kamatmarzsot.

### Összegezés

Magyarországon a mikro-, kis- és középvállalkozások a jövőben is kiemelt figyelmet kell, hogy kapjanak a nehéz piaci körülmények között. Támogatásuk elengedhetetlen, melyet a mindenkori kormányzatnak valós eszközökkel kell folyamatosan megtennie.

Ahhoz, hogy egy vállalkozás külső finanszírozása sikeres legyen, tisztában kell lennie a finanszírozási módokkal, a bíráló folyamatát segítő tényezőkkel, valamint azokkal a szempontokkal is, amelyek eleve kizárják az egyes finanszírozási módok használatát.

### Irodalomjegyzék

A Polgári Törvénykönyvről szóló 2013. évi V. törvény  
[http://www.mnb.hu/Monetaris\\_politika/novekedesi\\_hitelprogram](http://www.mnb.hu/Monetaris_politika/novekedesi_hitelprogram)

## Faipartörténeti kutatások

Dr. TÓTH Sándor László c. egyetemi tanár

### Kivonat

Az ipar történeti változásai után a faipar bemutatott területeinek és fejlődésének főbb jellemzőit foglalja össze a szerző. Áttekintést kapunk a 20. század második felében megjelent főbb faipartörténeti kiadványokról és megjelenési helyeikről. A kutatások intézményesített helye a Faipari Tudományos Egyesület, míg a legfontosabb közgyűjtemény a soproni Erdészeti, Faipari és Geodéziai Szakgyűjtemény lett. Az egyesület kiadásában emlékfüzetek jelennek meg a fafeldolgozás nagyjairól. Jelentős publicitási lehetőséget nyújtanak a történeti kutatások eredményeinek bemutatására a MTESZ évente megrendezett Tudomány-Technikatörténeti Ankétja, és annak kiadványai. Az ezredfordulótól számos fafeldolgozás-történeti előadás hangzott el az ankétokon a különböző fatermékekről, azok történetéről; nevezetesen az ajtókról, ablakokról, az ácsolt és hajlított bútorokról, fűrészmalmokról, gyufáról, hordókról, kocsikról, négy szakavatott előadó tolmácsolásában. Olyan 18. és 19. századi, majd 20. század eleji kiemelkedő személyiségek, dinasztiák szerepeltek az előadásokon, mint a kocsi-gyártó Kölberek, a bútorgyártó Lingelek, a hajlítottbútor-gyártó Thonetek, Gaul Károly szakoktató, valamint Thék Endre bútor- és zongoragyáros.

### Az ipar és jellemző változásai

Az ipar ismérvei többféleképpen megfogalmazhatók. Az egyik definíció szerint iparról általában akkor beszélhetünk, ha megismétlődnek az eljárások, s ezek már rögzített (írott) formában is megjelennek, kialakul a szaknyelv (Román, 1978), s az ipar(ág)nak leírt története is van.

Az ország, a nemzetgazdaság életében bekövetkezett sorsfordulók és főbb hatásuk az iparra, ezen belül a faiparra – történeti áttekintésben – az 1. táblázat szerint is jellemezhető (Tóth, 2001)

**1. táblázat** Jelentős nemzetgazdasági események és azok hatása az iparra

Sorsforduló	Fő jellemző	Alapvető változások az iparban
Kiegyezés	Kapitalista fejlődés	Iparosítás, faipar fellendülése
I. világháború	Területvesztés	Erdők és faipar nagy része a határokon kívül Iparfejlesztés
II. világháború	Államosítás, szövetkezetesítés	Kisipar visszafejlesztése Gyáripár fejlesztése
Rendszerváltás	Az állam (nagy részben) kivonul - „államtalanítás”	Magánosítás Kis- és középvállalkozások Külföldi tulajdon
EU-csatlakozás	Nemzetközi versenyképesség	Régiók fejlesztése

### A faipar és technikatörténeti fejlődésének főbb jellemzői

A faipartörténeti kutatásoknál valamilyen módon szakaszolni kell a famegmunkálás egyes területeit is. Ehhez a megmunkálás helye szerinti elkülönítés látszik alkalmasnak:

- Erdei faipar: a legrégebbi famegmunkálási, átalakítási eljárásokat foglalja magában, amely az erdőben történik. Ide sorolható a faszindely készítése, a fa szenítése, a kitermelt faanyag helyszíni faragása, sőt a hamuszírfőzés is.
- Háziipar: a paraszti gazdaságokban a saját faeszközeit készítő famunkák, mint fafaragás, esztergálás.

- Kézműipar: főleg elkülönített műhelyben, nemcsak saját felhasználásra, egyedileg készített famunkák a hordóktól a bútorig.
- Gyáripar: fatermékek sorozatgyártására épített vagy erre a célra átalakított épületben végzett ismétlődő tevékenység.

A faiparban bekövetkezett technikatörténeti korszakváltások a 2. táblázat szerint is jellemezhetők (Tóth, 2001):

## 2. táblázat Technikatörténeti korszakok a faiparban

Az asztalosság elkülönülése az ács szakmától	A fűrész mellett a gyalu használata
Gépesítés	Fűrészgépek Gőzgép Szállítható (elektromos) energia
Farost- és forgácslemezek megjelenése	Gyártás és felhasználás
Számítógépes vezérlés	Megmunkálási központok Informatika Komputerizált tervezés és irányítás
„Államtalanítás”	Magánosítás Kis- és középvállalkozások Külföldi tulajdon
Nemzetközi versenyképesség	Régiók fejlesztése

Attól függően, hogy felkész vagy készterméket gyárt az iparág, a ma is alkalmazott statisztikai besorolás a következő:

- Fűrészipar: az erdőből kikerülő hengeresfa (rönk) felfűrészélése, fűrészelt termékek készítése
- (Fa)lemezipar: furnér, rétegelt lemez, forgács- és farostlemez gyártása
- Épületasztalos-ipar: ajtó, ablak, padlóburkolatok gyártása
- Bútoripar: bútorok készítése

### Faipartörténeti emlékek gyűjtése, elhelyezése, feldolgozása, publikálása

Az ipartörténeti értékek, emlékek megőrzését tűzte ki célul a Faipari Tudományos Egyesület (FATE) az 1960-as és 70-es években, amikor gyűjteni kezdték a faipar (pontosabban a kézműipar; asztalosság, bútorkárpitoság) tárgyi, írott és fényírott emlékeit egy asztalos és kárpitos szakgyűjtemény céljára, valamint pályázatot is kiírtak a faipari üzemek történetének feldolgozására. Az ipartörténeti kutatások következő hullámára – szintén a FATE kezdeményezésére – az ezredfordulót megelőzően került sor, amikor is újabb üzemtörténeti feldolgozásokhoz jutottunk hozzá, pályázatkiírással.

A katalogizált asztalos- és kárpitosipari gyűjtemény az 1970-es évek végén átkerült Sopronba, az egyetem kezelésében lévő Erdészeti Múzeumba, amely most Erdészeti, Faipari és Földmérés-történeti Gyűjtemény néven működik.

A fa- és bútortörténeti kutatások, valamint az említett ipartörténeti feltárások alapján születtek meg a faipar történetével foglalkozó könyvek:

- Magyar erdészet 1954–1979 (Keresztesi Béla–Halász Aladár) Akadémiai, 1982
- A magyar bútor 100 éve (Vadas József) Fortuna, 1993
- A fafeldolgozás 1945 előtt (Tóth Sándor) Agroinform, 1999
- A fafeldolgozás 1945 után (Tóth Sándor) Agroinform, 2001
- A fafeldolgozás évgyűri (Ghimessy László) Agroinform, 2004
- Fafeldolgozó vasszerszámok védjegyei (Recska Endre) 2008

Meg kell említenünk, hogy 2000-ben, a Faipari Tudományos Egyesület megalakulásának 50. évfordulója alkalmából megjelent az egyesület történetének leírása:

- Faipari Tudományos Egyesület 1950–2000 (Lele Dezső) 2000

A faipartörténeti publikációknak a Faipari Tudományos Egyesület szaklapja, a Faipar biztosított helyet, majd a súlypont áttevődött a Magyar Asztalos és Faipar folyóiratra, a HÍRFA magazinra, a Magyar Mezőgazdaság ERFA (erdőgazdaság és faipar) betétjére, ill. a FATÁJ-online c. elektronikus hírújságra:

- Bútor-történeti szakirodalmunk HIRFA (Szemerey Tamás)
- Emlékfüzetek FATÁJ (Tóth Sándor)
- Faipari kézikönyvek HÍRFA, Faipar (Szemerey Tamás, Tóth Sándor)
- Faipari szakkönyvek, sorozatok Magyar Asztalos és Faipar (Tóth Sándor)
- Lexikonok, szakszótárak Magyar Asztalos és Faipar (Tóth Sándor)

Nem hagyható figyelmen kívül a MTESZ Tudomány-Technikatörténeti Ankétjai anyagának éves kiadványa sem. Számos faipartörténeti előadás hangzott el különböző fórumokon, többek között a soproni egyetemen és annak doktori iskolájában.

A 2000 utáni években a Faipari Tudományos Egyesületben létrejött egy laza, spontán szerveződés, a Szakmatörténeti Szakcsoport, amelynek munkájában az egyesület mellett a Soproni (ma Nyugat-magyarországi) Egyetem, valamint az újpesti Kozma Lajos Faipari Szakközépiskola szakmatörténettel foglalkozó képviselői vettek/vesznek részt.

#### A fafeldolgozás nagyjai emlékfüzetek

Egy újabb FATE-kezdeményezés nyomán elindult „A fafeldolgozás nagyjai” emlékfüzetek írása, megjelentetése, amelynek során a következő kiadványok készültek, ill. jelentek meg nyomtatott és/vagy elektronikus formában a FATÁJ-online hírújságban:

- Gaul Károly (1854–1932) A hazai faipari szakoktatás megteremtője (2009)
- Bódogh István (1908–1988) A hazai állami bútoringázás szervezője (2010)
- Rieperger László (1919–1986) A szakosított nagyüzemi bútorgyártás kidolgozója és bevezetője (2010)
- Lugosi Armand (1924–1990) A faipari gépészet szakírója és oktatója (2011)
- Thék Endre (1812–1919) Bútor- és zongoragyáros (2011)
- Fáy Mihály (1919–1999) A farostlemezyártás megteremtője (2013)

amelyek kiegészültek „A fagazdaság nagyjai” sorozat füzetivel:

- Lámfalussy Sándor (1890–1975) A zalai erdők fájának hasznosítója (2012)
- Barlai Ervin (1899–1967) A zalai fűrészipar, az erdészeti politika, a fakutatás úttörője (2012)

Az utóbbi két füzet összeállításánál komoly problémát jelentett a személyes dokumentumok elérése, ill. hiánya. Ebből eredően vetődött fel: célszerű lenne a szakma még élő öregjei dokumentumainak összegyűjtése, feldolgozása. Így született meg az arra javasolt személyiségekről „A fafeldolgozás érdemesei” emlékfüzet-sorozat indítása:

- Schmidt Ernő (1925–) A szombathelyi forgácslapgyártás megteremtője (2013)
- Petri László (1925–) A szövethézi és állami bútoringázás fejlesztője (2014)

#### A MTESZ Tudomány-Technikatörténeti Bizottságának Ankétjai

Az „Újabb eredmények a hazai tudomány-technika- és orvostörténet körében” című, évtizedek óta évente megrendezett ankéton elhangzott faipari tárgyú előadások a következő év kiadványában hosszú ideig nyomtatásban is megjelentek.

Az ezredforduló után számos fafeldolgozás-történeti előadás hangzott el az ankétokon a különböző fatermékekről, azok történetéről, nevezetesen az ajtókról, ablakokról, az ácsolt és hajlított bútorokról, fűrészmalomokról, gyufáról, hordókról, kocsikról, négy szakavatott előadó tolmácsolásában. Olyan 18. és 19. századi, majd 20. század eleji kiemelkedő személyiségek, dinasztiai szereplők az előadásokon, mint a kocsigyártó Kölberek, a bútorgyártó Lingelek, a hajlítottbútor-gyártó Thonetek, Gaul Károly szakoktató, valamint Thék Endre bútoringázás és zongoragyáros. A 2008. évi ankéton már külön faipar-történeti szekció is megjelent az ankét programjában.

**3. táblázat** A MTESZ Tudomány-Technikatörténeti Bizottságának Ankétjain elhangzott faipari témájú előadások

Év	Ankét száma	Előadás címe	Előadó
1999	16	Hajlított bútorok a XIX. és XX. században	Tóth Sándor
2000	17	A Lingel Bútorgyár és hatása	Tóth Sándor
2001	18	Gyufagyártás	Tóth Sándor
2002	19	A fahordó történetéből	Tóth Sándor
2003	20	A fafeldolgozás egyes művészeti alkotásokban	Tóth Sándor
2004	21	Faiparos dinasztiák, a Kölber kocsigyár	Tóth Sándor
2005	22	A vízsugaras favágás	Gerencsér Kinga
		Az erdélyi fafeldolgozás; cigány fafaragók	Pauló Tamás
		A fa szerepe életünkben, tévhitek a fáról	Tóth Sándor
2006	23	Energiacsökkentés a fafeldolgozásban	Gerencsér Kinga
		Hajlítottbútor-gyártás Magyarországon	Szemerey Tamás
		Székelyföldi I. fűrészmalom rekonstrukciója	Pauló Tamás
		A fafeldolgozás környezeti hatásai	Tóth Sándor
2007	24	Ajtó- és ablaktörténet	Szemerey Tamás
		Székelyföldi II. fűrészmalom rekonstrukciója	Pauló Tamás
		Emlékek, gyűjtemények a fafeldolgozásban	Tóth Sándor
2008	25	Ácsolt és asztalos bútorok	Szemerey Tamás
		A 10 éves székelyföldi fűrészmalom program	Pauló Tamás
		A fa hajításának története	Tóth Sándor
2009	26	Gaul Károly	Tóth Sándor
2010	27	A 19. század és Thék Endre	Tóth Sándor
2011	27	Fafeldolgozás az Ankétokon	Tóth Sándor
2012	28	Gyűjteményi képi ábrázolások. Faiparos szakmák – erdészeti oktatás	Tóth Sándor
2013	28	Fordulópontok a hazai faipar 20. századi történetében	Tóth Sándor

A MTESZ Tudomány-Technikatörténeti Bizottsága által indított, és dr. Németh József által szerkesztett sorozatba a fafeldolgozás története is bekerült a „Faipar története I-II.” címen. Sajnos a Faipar II. (az 1945 utáni történet) időközben – látszólag – lekerült a MTESZ honlapjáról.

**Nemzetközi történész kongresszus – Budapest, 2009**

Kiemelkedő esemény volt, hogy a 2009. évi budapesti ICHST Nemzetközi Történész Kongresszus Technikatörténeti szekciójában három fafeldolgozás-történeti előadás is elhangzott:

- Pauló Tamás: 10 Years in the Research of the Wood-powered
- Up-and-down Sawmill Programme in Szeklerland (Eastern Transylvania)
- Szemerey Tamás (Csóka Levente angol szövegével): Historical
- Development of Doors and Windows in the Carpatian Basin
- Tóth Sándor László: The Bending Techniques of Wood in a Historical View

**Adalékok a faipar kultúrtörténetéhez**

A Magyar Asztalos szakfolyóiratban 2011–2013 között megjelent, „Szemelvények a fáról, fafeldolgozásról” című cikksorozat célja – legalábbis részben – annak bemutatása volt, hogy hogyan jelenik meg a fa, a fafeldolgozás egyes művészeti alkotásokban, muzeális gyűjteményekben:

- I. Versek, írások
- II. Gyufacímke
- III. Érme, plakett
- IV. Fafaragás I-II.
- V. Intarzia
- VI. –
- VII. Festmény, rajz
- VIII. Gép, berendezés – ipari műemlék
- IX. Bútorok, bútorcsaládok - 20. század

**Felhasznált források:**

Román Zoltán: Az ipar gazdaságtana. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1978

Tóth Sándor: A fafeldolgozás 1945 után. Fejezetek a fa- és bútortörténetéből 1945-től az ezredfordulóig Magyarországon. Agroinform, Budapest, 2001.p.:16, 26.

# A magyar bútóripar teljesítménye az EU csatlakozás óta eltelt időszakban

KÁLLAY Balázs<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NymE KTK Vállalatgazdasági Intézet

## Kivonat

Jelen írás abból a célból készült, hogy röviden összegezze az elmúlt évek bútóriparban történt változásait. Az írás első része azon ismert magyar kutatók tapasztalatait gyűjti csokorba, akik az elmúlt időszakban behatóan vizsgálták a bútóripar egyes területeit, a második részben pedig a közelmúlt olyan statisztikailag kimutatható állapotváltozásai kerülnek bemutatásra, melyekre a bútóripari vállalkozásoknak fel kell készülniük a környezethez való minél sikeresebb alkalmazkodás érdekében. A KSH bútóriparértékesítési, valamint az építőipar teljesítményét bemutató adataira épülő kutatás eredményei azt mutatják, hogy rövid távon ugyan még kedvezőtlenek a kilátások, de hosszú távon már javuló lehetőségekkel számolhatnak az iparág szereplői.

**Kulcsszavak:** bútóripari statisztika, belföldi bútóriparértékesítés, exportbútóriparértékesítés, bútóriparimport, gazdasági környezet

## Achievements of the Hungarian furniture industry since the EU accession

### Abstract

This paper aims to give a brief synopsis of the changes that occurred in the furniture industry in recent years. In the first part we present the experiences of the best-known Hungarian researchers who thoroughly studied the main areas of the furniture industry in the past. In the second part we examine the statistically significant changes of recent years that the furniture businesses should be prepared for in order to make a successful adaptation to this kind of changed environment. The results of the research, based on the Hungarian Central Statistical Office (KSH) database on furniture sales and construction performance, show that short term prospects are still unfavorable, but participants of the furniture industry may expect the situation to improve on the long run.

**Keywords:** furniture industry statistics, furniture sales, furniture export, furniture import, economic environment

### Bevezetés: a magyar bútóripar múltja (1945–2004)

A cikk célja, hogy Laskay (1999) faipart jellemző ezredfordulós írását továbbgondolva bemutassa és elemezze a bútóripar teljesítményét és lehetőségeit az azóta eltelt időszakban, felhasználva a klasszikus szerzők gondolatait, valamint a rendelkezésre álló legfrissebb statisztikai adatokat és FATÁJ kimutatásokat.

Az ágazat jelenkori helyzetének megértéséhez először az iparág múltját kell megismerni. A bútóriszakma története jól körülhatárolható időszakokkal jellemezhető, melyek értelemszerűen szoros kapcsolatban állnak az ország aktuális politikai és gazdasági állapotával, irányvonalával (Csaplár 1994, 1995, Tóth 1997, 2001a, 2001b, Dalocsa 2000, Laskay 1999, 2001):

1945 és 1950 között előbb a nagyobb, majd a kisebb üzemek is államosításra kerültek. A korszakra a teljes központosítás és tervegáldoklás volt jellemző, melynek fókuszában a háborús károk helyreállítása állt.

1951-től 1968-ig központilag kialakításra kerültek a nagy állami bútóripari vállalatok, melyek földrajzilag

lefedték az országot. Befejeződött a központi irányító szervek felállítása, melynek elsődleges célja és feladata a mennyiségi termelés és a foglalkoztatás jelentős bővítése volt; a termelés az időszak végére megtízszereződött, míg a szakemberlétszám a két és félszeresére nőtt. A faipar jelentőségét és fontosságát jelzi, hogy 1957-ben beindult Sopronban a faipari mérnökképzés, ellátva speciális szakemberekkel az ipart.

Az 1969 és 1980 közötti időszakban tovább folytatódott a mennyiség növelése, de a hetvenes évek közepére – a bútorigar rekonstrukciójának köszönhetően – a minőség javítása is az előtérbe került. A gyártmány-fejlesztés drasztikus gyorsítása következtében megújult a termékszerkezet, egyre nagyobb lett a választék, s megkezdődött az alkatrészgyártás és az összeszerelés szétválasztása. A termelés ilyen látványos javulásához még ebben az időszakban felzárkózott a kereskedelem: a termékek már külön, bútorigari áruházláncban (Domus) is kaphatóak voltak. A belföldi igények kielégítésén túl a bútorigari vállalatok mind mennyiségben, mind minőségben készen álltak arra, hogy exportpiacra lépjenek.

1980 és 1989 között az előző időszakok folyamatos fejlődéséhez képest beállt egy kereslet-kínálati egyensúly a piacon, miközben szektoron belül ellentétes folyamatok érvényesültek: a kereslet csökkent, a termelés értékben nőtt, míg mennyiségben csökkent. A hazai termékek minősége már nem javult, míg az exporttermékeké igen. Megérett tehát az idő az iparág irányításának megreformálására, a döntések decentralizálására, vállalati szintre helyezése.

1990-ig tehát viszonylagos prosperitás volt jellemző, mely háttérbe szorította az olyan valós problémákat, mint a bútorigar strukturális gyengesége, a géppark elöregedése, a termékszerkezet leértékelése, és a túlfoglalkoztatási gondok (Balatoni-Darázs 1995, 88.o.).

1989 és 2004 között teljes szerkezetátalakulás jellemezte az ipart, melynek hatása a mai napig érezhető: a több telephellyel rendelkező vállalatokat feldarabolták, s a gazdaságilag már ekkor is sikeres részek kft. vagy rt. formában privatizálásra kerültek (Dalocsa 1996, 4.o.). Megjelentek a tőkeerős külföldi vevők, akik elsősorban nem termelőkapacitáshoz, hanem piacokhoz akartak jutni, így sok patinás, nagy múltú bútorgyár ment tönkre, szűnt meg. Ezzel egyidejűleg nagyszámú új, főleg mikrovállalkozás született, melynek következtében a bútorigarban a tömegszerű folyamatos gyártás helyett ismét domináns lett a műhelyrendszer.

Az általános magyarországi állapotoknak megfelelően, elkezdtek beözönlenni az olcsó import termékek. Ezzel, valamint az új építésű lakások számának jelentős csökkenésével a belföldi kereslet hatalmas, mintegy 40%-os visszaesése járt együtt (Tóth 2001b, 51. o.). Ezt a drasztikus csökkenést az ipar szereplői nem tudták exporttal ellensúlyozni, mert a bútorigar ekkorra már elvesztette keleti piacainak nagy részét, a nyugati országokban való jelenlét pedig még nem érte el az ehhez szükséges szintet.

Megjelentek a nagy, külföldi kézben lévő, kereskedőláncok: IKEA, Tutto Mobili, Michelfeit, s a fogyasztói igények drasztikus változáson mentek keresztül.<sup>1</sup> A hazai gyártók igyekeztek termékválasztékukkal igazodni a változó igényekhez, de az import nyomása és a nem kielégítő forgótőke-ellátottság miatt a versenyképességük csökkent (Győri 1996, 13. o.). A piacvédelem hiánya és az egyes érdekcsoportok piacpolitikája oda vezetett, hogy 1994-re a bútorimport meghaladta az exportot (Dalocsa 1996, 4. o.). Az import növekedése, az export csökkenése, a fogyasztói igények megváltozása, a lakásépítések számának csökkenése, és az alacsony jövedelműek számának emelkedése hatalmas válsághoz vezetett az iparban. Az ezredfordulóra a kedvezőtlen trend folytatódott: a belföldi forgalom a felére esett, helyüket az importbútorok vették át. Az időszakra jellemző, hogy összességében a termelőkapacitás csupán felét használta ki az ipar, miközben bizonyos szakágazatok esetében (irodabútor-gyártás, ülőbútorgyártás) képes volt a gyártás és értékesítés javuló tendenciát mutatni, főleg a külpiacon irányába (Szabó 1999, 18. o.).

A problémák felismerése ahhoz vezetett, hogy a stratégiai szemlélet elkezdett teret nyerni a bútorigarban. A döntéshozók belátták, hogy négy tényező határozza meg a jövőbeli magatartást, melyekhez alkalmazkodni kell: globalizáció, integráció, humanizáció, marketingközpontúság (Fábián 2000, 3. o., 2002), s felismerve ezeket a tényeket, a nagy bajban lévő, ez ideig rendkívül zárt, termékeit idealizáltak tekintő, a fogyasztói véleményeket nagyrészt figyelmen kívül hagyó<sup>2</sup> ipar nyitott a marketing és menedzsment területek felé, s a

<sup>1</sup> És változnak folyamatosan ma is. Lásd még: Bednárík és Pakainé Kováts (2011a, 2011b).

<sup>2</sup> Lásd még Pakainé Kováts és tsai. (2007), valamint Kállay (2009, 2010) ebben az időszakban készült kutatásait.

<sup>3</sup> Köszönhetően elsősorban a Faipari Vállalkozási és Marketing Tanszék alapításának és működésének, a faipari marketing témájú konferenciák szervezésének, iskolateremtő oktatási és kutatási feladatok lebonyolításának.



faipari felsőoktatásban, a kutatásban, majd a gyakorlatban is elkezdtek megjelenni a modern üzleti ismeretek, alapjában változtatva meg a bútorigipari döntéshozók attitűdjét.<sup>3</sup>

A következőkben megvizsgáljuk<sup>4</sup> az EU-csatlakozás óta eltelt időszak (hitelezési „boom” – gazdasági válság – válságból való kilábalás kezdete) belföldi és export bútórértékesítési adatait, a bútorigipart jellemzői számait, valamint a magyarországi bútorigipari vállalkozások számának változásait, melyek összességében megfelelő képet mutatnak a magyar bútorigipar teljesítményének közelmúltbeli alakulásáról.<sup>5</sup>

### A magyar bútorigipar termékértékesítési adatai (2004–2012)

Az EU-csatlakozás kezdeti éveiben jelentős változások érték az ipart (Pakainé Kovács és tsai. 2007): a termelés – az ország dinamikus fejlődésével párhuzamosan – növekedni kezdett, ami mind a belföldi, mind az exportértékesítésen megmutatkozott. A lakások számának növekedése, a reálkereset növekedés, a hitelek elterjedése, a forgalmi adó csökkenése mind-mind kedvezően hatott az iparra. Kedvezőtlen hatásként jelent meg azonban a nagy, több piacra termelő vállalatok számának csökkenése és a mikrovállalkozások számának további emelkedése, ami összességében az iparág versenyképességének csökkenéséhez vezetett. A magas minőséget előállító gyártók, az olcsó importbútorok beáramlása és a garázsasztalosok magas száma miatt komoly belföldi értékesítési nehézségbe ütköztek, s az iparágat egyre inkább az export kezdte meghatározni.

Az 1. ábra a 4 fő feletti magyarországi bútorigipari vállalkozások értékesítési adatait mutatja be TEÁOR'08-as bontásban, illetve az építőipari termelésből az épületek építését, melytől a bútorigipar teljesítménye leginkább függ.

Az 1.a. diagramon látszik, hogy a 2006-os építőipari csúcs (600 mrd Ft), hozzávetőlegesen két év késséssel, 2008-ban jelent meg a bútorigiparban (182 mrd Ft), ezután egy csökkenés, majd egy enyhe emelkedés figyelhető meg, mely az építőiparban 2009-től jól láthatóan egy csökkenő meredekségű, de lefelé vezető tendenciába torkollik. Ha ez a másfél-két éves elcsúszás az építőipar és a bútorigipar teljesítményében továbbra is megfigyelhető lesz, akkor – előreláthatólag – a 2011-es és 2012-es növekedés után a bútorigipari összértékesítésben 2014–2015-ig enyhe csökkenéssel lehet számolni.

Az 1.b. diagram ugyanezt mutatja a belföldi, az 1.c. diagram pedig az exportértékesítést kiemelve. Ezekből látszik, hogy a magyar építőipar extrém rossz teljesítménye érthetően főképp a belföldi értékesítésre van hatással, míg az exportértékesítés folyamatosan emelkedő szintje azt mutatja, hogy stratégiai kitérés pont lehet a termékekkel a jóval stabilabb külföld felé nyitni, mert az kevésbé érzékeny a gyenge magyarországi építőipari teljesítményre. Amennyiben az exportértékesítés egyre növekvő értéke trend marad, akkor ez iparági szinten talán képes lesz ellensúlyozni az építőipari hanyatlás által előjelzett kibocsátás-csökkenést.

A 2. ábrán ugyanezt látjuk szakágazatonként, kiemelve a belföldi és exportértékesítést.

Feltehetően a hitelezésnek köszönhetően mind a négy bútorigipari szakágazatnál észrevehető a válság előtti felfutás (2008-ig), majd a pénzpiac összeomlása által előidézett hanyatlás. A hanyatlás mértéke jelentősen eltér az egyes területek között, és a válságból való kilábalás éveinek gazdasági folyamatai is különböző mértékben mutatkoztak meg az ágazatok között, attól függően, hogy mennyire van a terület kiszolgáltatva a belföldi eseményeknek.

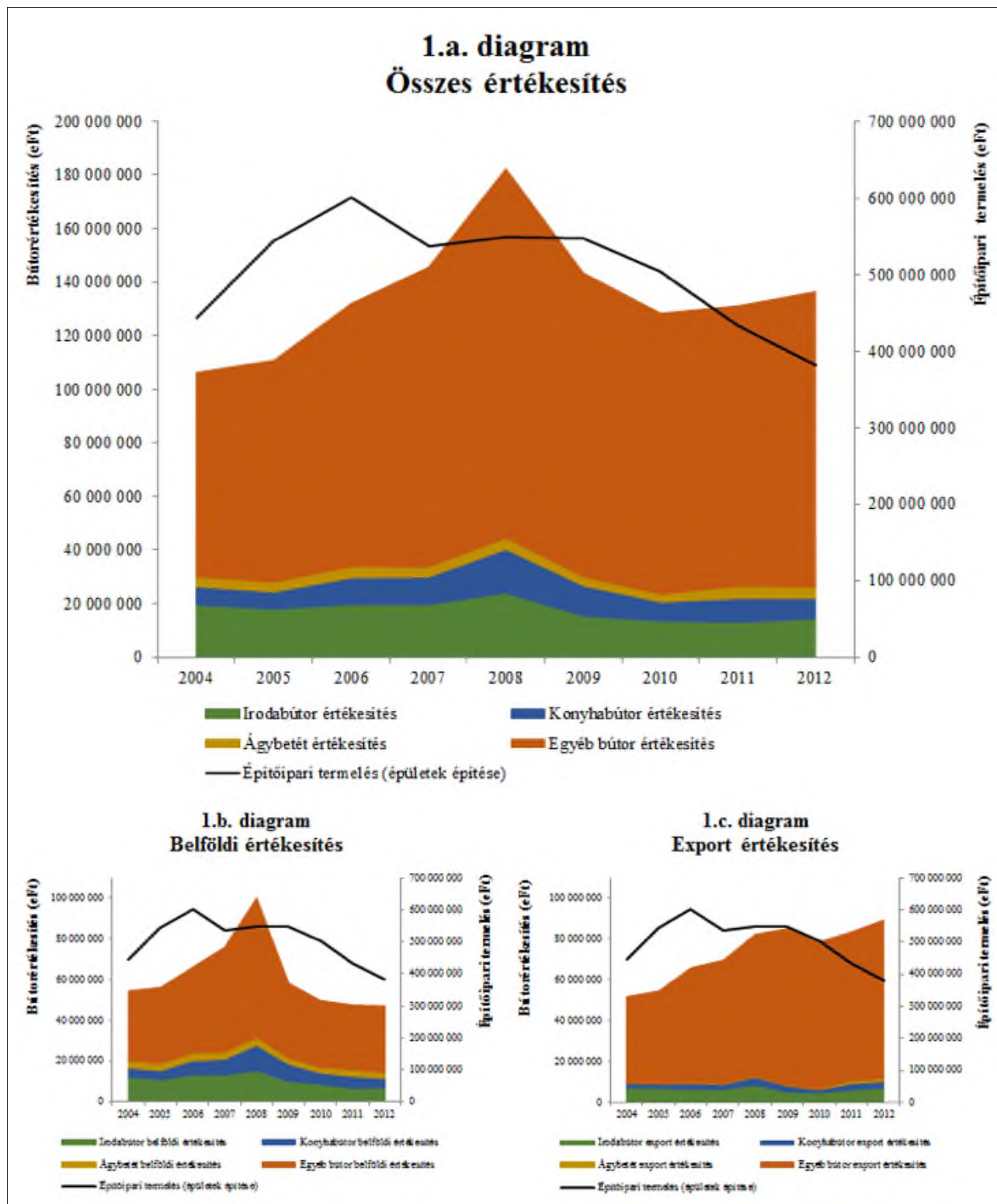
Az irodabútor-gyártás (2.a. diagram) összértékesítésében a nagyon kedvező, 2008-as év után egy hatalmas, 35%-os zuhanás volt tapasztalható (23,9 mrd Ft-ról 15,4 mrd Ft-ra), majd egy lassuló csökkenés, végül a tavalyi évre már egy enyhe javulás látszik. A belföldi értékesítés 2008 után – az építőipar hanyatlása következtében – folyamatosan csökken, de az exportértékesítés 2010-től kezdve egyértelműen képes megfordítani szakágazati szinten a kedvezőtlen trendet.

<sup>4</sup> A bútorigipar statisztikai elemzése módszertanilag nem egyszerű. A 2008-ban bevezetésre kerülő TEÁOR'08-ban nincs már „ülőbútorgyártás” kategória, miközben jelentős a szakágazat hozzájárulása az ipar teljesítményéhez. Az ezzel foglalkozó cégeknek egy ajánlás alapján át kellett magukat másik ágazatba, vagy az ágazaton belül másik szakágazatba, sorolni. Bár az értékesítési adatait visszamenőlegesen a TEÁOR'08 alapján is feldolgozta a KSH, viszont az egyes szakágazatokba tartozó vállalkozások számát már nem. Ez a 2008 előtti és utáni teljesítmények összevetését jelentősen megnehezíti.

Import esetén a csoportosítást nem TEÁOR, hanem vámtarifaszám (VTSZ) szerinti végzi a hatóság, ami ugyan érthető, viszont VTSZ szerint van ülőbútor behozatal, amit viszont nem lehet a magyar ülőbútor-gyártással összevetni, hiszen az 2008 óta statisztikailag nem létező kategória. További nehézséget jelent, hogy a TEÁOR és a VTSZ kódok nem fedik le egymást teljesen, így minden, a bútorigipart érintő elemzést alapos összefüggéssel kell kezdeni.

<sup>5</sup> Az alfejezetek diagramjaihoz tartozó konkrét, részletes táblázatok elérhetőek a szerzőnél (kallay@ktk.nyme.hu).

A magyar konyhabútorgyártás (2.b. diagram) tipikusan belföldre termelő szakágazat, melyet emiatt talán a legjobban sújtotta a válság. A belföldi értékesítés látványos növekedése után 2008–2010 között folyamatos zuhanórepülésben a felére esett (12,4 mrd Ft-ról 5,6 mrd Ft-ra), s ezen az egyébként nem túl jelentős volumenű export sem tudott javítani. A 2011-es év enyhe – az exportnak köszönhető – pozitív korrekciója után ismét csökkenni kezdett az értékesítés, s a kilátások ezen a területen továbbra is kedvezőtlenek.



**1. ábra** Termékértékesítés a magyar bútorgyártásban TEÁOR'08 csoportosításban, valamint az építőipari termelés kapcsolata (2004–2012, ezer Ft) Forrás: KSH adatok alapján, saját szerkesztés

**Figure 1** Product sales in the Hungarian furniture business, and their relationship to the construction industry (2004–2012, thousand HUF)

Az összességében nem jelentős volumenű ágybetétgyártás (2.c. diagram) 2010-ról 2011-re – mind belföldi, mind exportértékesítés tekintetében – jelentős javuláson ment keresztül (59%-os javulás 2,9 Mrd Ft-ról 4,6 Mrd Ft-ra), azonban az értékesítés számai tavalyra ismét csökkenő tendenciát mutattak.

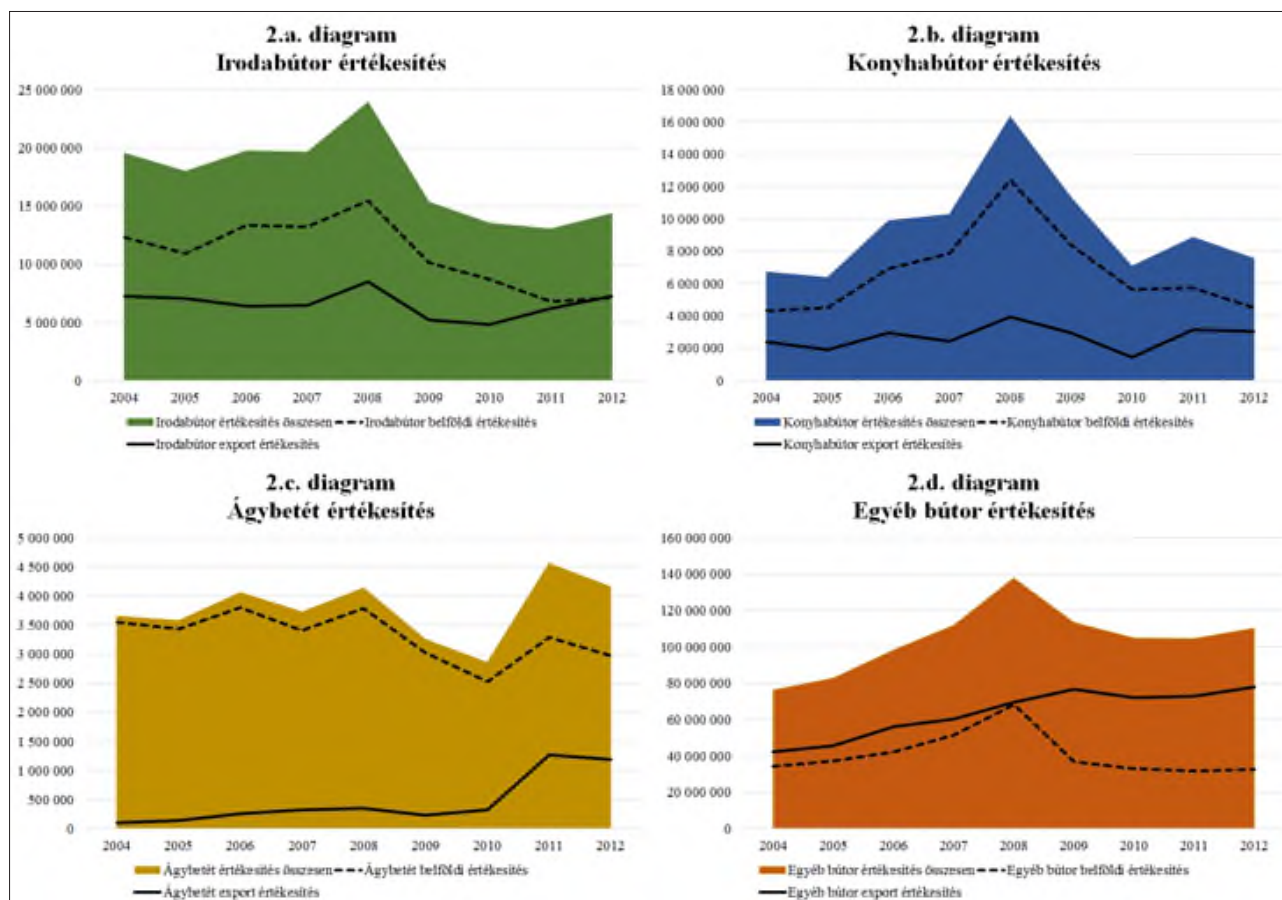
A 2.d. diagram mutatja a mennyiségében legnagyobb súlyú egyéb bútorgyártási területet (melybe bár nem teljes mértékben, de túlnyomórészt bekerült az ülőbútorgyártás is). A szakágazat 2008-ról 2009-re való nagy csökkenését szintén a belföldi piacon szenvedte el (68,5 Mrd Ft-ról 36,8 Mrd Ft-ra), de nagyon hamar, már a 2010-től stagnáló, majd ismét növekvő összértékesítési adatokat lehet tapasztalni. Az exportértékesítés volumene a válság ellenére is csak csekély mértékű csökkenést szenvedett el a 2009-ben (76,7 Mrd Ft-ról 72 Mrd Ft-ra), de ezt leszámítva folyamatosan nő a teljesítmény, magával húzva nem csak a szakágazatot, de az egész bútorigipart.

### A magyarországi bútorimport alakulása (2004–2012)

A magyarországi gyártók értékesítési adatai után az import alakulását elemezzük, mely nagyban meghatározza az ipar mozgásterét, hiszen jelentősen csökkenti a magyar bútorigipari vállalkozások belföldi értékesítési lehetőségeit.

A 3. ábrán a szakágazatonkénti behozatalt és kivitelt, valamint a belföldi értékesítést hasonlítjuk össze.

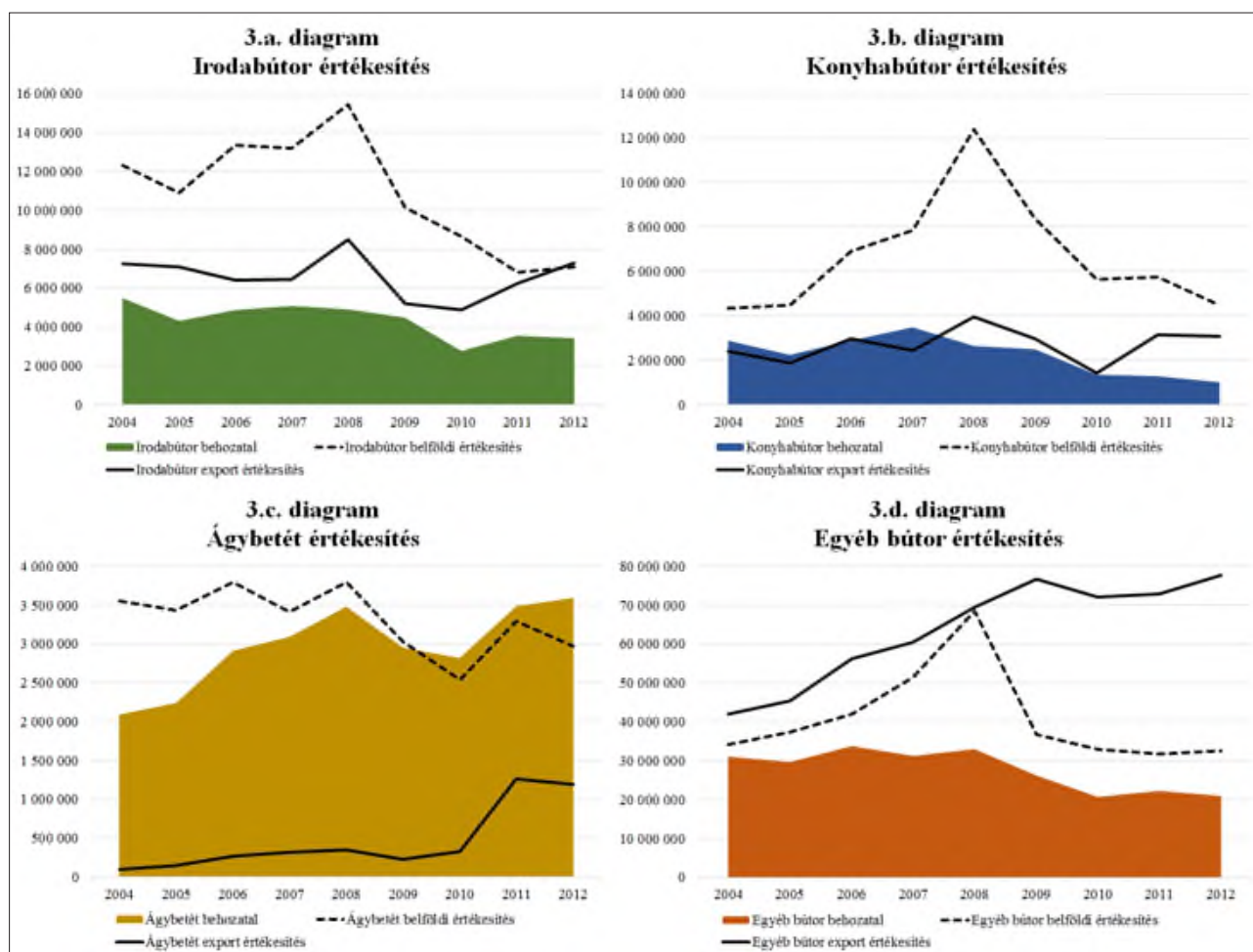
Irodabútor esetében (3.a. diagram) az export jelentősen meghaladja az importot az EU-csatlakozást követő valamennyi évben. A gazdasági környezet negatív trendjeit leszámítva, az ágazat exportja erőn felül teljesítve növekedő pályán van. A belföldi értékesítés csökkenését szemlátomást nem a növekvő import okozza, hiszen az is látványosan csökkent 2008 és 2010 között 4,9 Mrd Ft-ról 2,75 Mrd Ft-ra. 2011-ben van csak egymással ellentétes mozgás, de összességében elmondható, hogy a belföldi térvesztés sokkal inkább a kedvezőtlen hazai gazdasági folyamatoknak és az építőipar alulteljesítésének a következménye, s csak kevésbé az import irodabútorok térhódításának.



**2. ábra** Belföldi- és exportértékesítés a magyar bútorigiparban szakágazati (TEÁOR'08) csoportosításban (2004–2012, ezer Ft)

Forrás: KSH adatok alapján, saját szerkesztés

**Figure 2** Domestic sales and export of the Hungarian furniture industry (2004–2012, thousand HUF)



**3. ábra** Import, export és belföldi értékesítés a magyar bútorgyártásban szakágazati (TEÁOR'08) csoportosításban (2004–2012, ezer Ft)

Forrás: KSH adatok alapján, saját szerkesztés

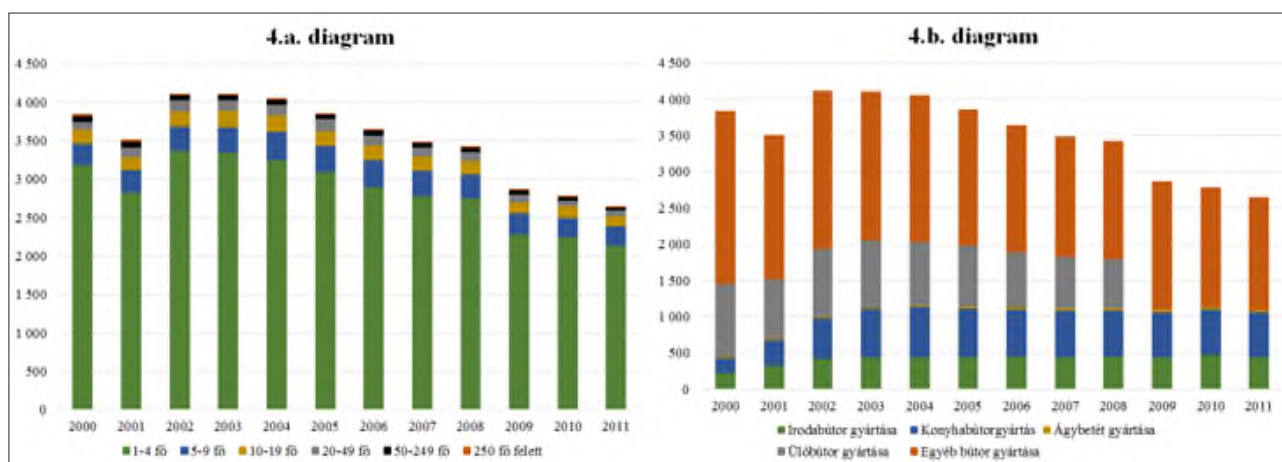
**Figure 3** Import, export and domestic sales of the Hungarian furniture industry (2004–2012, thousand HUF)

A konyhabútorgyártás szakágazatban (3.b. diagram) az import a 2007 óta folyamatosan csökken, de ezt a belföldi értékesítés csak 2008-ig tudta kihasználni, ezt követően az is meredeken zuhant. A zuhanás 2010-től lassul, de az import további csökkenése ellenére sem sikerül egyelőre megfordítani a belföldi értékesítés negatív trendjét. Úgy tűnik tehát, hogy a rossz teljesítésnek csak részben az import az oka.

Ágybetétértékesítésében (3.c. diagram) az export és az import egymással párhuzamosan futó pályát ír le, miközben volumenét tekintve a behozatal sokkal erőteljesebb a kivitelnél. A belföldi értékesítés 2008-tól szinte megegyezik az importtal, bár érdemes megjegyezni, hogy 2012-re az import nőni tudott, míg a belföldi értékesítés csökkent, tehát a folyamat pont ellentétes az irodabútor-gyártásban tapasztalt pozitív változásokhoz képest.

Míg az egyéb bútorgyártás (3.d. diagram) importja 2008-ig többé-kevésbé egyenletes volumenű (30–31 mrd Ft közötti), addig az export, sokszorosan túlszárnyalva az importot, látványosan nőtt. A válság első éveiben az import jelentős csökkenését az export bár irányban követte, de szerencsére volumenben nem, a 2012-re pedig ellentétes mozgás figyelhető meg: a behozatal csökken, míg a kivitel ismét nő. A belföldi értékesítéssel való összevetés már nem mutat ennyire kedvező képet: a 2008-ban, részben az építőiparnak, részben az ülőbútorgyártás kategória megszűnésének köszönhetően, hatalmas ugrás figyelhető meg a belföldi értékesítésben, melyet egy drámai zuhanás követ. A 2010-től 2012-ig tartó időszakban a belföldi értékesítés éppen az importtal ellentétes mozgást mutat, mintha beállt volna egy állandósult fogyasztás, ami, úgy tűnik, egyelőre csak egymás (belföldi értékesítés – import) rovására változtatható.

<sup>6</sup> A cikk írásakor a 2012-es adatok még nem elérhetőek.



**4. ábra** Működő bútorigazgatási vállalkozások számának megoszlása, átlagos állományi létszám és szakágazat (TEÁOR'03, TEÁOR'08) szerint (2004–2011, db) Forrás: KSH adatok alapján, saját szerkesztés

**Figure 4** The number of furniture manufacturers according to the number of employees and type of product (2004–2011)

#### A magyarországi bútorigazgatási vállalkozások száma (2004–2011)<sup>6</sup>

A 4. ábra a működő bútorigazgatási vállalkozások számát mutatja be méret, azaz átlagos állományi létszám (4.a. diagram) és szakágazat (4.b. diagram) szerint.

Összességében elmondható, hogy a cégek száma évről évre folyamatosan csökken; míg 2004-ben még 4048 cég volt, addig 2011-ben már csak 2648 cég működött, ami 30%-os csökkenést jelent. A méretbeli összetétel szempontjából drasztikus változás ez idő alatt már nem történt: a rendszerváltás óta ismert állapot, hogy 10 fő alatti a vállalkozások 90%-a, az erős, rugalmas, fejlődni képes innovatív kis és közepes vállalkozások aránya csak 8% körüli valamennyi évben. Igazán nagy cégek pedig csupán elvétve vannak.

A közel 20%-nyi ülőbútorgyártó vállalkozás 2008-ban átsorolt más ágazatba (pl. gépjárműgyártás), illetve besorolt a többi szakágazatba (főleg az egyéb bútorigazgatás kategóriába), így azok száma látszólag jelentősen megnőtt. Ezt leszámítva jelentős változás az elmúlt tíz évben az egyes tevékenységek vonatkozásában nem volt, tehát mindegyik szakágazatban hasonló arányban szűntek meg és alakultak új vállalkozások.

#### Összefoglalás

A bútorigazgatás, Laskay (1999, 7. o.) ezredfordulós jellemzésének továbbgondolása alapján a következőképpen jellemezhető:

A bútorigazgatás továbbra is jelentősen szétforgácsolódott, számos mikrovállalkozás jellemzi. Ezek a mini- és kisüzemek főleg a helyi igényeket elégítik ki, s a tisztán belföldi piactól való függés olyan kiszolgáltatott helyzetet teremt, aminek a révén – bár a mikrovállalkozások számának iparágon belüli aránya állandónak mondható – egyik napról a másikra tűnnek fel új cégek, majd tűnnek is el, ugyanolyan gyorsan, pedig a bútorigazgatás számára a kitörési pont egyértelműen az export, mely nem függ a magyar építőipar teljesítményétől és kevésbé függ a magyar gazdaság mindenkori állapotától. Ezeket a magas minőségű termékeket, és jelentős tőkeerőt igénylő exportlehetőségeket főleg a közepesség nőtt, jól prosperáló, erős, de kisszámú vállalkozások tudják csak jelenleg kihasználni. Szorosabb iparági összefogással, közös külpiaci megjelenéssel és disztribúcióval a növekedni akaró kisebb innovatív vállalkozások előtt is hatalmas külpiaci lehetőségek állnak.

A hitelezés várható beindulása, s így az építőipar kibocsátásának növekedése után még másfél-két évre lehet szüksége a bútorigazgatásnak ahhoz, hogy ismét egyértelmű, a belföldi értékesítésben is stabilan növekedő teljesítményt érjen el. Tehát 2014-ben az összteljesítmény még várhatóan csökken, miközben az egyes szakágazatok stagnáló, vagy akár növekvő eredményt is elérhetnek.

A rendszerváltás után beözönlő, gyakran gyengébb minőségű importbútorok értékesítése csökkenő tendenciát mutat, s bár a belföldi értékesítési adatok sem kedvezőek, a 2012-es számok (elsősorban irodabútor és egyéb bútor tekintetében) mintha arra utalnának, hogy hosszútávon stabilizálni lehet a belföldi értékesítés növekvő és a behozatal csökkenő trendjét, melyhez természetesen folytatni kell a stratégiai szemlélet térnyerését az iparágban.

**Irodalomjegyzék**

- Balatoni A., Darázs Á. (1995) A bútorgazdaság helyzete Magyarországon. *Faipar* 45(1):8-9.
- Bednarik É., Pakainé Kováts J. (2011a) Életstílus alapú szegmentáció a bútortpiacon. NyME Kiadó, Sopron
- Bednarik É., Pakainé Kováts J. (2011b) Vásárlói magatartás a bútortpiacon. NyME Kiadó, Sopron
- Csaplár G. (1994) A magyar bútorkereskedelem piaci helyzete. *Faipar* 44(7):111-113.
- Csaplár G. (1995) Bútortpiai lehetőségek – együtt a vevőkért. *Kereskedelmi szemle* 36(2):24-25.
- Dalocsa G. (1996) A bútortpár jövőképe: A fenntartható fejlődés feltételei. *Bútor és faipar* 2(10):4-6.
- Dalocsa G. (2000) Hogyan tovább bútortpár? *Faipar* 48(2-3):14-17.
- Fábián A. (2000) A hazai faipar sikertényezői és buktatói az ezredfordulón. *Faipar* 48(1):11-14.
- Fábián A. (2002) A faipari vállalatok stratégiaváltásának néhány kérdése. In. *A magyar tudomány napja konferencia*, Pécs, 66-81 old.
- FATÁJ (2008-2012) Faipari-bútortpári elemzések. <http://www.fataj.hu/> (Letöltések dátuma: 2014. április)
- Györi F. (1996) Helyzetkép a bútortparról és a bútortpacról. *Gazdaság és gazdálkodás* 34(11):13-15.
- Kállay B. (2009) Bútortpári termékek vevői nézőpontból. In. Svéhlik Cs. (2009) IV. KHEOPS Tudományos Konferencia: A tudomány felelőssége gazdasági válságban. Mór, 509-522 old.
- Kállay B. (2010) Research on the opinion of the consumer considering the image of the furniture in Hungary. *Economics & Sociology* 3(1):104-114.
- Laskay L. (1999) A magyar faipar a 90-es évek végén. *Faipar* 47(4):6-9.
- Laskay L. (2001) A hazai bútortgyártás helyzete és fejlődési lehetőségei 2001-ben: Tízéves a Bútor Szakvásár. *Faipar* 49(4):4-8.
- Pakainé Kováts J., Bednarik É., Kállay B., Péchy L., Takáts A. (2007) Bútorvásárlók-Bútorvásárlás-Bútorreladás Magyarországon 2007-ben. NyME, FMK, Sopron.
- Szabó P. (1999) Bútor a piacon: A magyar bútortpár helyzete és fejlesztésének szükségzerű területei. *Faipar* 47:1, pp. 18-19.
- Tóth S. (1997) Az ezredforduló fagazdasága. *Bútor és faipar* 3(5-6):12-13.
- Tóth S. (2001a) A faipar 1945-től napjainkig a számok tükrében. *Gazdaság és statisztika* 13(5):5-26.
- Tóth S. (2001b) A faipar 1945-től napjainkig a számok tükrében II.. *Gazdaság és statisztika* 13(6):44-60.

# Fenyő faanyagok színének homogenizálása gőzöléssel

CSISZÁR Andrea<sup>1</sup>, RÉBÉK-NAGY Péter<sup>2</sup>

<sup>1</sup>NymE SKK, Fizika és Elektrotechnika Intézet, PhD hallgató

<sup>2</sup>NymE SKK, Innovációs Központ, PhD hallgató

## Kivonat

Vizsgálatunk során légszáraz állapotú erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.) és vörösfenyő (*Larix decidua* L.) faanyagot gőzöltünk 95 °C-os hőmérsékleten. A gőzölés 16 napig tartott. Vizsgálatunk tárgya a korai és a késői pászta színének homogenizálása volt. Ezt a területet eddig még nem vizsgálták. Az erdeifenyő esetében a színváltozás jelentős része már az első 24 órában lezajlott. A minták színezete a 11. naptól állandósult. A gőzölés hatására nem tapasztaltunk számottevő színhomogenitász növekedést az erdeifenyő esetében. A vörösfenyő esetében a színinger-különbséget és a színezeti szöveget vizsgálva arra a megállapításra jutottunk, hogy a szijács színhomogenitása nem növekedett a gőzölés hatására, ezzel szemben a gesztnél jól látható, hogy a korai és a késői pásza színezete közelít egymáshoz. A különbség 41%-kal csökkent a geszt esetében. A vörösfenyő gesztjének és szijácsának színe ugyancsak erőteljesen homogenizálódott a gőzölés hatására. A közöttük jelentkező színinger-különbség 60%-kal csökkent. A 95 °C-os gőzölés tehát a vörösfenyő gesztjénél, illetve a vörösfenyő gesztjét és szijácsát együtt vizsgálva hatásosnak bizonyult a színhomogenizálás terén.

**Kulcsszavak:** fenyő faanyag, gőzölés, színmérés, színhomogenizálás

## Colour homogenisation of conifers by steam treatment

### Abstract

Air-dried Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) and larch (*Larix decidua* L.) wood samples were steamed at 95°C. The maximum time of steaming was 16 days. The aim of the study was the colour homogenisation of earlywood and latewood. This topic has not yet been investigated. Most of the colour change happened during the first 24 hours for Scots pine. The hue of the samples remained constant after 11 days of steaming. There was no remarkable colour homogenisation in the case of Scots pine. There was clearly visible colour homogenisation between the earlywood and latewood in the heartwood but no homogenisation was found within the sapwood, as shown by the colour difference and by the change of hue for larch. The difference decreased by 41% within the heartwood. The colour difference between heartwood and sapwood also decreased considerably for larch. Their colour difference decreased about 60%. In terms of colour homogenisation, the steaming was effective within the heartwood and between the sapwood and heartwood for larch timber.

**Keywords:** conifers, steaming, colour measurement, colour homogenisation

## Bevezetés

A gőzölést, mint színváltoztatásra alkalmas eljárást már régóta ismerik a faiparban (Molnár 1976, 1998). A gyakorlatban a múlt század második felében már alkalmazták is színhomogenizálásra. Az egyes gőzölési paraméterek hatásának vizsgálata azonban mindössze két évtizede zajlik módszeresen (Tolvaj és Faix 1996; Horváth és Varga 2000; Tolvaj és tsai. 2006; Varga és tsai. 2009). A gőzölési folyamat különböző berendezések és módszerek segítségével történhet, nagyméretű kamrákban, harangokban (100 °C alatt), vagy nyomásálló gőzölő hengerekben (100 °C fölött). A gőzölés végrehajtható a gőznek fűtő közegként történő felhasználásával, illetve közvetlen gőzbevitellel is. Az első esetben a gőzt a kamra alján lévő víz felfűtésére használják, zárt csőrendszerben keringetve, így ez a gőz nem jut be a gőzölési térbe. Ekkor a gőzölő tér számára a gőz a felfűtött víz párolgásából származik (Takáts 2000).

A mai, modern gőzölő kamrák többnyire ezt a módszert alkalmazzák. A közvetlen gőzbevitel károsíthatja a faanyagot, ezért már alig használják. Gőzölési eljárásnál fontos kritérium, hogy a gőzölő térben folyamatosan telített vízgőz legyen. Amennyiben ez nem valósul meg, a gőz vizet vesz fel a faanyagból, melynek következtében a faanyag megrepedhet. A közvetlen gőzbetáplálásnál nem garantált a gőz telítettsége, ezért könnyen előfordulhat, hogy károsodik a faanyag (Tolvaj 2004). Számos kutatást végeztek már a gőzölés színváltoztató hatásával kapcsolatban. Horváth-Szováti (2000) az akác faanyag világosságváltozását a gőzölési idő és hőmérséklet függvényében egy exponenciális függvény segítségével írta le. Straze és Gorisek (2008) gőzölt cseresznye színzeti variánsait vizsgálták és elemezték. Fontos Sundqvist és Morén (1993) megállapítása, mely szerint a hidrotermikus kezelés közben kialakuló színt nem pusztán a járulékos anyagok, hanem a fában lévő polimerek (elsősorban a hemicellulózok) degradációs termékei is befolyásolják. A flavonoidok szerepe szignifikáns a faanyag elszíneződésében (Németh 1997; Csonka-Rákosa 2005).

A gőzölés hatására bekövetkező színváltoztatás szempontjából a legmeghatározóbb tényező a hőmérséklet és az idő. A hőmérséklet növelésével exponenciálisan nő a színváltozás sebessége (Horváth-Szováti 2000). Azoknál a faanyagoknál, melyek érzékenyek a gőzölési hőmérsékletre fontos, hogy a gőzölés ideje alatt a hőmérséklet állandó legyen. A közvetlen gőzbefúvásos berendezéseknél a hőmérséklet állandósága nem biztosítható az egész gőzölő kamrában, ezért a kísérletek ismétlésekor a színváltozás mértéke esetenként egymástól eltérő lehet. A vízgőz jelenlétének meghatározó szerepe van a színváltozásban (Tolvaj és tsai. 2010). A gőzölési tulajdonságok feltárásánál a leginkább vizsgált fajok az akác és a bükk. Vizsgálták még a csertölgy (Tolvaj és Molnár 2006; Todaro és tsai. 2012) és a cseresznye (Straze és Gorisek 2008) faanyagának színváltozását gőzölés hatására. Varga és Van der Zee (2008) két európai és két trópusi faj gőzölés hatására bekövetkező színváltozását hasonlította össze. A fenyőfélék gőzölési tulajdonságainak vizsgálatára nagyon kevés közlemény található (Tolvaj és tsai. 2012).

A színek meghatározásának a vizsgálatok ideje alatt feltétlenül objektívnek kell lennie, hogy a faanyag modifikáció során végbemenő színváltozását egzaktul és részletekbe menően le tudjuk írni. Az ehhez szükséges objektív színmérési módszert számos területen használják, de csak a közelmúltban kezdték el alkalmazni e kutatási területen (Tolvaj és Faix 1996; Tolvaj és tsai. 2000; Bekhta és Niemz 2003; Hapla és Militz 2004; Mitsui és tsai. 2001, 2004; Mitsui 2004; Oltean és tsai. 2010). Az objektív színkoordináták lehetővé teszik, hogy különböző fajok viselkedését, színváltozását leírjuk gőzölés közben. A leggyakrabban használt színmeghatározó rendszer a CIE Lab, háromdimenziós színkoordináta rendszer.

Bár az elmúlt évtizedben számos faj színváltozását vizsgálták gőzölés hatására sokféle szempont szerint, mind-ezidáig senki nem foglalkozott az egyes fajok korai és késői pásztáinak külön-külön történő színvizsgálatával. Azt sem vizsgálták, hogy a gőzölés hatására hogyan változik a pászták színe egymáshoz viszonyítva. Egyes fajok esztétikai minőségét rontja a túlzott tarkaság, mely gyakran a korai és késői pászták erős kontrasztjából, nagy színbeli eltérésekből adódik. E fajoknál a pászták színének közelítése, a faanyag színhomogenizálása esztétikai szempontból, és így felhasználási körük bővítése céljából is hasznos lehet. Éppen ezért célul tűztük ki, hogy szisztematikusan megvizsgáljuk, hogy a gőzölés milyen hatással van a korai és késői pászták színváltozására, és a színhomogenizálás lehetőségére két fenyő fajtánál. A színváltozásokat objektív színméréssel határoztuk meg.

### Vizsgált anyagok és módszerek

Vizsgálatunk két fajra irányult: erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.) és vörösfenyő (*Larix decidua* L.) mintákat gőzöltünk. A fajok kiválasztásának fontos szempontja volt, hogy Magyarországon fellelhető, gyakori túlevelű fajokat válasszunk, melyek széles körben használatosak különböző területeken. Szempont volt továbbá, hogy a vizsgált fajok között szerepeljen olyan, ahol nagy, és olyan, ahol kevésbé erőteljes eltérés mutatkozik a korai és késői pászta színében. A vörösfenyő esetében a geszt és a szijács vizsgálatát is elkülönítettük, míg az erdeifenyő esetében csak a gesztet vizsgáltuk. Nem állt rendelkezésünkre megfelelő minőségű erdeifenyő szijács faanyag. A különböző tartományokból hasonló mintákat vételeztünk és azonos körülmények között vizsgáltuk azokat. A próbatesteket úgy készítettük el, hogy a vágási felületeken széles, kontrasztos pásztákat kapjunk (tangenciális metszet), a 3 mm átmérőjű mérőfejjel történő minél pontosabb színmérés érdekében. Elengedhetetlen volt, hogy a korai és késői pásztákat egymástól elkülönítve tudjuk vizsgálni. A próbatestek mérete 130 x 25 x 10 (mm<sup>3</sup>) volt. Erdeifenyő mintából 18 db-ot vizsgáltunk meg. Vörösfenyő szijácsából 15 db, gesztjéből pedig 18 db próbatest színváltozásait mértük. A gőzölést megelőzően színmérést végeztünk a mintadarabokon a későbbi összehasonlítás érdekében. A méréshez egy Konica Minolta 2600d típusú színmérő készüléket használtunk.



A reflexiós spektrumot a 360–740 nm-es hullámhossz tartományban határozta meg a műszer. A színpontokat a háromdimenziós CIE Lab színinger mérő rendszerben adtuk meg. A színkoordinátákat a színmérő számítógépe közvetlenül szolgáltatta. A minta világosságát az  $L^*$  koordináta adja meg. Faanyag esetében az  $a^*$  határozza meg a minta vörös színezetét, a  $b^*$  koordináta pedig a minta sárga színezetét. A nagyobb  $a^*$  és  $b^*$  értékek élénk színeket, a kisebbek szürkés árnyalatokat jelentenek. Az egyes próbatesteken tíz ponton mértük meg a korai, és tíz ponton a késői pászta színét. Ezeket a pontokat megjelöltük annak érdekében, hogy a gőzölés után ugyanezen pontokat tudjuk vizsgálni. A későbbi elemzéseket a vizsgált pontok színkoordinátáinak átlagértékeivel végeztük. A laboratóriumi gőzölési kísérletek 95 °C-os hőmérsékleten, 100% relatív nedvességtartalom mellett történtek. A mintadarabokat zárt edényben helyeztük el, a faanyag alá desztillált vizet tettünk. A zárt edénynek köszönhetően a közel 100 °C-os hőmérsékleten is telített vízgőz jelenlétét tudtuk biztosítani a teljes gőzölési idő alatt. A gőzölő edényt szárítószekrényben melegítettük. A szekrény hőmérsékletét az automatika a beállított hőmérséklet körül  $\pm 0,5$  °C tartományban tartotta. Az erdeifenyő faanyag kezdeti nedvességtartalma 13%, a vörösfenyő faanyag kezdeti nedvességtartalma pedig 11% volt. A mintákat 1, 2, 4, 7, 11 és 16 napos gőzölés után vettük ki a szárítószekrényből. Minden alkalommal 3-3 db próbatest került vizsgálatra. Ettől egyedül a vörösfenyő szijácsánál tértünk el, ahol az utolsó két alkalommal 2-2 mintát vettünk ki a szárítószekrényből. Ennek oka, hogy nem állt rendelkezésünkre elegendő szijács faanyag a 18 próbatest elkészítéséhez. A gőzölést megelőzően 3 óras fel-fűtést biztosítottunk. A gőzölési időt a beállított hőmérséklet elérésétől számítottuk. A kezelési folyamat végén nem alkalmaztunk kondicionáló szakaszt, a mintadarabokat azonnal, az adott gőzölési idő letelte után kivettük az edényből, és laboratóriumi körülmények között tároltuk. Színmérés előtt a kezelt faanyagot egy hónapig kondicionáltuk szobahőmérsékleten. A színmérést a már légszáraz próbatesteken végeztük el. A mérés a gőzölés előtti vizsgálattal azonos módon történt a jelölt pontokon. Az értékeléshez itt is átlagértékeket használtunk.

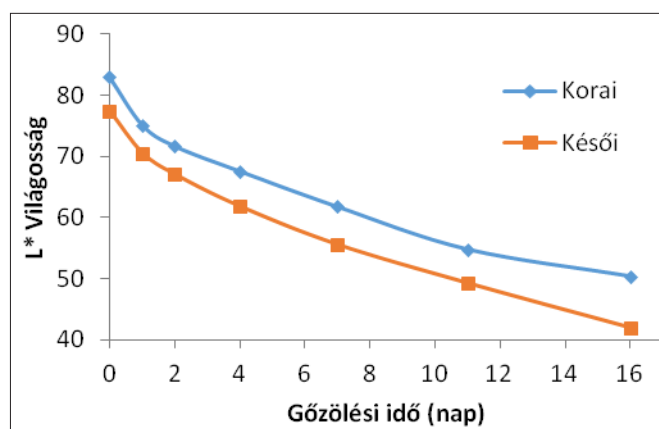
### Eredmények és értékelés

A műszeres színmérés előtt szemrevételeztük a mintákat. Azt tapasztaltuk, hogy az erdeifenyő esetében nem történt szabad szemmel érzékelhető színhomogenizálás. A vörösfenyőt tekintve a szijács esetében az erdeifenyőhöz hasonlóan nem érzékeltek a pászta színezetének egymáshoz való közeledését, viszont a gesztet szemrevételezve kismértékű homogenitás-növekedést tapasztaltunk. Mindkét faanyag esetében egy széles színskálát kaptunk a különböző ideig gőzölt mintadarabokból. A teljes skála kellemes színhatású és a fenyőkre jellemző világos krémszínűtől közép barnáig terjed. Mivel a korai és késői pászta színe hasonló módon változott, ezért a faanyag tarkasága nem növekedett, ez esztétikai romlást nem okozott. Tehát a fenyők gőzöléssel történő színváltoztatása nem csökkenti a faanyag esztétikai értékét. Gőzöléssel különböző tónusú árnyalatokat tudunk elérni, gazdagítva ezzel a fenyő faanyag színválasztékát.

#### Erdeifenyő

Az erdeifenyő faanyag világosságváltozásának időfüggését 95 °C-os gőzölési hőmérsékleten az 1. ábra mutatja.

Kezdetben az erdeifenyő faanyag korai pászta világosabb volt, mint a késői pászta. A faanyag korai és késői pászta egyaránt sötétedett a gőzölés hatására. Ez a sötétedés folyamatos volt a teljes gőzölési időintervallumban. A gőzölés első 24 órájában tapasztaltuk a legintenzívebb sötétedést. A folyamat utána egyenletesen lassult, mindkét pászta esetében. A késői pászta világosságának csökkenése valamivel nagyobb volt a gőzölés során. Ennek köszönhető, hogy a folyamat következtében a 16. napon a két pászta világosságkülönbsége kisé megnövekedett. A kezdeti értékekhez képest a korai és a késői pászta világosságkülönbsége a másfélszeresére növekedett.



**1. ábra** A világosság változása a gőzölési idő függvényében erdeifenyő faanyag esetén

**Figure 1** Change of lightness as function of steaming time, in case of Scots pine

Az erdeifenyő faanyag vörös színezetváltozása a 2. ábra szerint alakult.

A gőzölést megelőzően a késői pászta vörös színezetének nagysága majdnem kétszer akkora volt, mint a korai pászta vörös színezete. Az erdeifenyő faanyag vörös színezetének változása nagyobb léptékű volt a világosságváltozásnál. Míg a világosságváltozás a korai és késői pászta átlagát tekintve 42,4% volt, addig a vörös színezet változása 123,9% volt. A változás itt is az első napon volt a legintenzívebb. Ezt követően a 11. napig egyenletes növekedést tapasztaltunk mind a korai, mind a késői pászta esetében. A 11. nap után a korai pásztát tekintve további vörös színezetnövekedést észleltünk, ám a növekedés mértéke ebben az időszakban nagyon lelassult. Ezzel szemben a késői pászta esetében a 11. napot követően a vörös színezet kis mértékben csökkenni kezdett, közelítve a korai pászta értékeihez. Az ábrán is látható, hogy a korai és késői pászta vörös színezete a gőzölés hatására közelített egymáshoz a 16 napos gőzölés során. Ez a faanyag inhomogenitásának csökkenését jelenti.

Az erdeifenyő faanyag esetében kezdetben a késői pászta sárga színezete közel másfélszerese volt a korai pászta sárga színezetének (3. ábra). A gőzölés hatására a korai és késői pászta sárga színezete egyértelműen közelített egymáshoz. A 16. napon a sárga színezet különbsége közel 0 volt. A gőzölés homogenizáló hatása itt jól látható. A korai pásztánál megfigyelhető, hogy az első napon egy igen nagy ugrás következett be a sárga színezet növekedésében. Ezt követően a színezet egyenletesen növekedett a gőzölés időtartama alatt. A késői pászta esetében az első hat napban egyenletes színezetnövekedés látható, majd a görbe csökkenőbe megy át. Ez a váltás azt jelenti, hogy a csökkenő szakaszon több kromofor csoport bomlik el vagy távozik, mint amennyi ez idő alatt keletkezik (Tolvaj 2013).

Megvizsgáltuk továbbá a korai és a késői pászta közötti színinger-különbséget az idő függvényében ( $\Delta E^*$ ) (4. ábra). A színinger-különbség adja meg a vizuális különbséget a vizsgált próbatestek esetében. Értéke a térbeli Pitagorasz-tétel segítségével számítható két színpont térbeli távolsága:

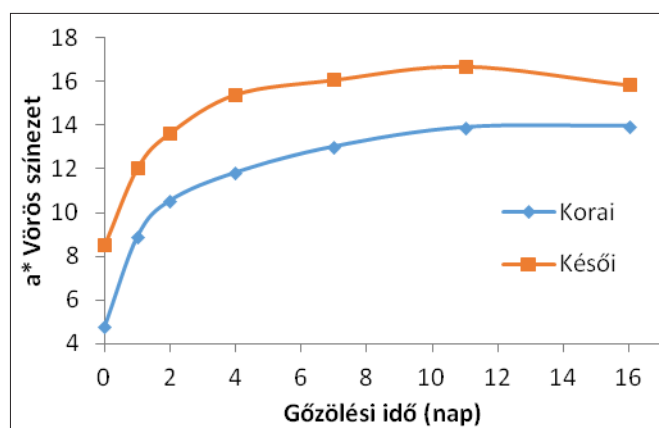
$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})} \quad [1]$$

ahol,

$\Delta L^*$  – az adott ideig gőzölt egyes minták korai és késői pásztája világosságának különbségéből képzett átlagérték, és a nem gőzölt minták világossága átlagértékének különbsége.

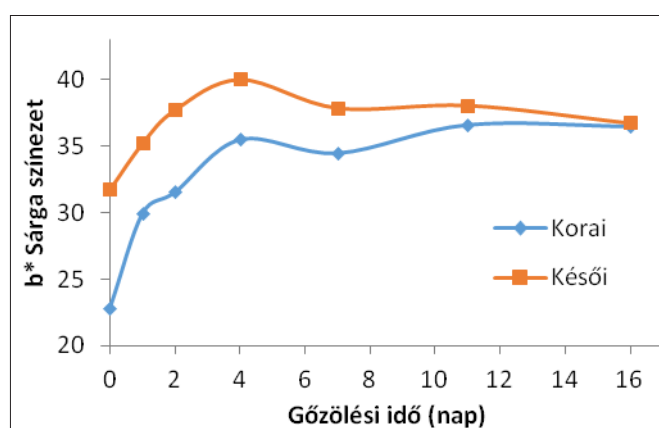
Hasonló módon számítható a  $\Delta a^*$  és a  $\Delta b^*$ .

A grafikonról leolvasható, hogy a korai és a késői pászta közötti színinger-különbség az első 11 napban folyamatosan csökkent. A csökkenés az első 24 órában volt a legintenzívebb. Ezt követően a változás kisebb meredekségű. A 11. nap után a korai és késői pászta közötti különbség görbéje növekvőbe fordul, a színezetek közötti különbség növekszik. Ezt a változást a világosságok közötti távolság növekedése okozta. A színinger-



2. ábra A vörös színezet változása a gőzölési idő függvényében erdeifenyő faanyag esetén

Figure 2 Change of red colour as function of steaming time, in case of Scots pine



3. ábra A sárga színezet változása a gőzölési idő függvényében erdeifenyő faanyag esetén

Figure 3 Change of yellow colour as function of steaming time, in case of Scots pine

különbség a gőzölés végén, a 16. napon az eredeti érték alatt marad, viszont a színhomogenizálás szempontjából a gőzölést érdemes a 11. napon befejezni, hiszen a két pászta színezete ekkor áll egymáshoz a legközelebb.

Tanulmányoztuk a színezeti szög és a gőzölési idő összefüggését is (5. ábra). A színezeti szög egy – az eddigiektől eltérő rendszerben definiált – jellemző, a színpont színezetét jellemzi. Ezt a mennyiséget hengerkoordináta rendszerben értelmezzük, ahol  $L^*$  továbbra is a világosság tengely, viszont  $a^*$  és  $b^*$  koordinátákból síkbeli polárkoordináták lesznek. A  $h^*$  színezeti szög (hue)  $a^*$  és  $b^*$  koordináták segítségével a következőképpen számolható:

$$h^* = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right) \quad [2]$$

ahol,

$0^\circ$ -hoz a vörös,

$90^\circ$ -hoz a sárga,

$180^\circ$ -hoz a zöld,

$270^\circ$ -hoz pedig az ibolya színezet tartozik.

A színezeti szög, ahogy az 5. ábrán látható, mindkét pászta esetében folyamatosan csökken, vagyis a színezet vörös irányba tolódik el. Ez a csökkenés az első 24 órában a legjelentősebb. Ezt követően lelassul, a 11. nap után nem változik, a színezet állandósul. A két görbe közel párhuzamos lefutású, vagyis a korai és a késői pászta színezete a gőzölés folyamán közel azonos módon változik.

Mivel a színezeti szög kétféle pászta közötti eltérése nem változott a gőzölés során, arra kell következtetnünk, hogy a telítettségek közeledtek egymáshoz. Ez abból következik, hogy az  $a^*$  és  $b^*$  koordináták értékei külön-külön közeledtek egymáshoz. A  $C^*$  telítettség, más néven színezetdúság (króma) az egyes színpontoknak az  $L^*$  tengelytől való távolságát adja meg a következő összefüggés alapján:

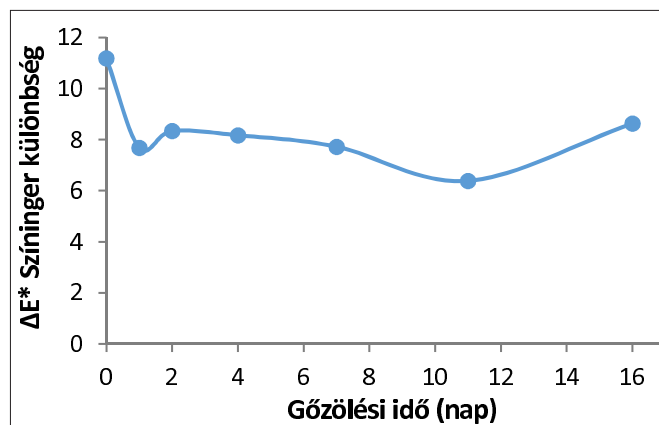
$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad [3]$$

A telítettség végeredményben azt jelenti, hogy mennyire tiszta az adott szín. Ha a szín telített, akkor nincs fehértartalma, és annál telítetlenebb, minél nagyobb a fehértartalma. Esetünkben a korai és a késői pászta telítettsége közötti különbség a gőzölés hatására 90%-kal csökkent. A két pászta színezetdúsága tehát egyértelműen közelebb került egymáshoz, homogenizálódott (6. ábra).

#### Vörösfenyő

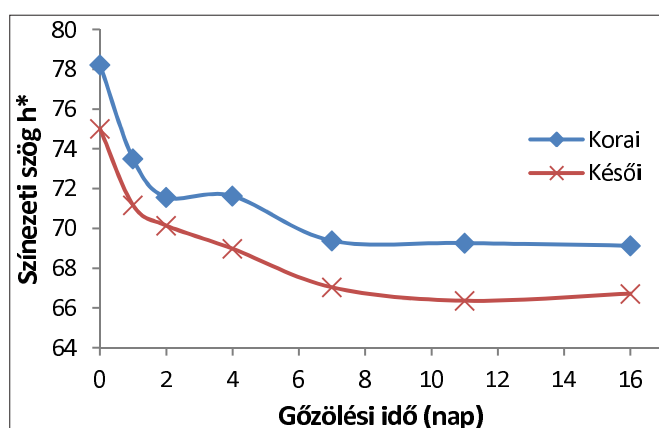
A vörösfenyő faanyag esetében külön vizsgáltuk a faanyag gesztjét és szijácsát. A mérések és az eredmények értékelése az erdeifenyővel azonos módon történt. A geszt és a szijács minták elemzése párhuzamosan kerül bemutatásra.

A vörösfenyő faanyag világosságának változása a gőzölési idő függvényében  $95^\circ\text{C}$  hőmérsékleten a 7. ábrán látható. A gőzölést megelőzően a vörösfenyő faanyag korai pászta világosabb volt, mint a késői pászta, a szijács és a geszt esetében egyaránt, de a geszt esetében nagyobb volt a különbség, mint a szijács esetében.



**4. ábra** A korai és késői pászta közötti színinger-különbség változása a gőzölési idő függvényében, erdeifenyő faanyag esetében

**Figure 4** The change of total colour difference between earlywood and latewood as function of steaming time, in case of Scots pine



**5. ábra** Színezeti szög változása a gőzölési idő függvényében erdeifenyő faanyag esetén

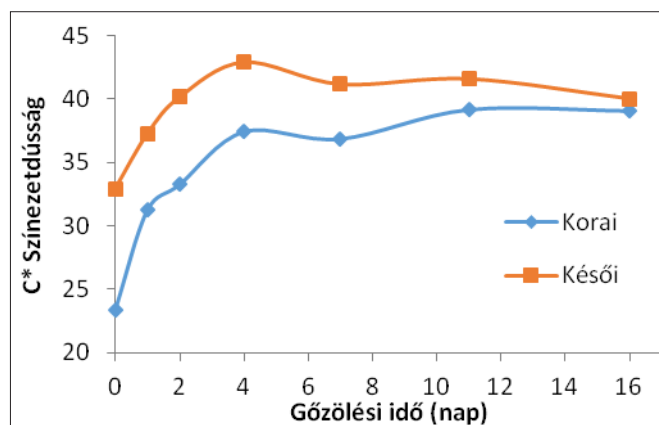
**Figure 5** Change of hue as function of steaming time, in case of Scots pine

A teljes gőzölési intervallumról elmondható, hogy a faanyag teljes egésze folyamatosan sötétedett a gőzölés hatására. Ez a sötétedés minden területen a 11. napig közel azonos meredekséggel ment végbe. A görbék kismértékű hullámzása a minták kezelés előtti inhomogenitásával magyarázható. A 11. naptól a görbék meredeksége csökkent, a sötétedési folyamat lelassult. A szijács esetében a korai pászta világosságának csökkenése a gőzölés középső szakaszában valamivel kisebb volt, mint a késői pásztnál. A 16 napos gőzölés hatására a szijács esetében a korai és a késői pászta világosság-különbsége másfélszeresére növekedett. A gesztet vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy a korai és a késői pászta görbéje párhuzamos lefutású. A két pászta világossága azonos mértékben és ütemben csökkent. Az utolsó öt nap során történt ehhez képest egy kismértékű változás, amikor a korai pászta görbéje közelített a késői pászta görbéjéhez, a világosság-különbség 34%-kal csökkent. Megállapítottuk, hogy a gőzölés következtében a szijács esetében a korai és késői pászta világosság-különbsége 50%-kal nőtt, a geszt esetében ugyanezen paraméter 34%-kal csökkent.

A vörösfenyő faanyag vörös színezetének változását a 8. ábra mutatja be.

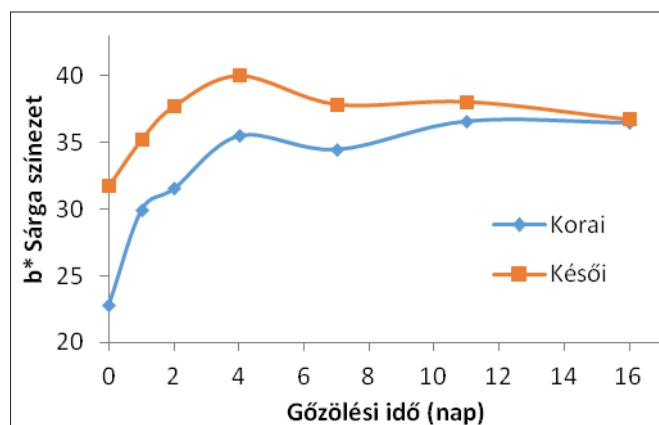
A szijács késői pásztajának vörös színezete kezdetben majdnem háromszorosa volt a korai pászta vörös színezetének. A geszt esetében valamivel több, mint másfélszeres volt ez a különbség. A faanyag teljes egészére jellemző, hogy a 7. napig egy intenzív vörös színezetnövekedést figyelhetünk meg. Ez a növekedési szakasz egyedül a szijács késői pásztajánál tetőzik hamarabb, a 4. napon. Az emelkedő szakasz után a görbék csökkenőbe mennek át. Ez alól csak a szijács korai pászta kivétel, ahol nem csökkenő, hanem stagnáló szakasz következik a csúcspont elérése után. Mind a geszt, mind pedig a szijács minták esetében a 7. napot követően a korai és késői pászta vörös színezetét ábrázoló görbe meredeken összetart. A 16. napon, a gőzölés végén a két-két pászta vörös színezete szinte azonos. Csupán tizedes nagyságrendű különbség mutatkozik. Ez a faanyag homogenitásának növekedését jelenti.

A vörösfenyő faanyag esetében kezdetben a késői pászta sárga színezete körülbelül másfélszerese a korai pászta sárga színezetének (9. ábra), ugyanúgy, ahogyan az erdeifenyő esetében is alakult. A faanyag egészét tekintve a gőzölés első időszakában erőteljes sárga színezetnövekedés volt tapasztalható. Ez a növekedés az első 24 órában volt a legjelentősebb. Különösen



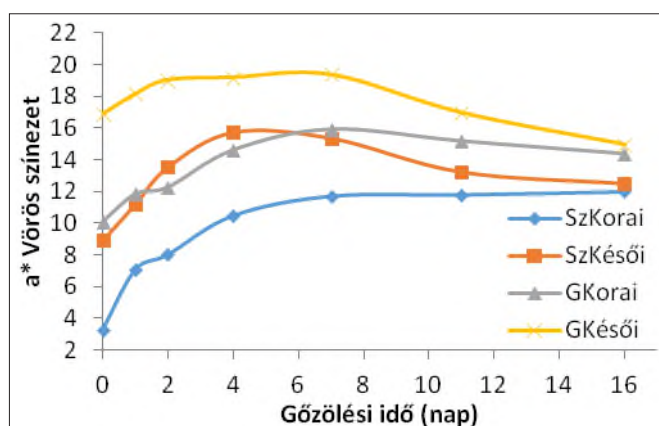
6. ábra Színezetdúság-változás a gőzölési idő függvényében erdeifenyő faanyagnál

Figure 6 Change of chroma as function of steaming time, in case of Scots pine



7. ábra A világosság változása a gőzölési idő függvényében vörösfenyő faanyag esetén

Figure 7 Change of lightness as function of steaming time, in case of Larch



8. ábra A vörös színezet változása a gőzölési idő függvényében vörösfenyő faanyag esetén

Figure 8 Change of red spectrum in the function of steaming time, in case of larch

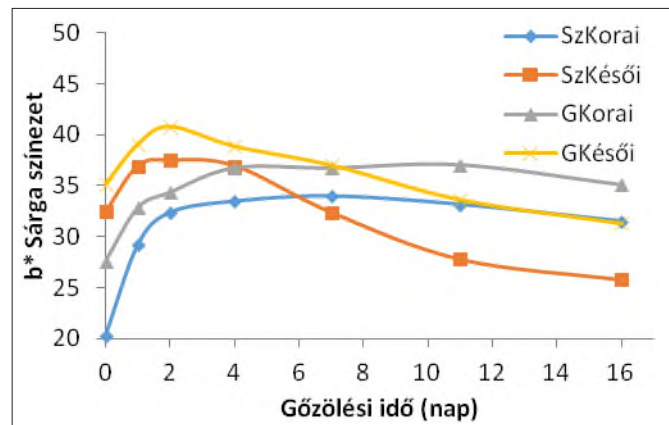
igaz ez a szijács korai pászta. A késői pászta sárga színezete a szijácsban és gesztben egyaránt a 4. nap után csökkenni kezdett. Ez a csökkenés közel lineárisan alakult, és a gőzölés végén a szijácsnál és a gesztnél is körülbelül 21%-kal a kezdeti érték alatt zárult. A korai pászta sárga színezete a szijács esetén a 7. napon, geszt esetében a 11. napon érte el a maximumát. Ezt követően mindkét esetben csökkenőbe ment át a görbe. A korai és a késői pászta sárga színezetének görbéi a 7. nap környékén metszik egymást. Ekkor a két terület sárga színezete megegyezett. Később az értékek ismét távolodni kezdtek egymástól, majd párhuzamosan haladtak tovább. A 16 napos gőzölés végén a szijács esetében a sárga színezetkülönbség a korai és a késői pászta között 47%-kal, a geszt esetében pedig 51%-kal csökkent a kezdeti értékhez képest. Ez szintén a vizsgált faanyag színhomogenitásának növekedését jelenti.

A 10. ábrán a geszt és a szijács, valamint a geszten belül a korai és a késői pászta közötti színinger-különbség változását szemléltettük, a gőzölési idő függvényében.

A geszt és a szijács összehasonlítását az egyes területeken belül, a korai és a késői pásztaiból vett minták átlaga alapján vizsgáltuk. A teljes gőzölési idő alatt folyamatos színingerkülönbség-csökkenést tapasztaltunk. A csökkenés a gőzölés első két napján volt a legintenzívebb. A negyedik naptól a gőzölés végéig stagnálnak tekinthető. A kezdeti színinger-különbség 60%-kal csökkent, tehát jelentős mértékű színhomogenizáló hatást értünk el a 16 napos, 95 °C-os gőzöléssel. A geszten belül, a korai és a késői pászta összehasonlítva azt tapasztaltuk, hogy a színinger-különbség az első 24 órában jelentősen csökkent, de az ezt követő 24 órában körülbelül ugyanennyit növekedett. Innentől kezdve a görbe egyenletesen csökkent, tehát a pászta színezete homogenizálódott. Ez a csökkenés a kezdeti értékhez képest 46%-os volt. Ebből látható, hogy az egyes területeken belül (geszt és szijács) is színhomogenizálást vittünk véghez a gőzöléssel.

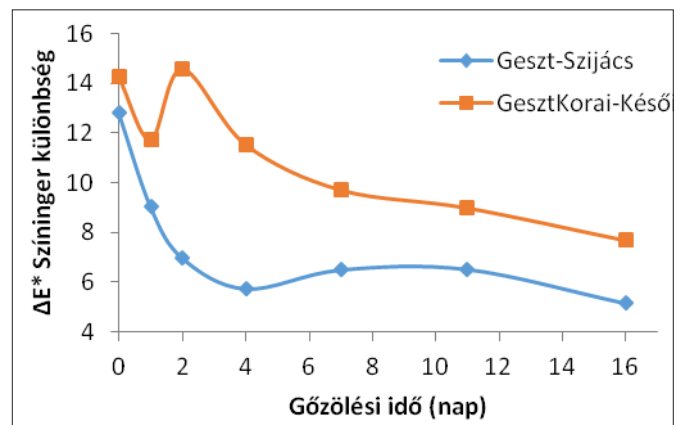
A színezeti szög időfüggése gőzölésnél vörösfenyő faanyag esetében a 11. ábrán látható.

A vörösfenyő faanyag szijácsnál a korai és a késői pászta görbéje párhuzamos lefutású. A gesztnél a görbék közelítenek egymáshoz. A szijácsot vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy a színezeti szög körülbelül a 7. napig folyamatosan csökken, tehát a színezet a vörös irányba tolódik el, ezt követően



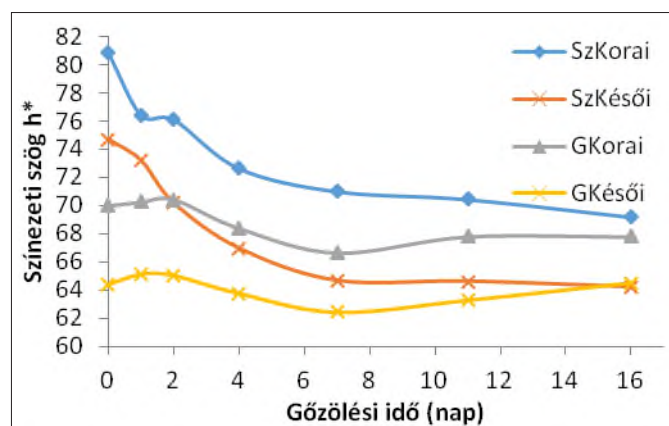
**9. ábra** A sárga színezet változása a gőzölési idő függvényében vörösfenyő faanyag esetén

**Figure 9** Change of yellow colour as function of steaming time, in case of larch



**10. ábra** A geszt és szijács, valamint a geszt korai és késői pászta közötti színinger-különbség a gőzölési idő függvényében, vörösfenyő faanyag esetében

**Figure 10** The change of total colour difference between heartwood and sapwood and between earlywood and latewood of heartwood, as function of steaming time, in case of Larch



**11. ábra** Színezeti szög változása a gőzölési idő függvényében vörösfenyő faanyag esetén

**Figure 11** Change of hue as function of steaming time, in case of Scots pine

pedig állandósul, tehát a további gőzölés nem okoz színezetbeli változást. A geszt esetében körülbelül az első három napban a színezeti szög növekedik, tehát sárga irányú eltolódás tapasztalható a korai és késői pásztnál egyaránt, majd a 7. napig csökken. Ezután pedig ismét növekedni kezd a korai pászta esetén a 11. napig, a késői pászta esetében pedig a vizsgálat végéig folyamatosan. A kiindulási értékhez képest a korai pásztnál egy alacsonyabb, a későinél az eredetivel közel azonos értéket kaptunk, ami azt jelenti, hogy a korai pászta színezete vörös irányba tolódott el. A színezeti szög különbsége a korai és a késői pásztnál a gőzölés végére 41%-kal csökken, vagyis a pászta színezete homogenizálódott a geszt esetében. Az is jól látható, hogy a kétféle késői pászta színezeti szöge nagyon közel került egymáshoz a gőzölés során. Hasonló mondható el a korai pásztaakra is.

### Összefoglalás

Az erdefenyő esetében azt tapasztaltuk, hogy a 95 °C-on történő gőzölés nem csökkenti lényegesen a korai és a késői pászta közötti színeltérést. A pászta világosságkülönbsége növekedik, viszont a sárga és a vörös színezet közötti különbség jelentősen csökken a beavatkozás végére. A színezet változásának nagy része az első 24 órában megy végbe. Ezt követően a korai és a késői pászta színezeti szög görbéje párhuzamosan fut tovább. A 11. napot követően nem történik színezetbeli változás, tehát a gőzölést nem érdemes 11 nap után tovább folytatni. A közel állandó színhomogenitásnak köszönhetően esztétikai romlás nem tapasztalható, a tarkaság nem növekedik. A gőzölésnek köszönhetően az erdefenyő faanyagának számos új és kellemes árnyalata hozható létre.

A vörösfenyő faanyag szíjácsát vizsgálva megfigyeltük, hogy 16 napos, 95 °C-os gőzölés hatására a világosságkülönbség a korai és a késői pászta között 50%-kal nőtt, viszont a geszt esetében ugyanezen körülmények között a világosságkülönbség 34%-kal csökkent. A vörösfenyő faanyag teljes egészénél azt tapasztaltuk, hogy a kezdetben nagy vörös színezetbeli különbség a gőzölési folyamat végére szinte nullára csökken. A korai és késői pászta sárga színezetének különbsége a geszt és a szíjács minták esetén is körülbelül 50%-kal csökkent, tehát itt is a homogenitás növekedése volt tapasztalható. A színinger-különbséget és a színezeti szöget vizsgálva arra jutottunk, hogy a szíjács esetében nem történt színhomogenizálás a gőzölés hatására, ezzel szemben a gesztnél jól látható, hogy a korai és a késői pászta színezete közelít egymáshoz. A különbség 41%-kal csökken, tehát a pászta színe homogenizálódott.

Összehasonlítottuk továbbá a vörösfenyő gesztjének és szíjácsának színezetét a gőzölés előtt és után. Azt tapasztaltuk, hogy a 16 napos gőzölés következtében a szín jelentős mértékben homogenizálódott. A színinger-különbség a geszt és a szíjács között 12,8-ről 5,2-re, azaz 60%-kal csökkent.

A 95 °C-on történő gőzöléssel az erdei- és a vörösfenyő faanyag esetében is számos, a szemünk számára kellemes színárnyalat hozható létre (12. ábra). A vörösfenyő gesztjének esetében az eljárás alkalmas a korai és a késői pászta színének homogenizálására, valamint a szíjács és a geszt színezete is közelebb hozható egymáshoz.

### 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.

### Irodalomjegyzék

- Bekhta P., Niemz P. (2003) Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce, *Holzforschung* 57(5): 539-546.
- Csonka-Rákosa R. (2005) A flavonoidok szerepe a faanyag hőhatás okozta átalakulásában, *Faipar* 53(2): 22-26.
- Hapla F., Militz H. (2004) Colour measurements and gluability investigation on red heart beech wood (*Fagus sylvatica* L.), *Wood Research* 49(4): 1-12.



**12. ábra** Vörösfenyő faanyag gesztjének színváltozása a 16 napos gőzölés során (próbatetek balról jobbra haladva 1, 2, 4, 7, 11, 16 napos gőzölés után)

**Figure 11** Colour change of larch's heartwood during 16 days long steaming period (samples from left to right after 1, 2, 4, 7, 11, 16 days of steaming)

- Horváth-Szováti E. (2000) A gőzölt akác világosság-változásának hőmérséklet- és időfüggése, *SE Tudományos Közleményei* 46: 19-189.
- Horváth-Szováti E., Varga D. (2000) Az akác faanyag gőzölése során bekövetkező színváltozás vizsgálata II. A 105, 110 és 115 °C-on történő gőzölés eredményei, javaslat az ipari hasznosításra, *Faipar* 48(4): 11-13.
- Mitsui K., Takada H., Sugiyama M., Hasegawa R. (2001) Changes in the properties of light-irradiated wood with heat treatment. I. Effect of treatment conditions on the change in colour, *Holzforschung* 55(6): 601-605.
- Mitsui K. (2004) Changes in the properties of light-irradiated wood with heat treatment. II. Effect of light-irradiation time and wavelength, *Holz als Roh- und Werkstoff* 62(1): 23-30.
- Mitsui K., Murata A., Tsuchikawa S., Kohara M. (2004) Wood photography using light irradiation and heat treatment. *Color Research and Application* 29(4): 312-316.
- Molnár S. (1976) Akácfanemesítés Pusztavacson. *Az erdő* 15(11): 490-492.
- Molnár S. (1998) Die technischen Eigenschaften und hydrothermische Behandlung des Robinienholzes, In: Molnár S (ed.): *Die Robinie Rohstoff für die Zukunft*. Stiftung für die Holzwissenschaft, Budapest. 50-63.
- Németh K. (1997) Faanyagkémia. Mg. Szaktudás Kiadó, Budapest. 55-80.
- Oltean L., Hansmann C., Nemeth R., Teischinger A (2010) Wood surface discolouration of three Hungarian hardwood species due to simulated indoor sunlight exposure, *Wood Research* 55 (1) 49-58
- Straze A., Gorisek Z. (2008) Research on colour variation of steamed Cherry wood (*Prunus avium L.*), *Wood Research* 52(2): 77-90.
- Sundqvist B., Morén T. (2002) The influence of wood polymers and extractives on wood colour induced by hydrothermal treatment, *Holz als Roh- und Werkstoff* 60(5): 375-376.
- Takáts P. (2000) Faanyag gőzölése, In: *Faipari kézikönyv Szerk. Molnár S Faip. Tud. Alapítvány, Sopron* 257-261.
- Todaro L., Zanuttini R., Scopa A., Moretti N. (2012) Influence of combined hydro-thermal treatments on selected properties of Turkey oak (*Quercus cerris L.*) wood, *Wood Science and Technology* 46(1-3): 563-578.
- Tolvaj L., Faix O. (1996) Modification of Wood Colour by Steaming, ICWSF ,96 Conference, (10-12 April) Sopron, 10-19.
- Tolvaj L., Horváth-Szováti E., Sáfár C. (2000) Colour modification of black locust by steaming, *Wood Research (Drevarsky Vyskum)* 45(2): 25-32.
- Tolvaj L., Molnár S., Takáts P., Varga D. (2004) Az akác (*Robinia pseudoacacia L.*) faanyag színének változása a gőzölési idő és hőmérséklet függvényében, *Faipar* 52(4): 9-14.
- Tolvaj L., Molnár S. (2006) Colour Homogenisation of Hardwood Species by Steaming, *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica* (2): 105-112.
- Tolvaj L., Molnár S., Takáts P., Németh R. (2006) A bükk (*Fagus silvatica L.*) faanyag fehér- és színes gesztje színének változása a gőzölési idő és hőmérséklet függvényében, *Faipar* 54(2-3): 15-20.
- Tolvaj L., Takáts P., Persze L. (2010) A vízgőz jelenlétének szerepe a faanyag színének 90 °C-os termikus kezeléssel történő változtatásakor, *Faipar* 58(1): 5-10.
- Tolvaj L., Papp G., Varga D., Lang E. (2012) Effect of Steaming on the Colour Change of Softwoods, *BioResources* 7(3): 2799-2808.
- Varga D., Van der Zee ME (2008) Influence of steaming on selected wood properties of four hardwood species, *Holz als Roh- und Werkstoff* 66(1): 11-18.
- Varga D., Németh R., Molnár S., Tolvaj L. (2009) Bükk (*Fagus silvatica L.*) faanyag színének homogenizálása gőzöléssel, *Faipar* 56(2): 20-27.

## Tölgy fafelületek néhány paraméterének vizsgálata megmunkálás után\*

PAPP Éva Annamária<sup>1</sup>, CSIHA Csilla<sup>1</sup>

<sup>1</sup>NymE SKK Terméktervezési és Gyártástechnológiai Intézet

### Kivonat

Faanyagok ragasztásakor és felületkezelésekor nagyon fontos szerep jut a nedvesítésnek. A faanyag nedvesíthetősége egyenes arányban áll a felületi feszültséggel, azaz minél nagyobb az anyag felületi feszültsége a folyadékhoz képest, annál jobban nedvesíti a folyadék a felületet. Jelen tanulmányban a fa felületi érdességének nedvesítésre, felületi feszültségre gyakorolt hatását vizsgáltuk, meghatároztuk, a gyakorlat számára is releváns érdesség tartományban. A kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) alapanyagot három különböző szemcsefinomságú (60, 80, 100) csiszolópapírral csiszoltunk, majd a mintatesteken felületi érdesség és felületi feszültség méréseket végeztünk. Míg a vizsgált felületek érdességében szignifikáns különbségeket tapasztaltunk, addig a felületi feszültség értékei egymáshoz igen közel állnak, a mért adatokban nem volt szignifikáns különbség. Feltételezzük, hogy az érdességnek ebben a tartományában az 5 µl űrtartalmú vízcepp a lokális érdesség durva felszínű viszonyai közepette túl nagy ahhoz, hogy 2-3-4 egymás mellé sorolódó érdesség csúcs adta érdességet kimutasson.

**Kulcsszavak:** tölgy faanyag, *Quercus petraea*, csiszolt fafelületek, peremszög, felületi feszültség, nedvesítés, felületi érdesség

## Investigation of some parameters of machined oak surfaces\*\*

### Abstract

OWetting and wettability are some of the most important influencing factors when bonding wood surfaces. Wettability is directly proportional to the surface tension and surface free energy, meaning that the higher the surface tension of the surface, the better the wettability. In the present study, we investigated the effect of wood surface roughness on the surface tension in a well-defined region of roughness that is used in the daily practice as well. Sessile oak (*Quercus petraea*) surfaces were prepared with three different sanding grit sizes (60, 80 and 100), and surface roughness and surface tension measurements were performed. While the surface roughness was significantly different depending on the grit size, surface tension values showed very little variation, without any significant differences. We assume that the 5 µl volume of the test liquid is too big relative to the roughness of the surface, and that 2 or 3 peaks of the roughness may be covered by the droplet without influencing its shape.

**Keywords:** oak wood, *Quercus petraea*, sanded wood surfaces, contact angle, surface tension, surface free energy, wetting, surface roughness

\*A kutatás a TÁMOP 4.2.4. A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

\*\* This research was supported by the European Union and the State of Hungary, co-financed by the European Social Fund in the framework of TÁMOP 4.2.4. A/2-11-1-2012-0001 'National Excellence Program'



## Bevezetés

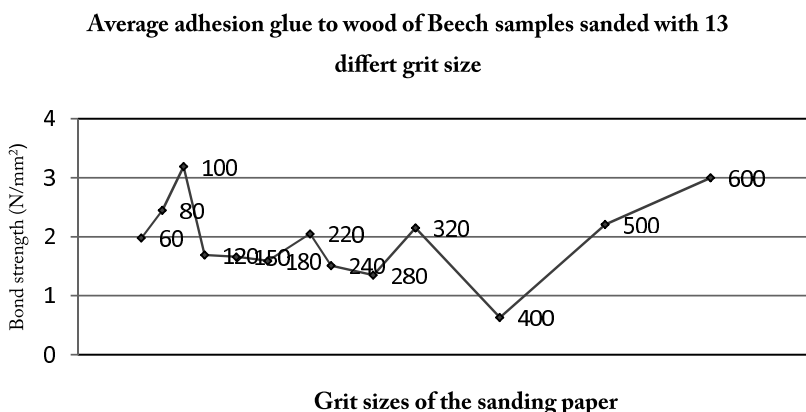
Faanyagok esetében a különböző megmunkálási eljárások során a fafelületek olyan változásokon mehetnek át, amelyek jelentős befolyásoló szereppel bírnak a faanyag későbbi felhasználásakor. Faanyagok ragasztásakor, valamint felületkezelésekor kiemelten fontos szerep jut a nedvesítésnek, amelynek a felületi energián túl a felületi érdesség is befolyásoló tényezője lehet. A tömörfa felületek felületi feszültsége a ragasztók és lakkok megfelelő nedvesítésének, illetve jó tapadásának egyik legfontosabb tényezője (Shuttleworth, 1950). A szilárd anyag felületi paraméterei közül – nedvesítés szempontjából – a felületi érdességnek, valamint a felületi feszültségnek nagyon fontos szerep jut. Nedvesítéskor a folyadék szilárd felülettel kerül kapcsolatba. A Young–Duprè-egyenlet alapján, amely a különböző közegek határán fellépő erők határfelületi feszültségének egyensúlyát írja le, elmondható, hogy minél nagyobb egy anyag felületi feszültsége, annál jobban nedvesíthető. River szerint a nedvesítés akkor lesz jó, ha a peremszög értéke nagyon alacsony vagy nullához közeli (River et al., 1991). Eddigi munkánk során különböző módon megmunkált faanyagok esetében kimutattuk, hogy különböző felületi érdességekhez különböző felületi feszültségek társulnak (Csiha és tsai., 2012).

Varga és Van der Zee (2008) kutatása alapján a víz és a faanyag közt mérhető peremszög fafajfüggő. 2005-ben végzett kutatásukban Gurau és tsai. megállapították, hogy a faanyagok felületi érdessége a mechanikai megmunkálástól nagymértékben függ (Gurau et al., 2005). Csiha és Gurau közös kutatásukban kifejtik, hogy egy ragasztó tapadásának felületi érdességtől való függése 3 különböző érdességtartományra bontható. Vizsgálatainkban 60–600-as szemcsefinomságú csiszolóvászonnal csiszolt bükk mintatesten vizsgáltuk az érdesség adhézióra gyakorolt hatását. Kutatásukban három, egymástól jól elkülönülő érdességtartományt határoztak meg (1. ábra). Az első tartomány 60-as és 100-as szemcsefinomság közt, a második 120 és 320 között, a harmadik pedig 400-as és 600-as szemcsefinomság közt határozható meg (Csiha, 2011). Az 1. ábrán jól látható, hogy az első érdességtartományban (60–100-as szemcsefinomság) a legalacsonyabb szakítószilárdság a 60-as, míg a legmagasabb szakítószilárdság érték a 100-as csiszolóvászonnal csiszolt mintákon mérhető, azonban határfelületi feszültséget nem mértek. Az érdességi tényező nedvesítésre gyakorolt hatásának megismerése fontos. Kutatásunkban a fent említett első érdességtartományt (60–100-as szemcsefinomság) vizsgáltuk a nedvesítés szemszögéből.

## A mérések kivitelezése

A mérések során alkalmazott mintatestek kialakítása

Méréseinkhez 6 db 200x40x20 mm méretű sugárvágott tölgy (*Quercus petraea*) próbatestet használtunk, melyek nedvességtartalma 10% volt. A gyalult felületeket megcsiszoltuk, ezzel biztosítva a vizsgálandó fafelületek egyenletes minőségét. A csiszolást kontakt csiszológépen végeztük 3 különböző szemcsefinomságú csiszolópapírral, 2-2 mintatesten. A szemcsefinomságok a következők voltak: 60, 80, illetve 100.



**1. ábra** A ragasztó és a faanyag közti adhézió átlaga különböző csiszolóvászonnal csiszolt bükk mintatestek esetén (vízszintes tengely: a csiszolószemcse finomsága, függőleges tengely: a ragasztási szilárdság értéke [N/mm<sup>2</sup>]) (Csiha, 2011)

**Figure 1** Average adhesion of glue to wood of beech samples sanded with 13 different grit sizes

## A felületi érdesség mérése

A felületi érdesség mérések megkezdésére a fafelületek csiszolását követően került sor. A méréseket Perthen S3P Perthometer tapintótűs érdességmérő készülékkel végeztük. A 3 különböző szemcsefinomságú csiszolópapírral (60, 80, 100) csiszolt minták felületén mintatestenként 5 szakaszon, szakaszonként 17,5 mm-en vizsgáltuk a felületi érdességet, minden esetben rostirányra merőlegesen. A mérések kiértékelésekor az  $R_z$  érdességi tényezőt alkalmaztuk, melynek meghatározását a 2. ábra szemlélteti.

## A felületi energia mérése

A nedvesíthetőség mértékének megállapítása céljából a csiszolt tölgy mintatestek felületén felületi feszültség méréseket végeztünk, mintatestenként 5 ponton, nyugvó csepp módszerrel, PC-re kapcsolt goniométerrel. A felületi energia mérések kivitelezése – alapos portalanítás után – a csiszolást követő 1 órán belül történt. A vizsgálatokhoz alkalmazott mérőfolyadék desztillált víz volt. Méréseink kivitelezéséhez PG-X goniométert használtunk, amely a mérések során egy 0,5 µl-es mérőfolyadék cseppet ejt a felületre, majd a csepp felszíne és a szilárd felület által bezárt peremszöget ( $\theta$ ) méri. A későbbiekben a felületi feszültség értékét a peremszögből számítottuk. Vizsgálataink során dinamikus mérési eljárást alkalmaztunk, amely során a készülék előre beállított számú mérést végez mindaddig, amíg a beépített érzékelő (a kamera által) peremszöget képes mérni. A kiértékelés során a csepp felületre érkezésétől számított 1 s-nál mért eredményeket dolgoztuk fel.

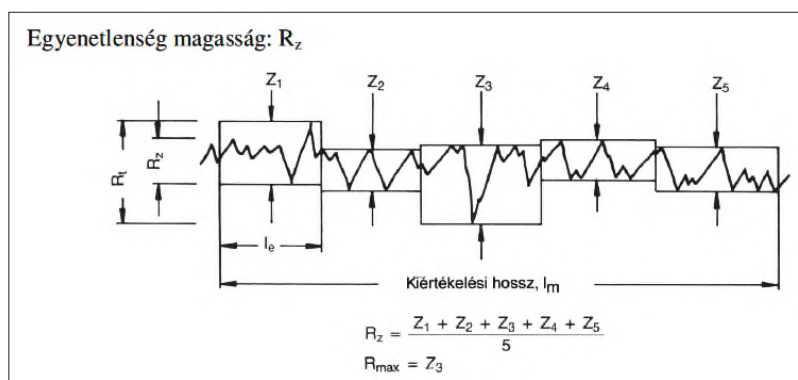
## Az eredmények értékelése

## A felületi érdesség mérése

A felületi érdesség mérések során a 60-as szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt mintatestek 10 mérési eredményből számított átlagos érdessége  $R_z=76,06 \mu\text{m}$  volt (1. táblázat). A 80-as papírral csiszolt mintákon átlagként  $R_z=61,55 \mu\text{m}$ -t kaptunk, a 100-as papírral csiszolt mintákon pedig  $R_z=44,04 \mu\text{m}$ -t. A legmagasabb érdesség értéket tehát a 60-as mintákon mértük, a legalacsonyabb értéket pedig a 100-as mintákon. Annak ellenére, hogy a mért szakaszok rendre nagy, átvágott edényeket tartalmaztak és így módon az érdesség mért értékei nem csak a megmunkálásból származó érdességet fejezik ki, a kapott adatok korrelálnak a szemcsefinomsággal. Korábbi tanulmányok (Gurau 2005, Kilic 2008, Csiha 2003) rámutattak, hogy az edények érdességi adatainak kiszűrése után tölgy fafajon jól mérhető az alapszöveti érdesség, amely az érdesség szempontjából viszonylag homogén szerkezetű bükk illetve nyír minták érdességével, illetve a szemcsefinomsággal jól korrelál.

## Felületi energia vs. felületi érdesség

Peremszög méréseink során a legmagasabb peremszög értékeket a 60-as szemcsefinomsággal csiszolt mintán mértük, ezek átlaga  $\theta_{60}=69,63^\circ$ . A 80-as papírral csiszolt mintán mért peremszög értékek átlaga  $\theta_{80}=68,50^\circ$ , a 100-as papírral csiszolt mintáé pe-

2. ábra Az  $R_z$  tényező meghatározása (Csiha, 2003)Figure 2 Definition of the  $R_z$  parameter

1. táblázat A 60-as, 80-as, illetve 100-as csiszolópapírral csiszolt mintán mért különböző paraméterek

Table 1 Various parameters of samples sanded with grit sizes 60, 80 and 100

A 60-as csiszolópapírral csiszolt mintán mért különböző paraméterek			
	Felületi érdesség ( $R_z$ ) [ $\mu\text{m}$ ]	Peremszög ( $\theta$ ) [ $^\circ$ ]	Felületi feszültség ( $\gamma$ ) [N/m]
átlag	76,06	69,63	39,87
szórás	4,82	8,79	3,18
minimum	69,73	56,90	34,78
maximum	83,45	83,70	44,48
A 80-as csiszolópapírral csiszolt mintán mért különböző paraméterek			
	Felületi érdesség ( $R_z$ ) [ $\mu\text{m}$ ]	Peremszög ( $\theta$ ) [ $^\circ$ ]	Felületi feszültség ( $\gamma$ ) [N/m]
átlag	61,55	68,50	40,28
szórás	3,09	9,74	3,53
minimum	57,14	46,40	36,12
maximum	67,01	80,00	48,28
A 100-as csiszolópapírral csiszolt mintán mért különböző paraméterek			
	Felületi érdesség ( $R_z$ ) [ $\mu\text{m}$ ]	Peremszög ( $\theta$ ) [ $^\circ$ ]	Felületi feszültség ( $\gamma$ ) [N/m]
átlag	44,04	70,86	39,42
szórás	2,56	6,83	2,47
minimum	40,76	63,20	35,17
maximum	47,89	82,60	42,20

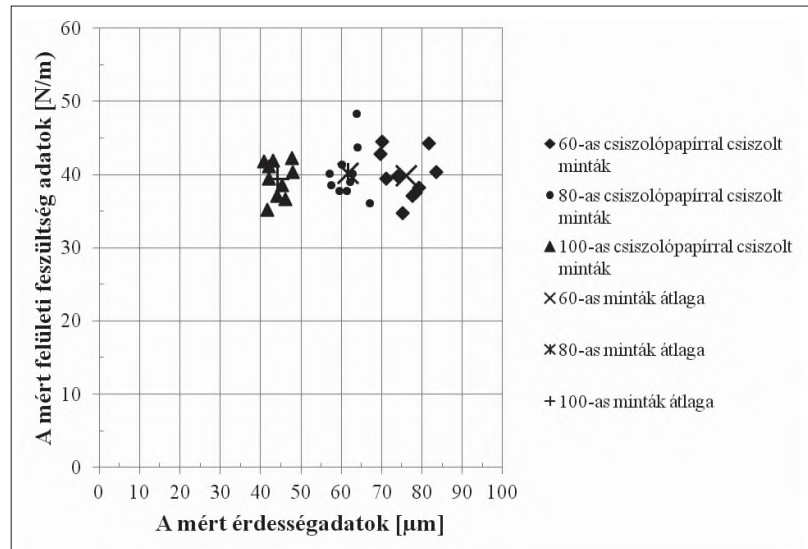
dig  $\theta_{100}=70,86^\circ$  volt. A peremszög fordítottan arányos a szilárd felület felületi feszültségével, azaz minél magasabb a peremszög értéke, a felületi feszültség értéke annál alacsonyabb, melynek az a magyarázata, hogy a folyadéksepp igyekszik a belső kohéziós erők hatására gömb alakot felvenni, ezáltal pedig elkerülni a felülethez való kapcsolódást. Vizsgálatunk során a legmagasabb felületi feszültség értékeket a 80-as csiszolópapírral csiszolt mintán kaptuk, értéke  $\gamma_{80}=40,28$  N/m. A legkisebb felületi feszültség értéket a 100-as mintán számoltuk,  $\gamma_{100}=39,42$  N/m. A 60-as minta felületi feszültsége átlagosan  $\gamma_{60}=39,87$  N/m, azonban míg a vizsgált felületek érdességében szignifikáns különbségeket mértünk ( $p=0,05$ ), addig a felületi feszültség értékei egymáshoz igen közel állnak, a mért adatokban nincs szignifikáns különbség ( $p=0,05$ ).

A választott csiszoló szemcse méretekhez jelentős érdességkülönbség tartozik, a kapott eredmény minden korábbi szakirodalmi adattal egyezik, azonban a különböző érdesség ellenére a fafelületek közel azonos felületi feszültség értékei nem egyeznek azzal a korábban publikált (Csiha, 2011) eredménnyel, hogy bükk fafajon a ragasztási szilárdság a 60-80-100 szemcsefinomságú csiszolás mellett növekedik. Ezt támasztja alá a 3. ábra is, amelyen nincs kimutatható összefüggés az érdesség és a felületi feszültség között. Egy másik vizsgálatsorozat (Papp és Csiha, 2013) kimutatta, hogy szignifikáns érdességkülönbség mellett szignifikáns különbség van a 120-as illetve 150-es vászonnal csiszolt minták felületi feszültségében, miközben hangsúlyozta a mért felületi feszültség értékek fafajfüggését.

A felületi feszültségek értékeinek stagnálása a felületek jelentősen eltérő érdességei mellett felvetette a folyadéksepp és a felületi mikrostruktúra méretarányának esetlegesen kedvezőtlen viszonyát. Korábbi ragasztási szilárdsági vizsgálatok (Csiha, 2011) felhívták a figyelmet arra, hogy az érdesség/tapadás viszony nem konzisztens; az érdesség három tartománya szerint a tapadásban három tendencia figyelhető meg. 60–100 szemcse tartományban az alapszövet viszonylag nagy érdessége dominál, és biztosítja nagy fajlagos felületével a mérhetően nagy (60-tól 100-ig növekvő) tapadást. Ugyanakkor, amint a jelen vizsgálatsorozat feltárta, az érdességnek ebben a tartományában az 5  $\mu\text{l}$  térfogatú vízcsepp a lokális érdesség durva felszíni viszonyai közepette túl nagy ahhoz, hogy 2-3-4 egymás mellé sorolódó érdesség csúcs adta érdességet kimutasson. A közeljövőben a vizsgálatok folytatásaként további méréseket tervezünk annak pontos kimutatására, hogy mind a nagyedényes tölgy, mind pedig egyéb viszonylag homogén szerkezetű, szórt likacsú fajokon mely csepp űrtartalom mellett célszerű felületi feszültség méréseket végezni.

### Összefoglalás

Kutatásunk során különböző szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt tölgy mintatestek felületi érdességét, illetve felületi feszültségét vizsgáltuk azért, hogy a felületi érdesség, a felületi feszültség, valamint a nedvesség közti kapcsolatot megérthessük (3. ábra). Míg a vizsgált felületek érdességében szignifikáns különbségeket mértünk ( $p=0,05$ ), addig a felületi feszültség értékei egymáshoz igen közel állnak, a mért adatokban nem volt szignifikáns különbség ( $p=0,05$ ). Az elvégzett vizsgálatok alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy az érdesség vizsgált tartományában az 5  $\mu\text{l}$  űrtartalmú vízcsepp a lokális érdesség durva felszíni viszonyai közepette túl nagy ahhoz, hogy 2-3-4 egymás mellé sorolódó érdesség csúcs adta érdességet kimutasson. További méréseket tervezünk a különböző érdességű fafelületek mérésére optimális desztillált víz cseppátmérő megállapítására.



3. ábra A felületi érdesség és felületi feszültség adatok ábrázolása

Figure 3 Surface roughness and surface tension values of different samples (x-axis: surface roughness, y-axis: surface tension)

**Köszönetnyilvánítás**

A kutatás a TÁMOP 4.2.4. A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

**Irodalomjegyzék**

- Csiha Cs. (2003) Faanyagok felületi érdességének vizsgálata P és R profilon, különös tekintettel a nagyedényes fafajokra. Doktori disszertáció, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron
- Csiha Cs., Gurau L. (2011) Study on the influence of surface roughness on the adhesion of waterbased PVAC. In: Proc. International Conference „Wood Science and Engineering” – ICWSE 2011. Brassó, Románia. 2011.11.02-04. 411-419 old.
- Csiha Cs., Papp É. A., Valent J. (2012) Feature of contact angle of ageing Beech and Birch surfaces. In: Proc, 5th Conference on Hardwood Research and Utilisation in Europe.. Sopron, Hungary. 2012.09.10-11. 41-49. old.
- Gurau L., Mansfield, Williams H., Irle M. (2005) Processing roughness of sanded wood surfaces. Holz als Roh und Werkstoff 63(1):43-52.
- Kilic M., Hiziroglu S., Güllü G., Sezgin Z. (2008) Influence of steaming on surface roughness of beech and sapele flooring material. Journal of material processing technology 199: 448-451.
- Papp É. A., Csiha Cs. (2013) Surface energy analysis of sanded and planed wood surfaces. In: Proceedings Science for sustainability, International Scientific Conference for PhD Students Győr, Hungary. 2013.03.19-20. 22-27. old.
- River B. H., Vick C. B., Gillespie R. H. (1991) Wood as an adherend. In: J. D. Minford ed. Treatise on Adhesion and Adhesives, Vol. 7. Marcell Decker, New York. 89-90 old.
- Shuttleworth R. (1950) The surface tension of solids. Proceedings of the Physical Society. Section A 63(5):444-457
- Varga D., Van Der Zee M. E. (2008) Influence of steaming on selected wood properties of four hardwood species. Holz als Roh- und Werkstoff 66 (1):11-18.

## Megemlékezés Matlák Zoltánról (1935-2014)

*Dr. Tóth Sándor*

2014. január 9-én, hosszan tartó betegség következtében, életének 79. évében elhunyt Matlák Zoltán, a kárpitos szakma elhivatott képviselője, fejlesztője és oktatója.

A bútorkárpitozás alapjait édesapja budapesti műhelyében sajátította el. Dolgozott a budapesti Kárpitosárugyárban, a Kárpitos és Díszítő Szövetkezetnél, a budapesti Bútoripari Vállalatnál, a Fa- és Papíripari Szövetkezetek Műszaki Fejlesztő Irodájánál. Hosszú ideig volt a KERMI Bútor-, Fa- és Sport-szeripari Osztályának vezetője. Dolgozott az Épületasztalosipari és Faipari Vállalatnál, majd a Bútorkereskedelmi és Minőségügyi Egyesülés egyik vezetőjeként.

Munkája mellett faipari technikus, faipari mérnöki oklevelet szerzett. 1964 óta tagja volt a Faipari Tudományos Egyesületnek. Ennek keretében 14 kárpitos továbbképző tanfolyamot szervezett, ahol előadásokat is tartott. Vezetőségi tagként szerepet vállalt az Egyesület Szövetkezeti, majd Bútoripari Szakosztályában, a Budapesti Szervezetben. Aktívan részt vett a Faipar c. szakfolyóirat szerkesztőbizottságában; a folyóiratban számos szacikke is megjelent. Szerepet vállalt a bútorigipari szabványosításban, minőségvédelemben és tanúsításban. Amíg egészsége engedte, részt vett a FATE Szenior Klub programjaiban. Tagja volt a Magyar Bútor- és Faipari Szövetség vezetőségének, a Budapesti Kereskedelmi és Iparkamarának.

Tevékenységeért a Faipari Tudományos Egyesülettől megkapta a Faipar Fejlesztéséért Emlékérmet, szakírói munkájáért a Lugosi Armand-díjat, a Bútorszövetségtől a Bútor- és Faiparért Emlékérmet, a FATE Örökös Tagja kitüntetést.

Társszerzője volt az 1984-ben megjelent Bútorkárpitozás c. szakkönyvnek, és több főiskolai jegyzetnek is. Az utóbbi évtizedből emlékezetes marad a Magyar Asztalos szakfolyóiratban megjelent Korszerű és hagyományos kárpitozás c. cikksorozata.

Matlák Zoltán a hazai bútorkárpitozási szakirodalom egyik megteremtője volt.

## A fahasznosítás nemzetközi helyzete figyelemmel a gazdasági válság időszakára (2007–2012) \*

RÉBÉK-NAGY Péter<sup>1</sup>, BÖRCSÖK Zoltán<sup>1</sup>, MOLNÁR Sándor<sup>1</sup>

<sup>1</sup> NymE SKK Innovációs Központ

### Kivonat

A Föld hengeresfa-felhasználása a gazdasági válság előtt 2007-ben 3,559 milliárd m<sup>3</sup> volt. Ez a mennyiség 7,42%-kal csökkent 2009-re. A gazdasági világválság markáns hatással volt Észak-Amerika, enyhébben Európa és Óceánia fagazdaságára. A vizsgált 2012. évi adatok szerint a világ fagazdasága kifelé tart a válságból. Fontos megjegyezni, hogy Európa és Észak-Amerika még mindig nem közelítette meg a 2007. évi, válság előtti időszakot. A faanyag hasznosításának csökkenése negatív hatással van a klímavédelemre, mivel a faanyag képes megkötni és tárolni a CO<sub>2</sub>-t.

**Kulcsszavak:** hengeresfa-termelés, hengeresfa-fogyasztás, gazdasági válság

## The state of international wood utilization in the period of the economic crisis (2007-2012)

### Abstract

In 2007, before the economic crisis, the consumption of the roundwood was 3.559 billion m<sup>3</sup>. By 2009, that quantity was reduced by 7.42%. The economic crisis has had a significant effect on the wood production of North America, and a more moderate one on that of Europe and Oceania. According to the examined data, as of 2012, the world's wood production is starting to get out from the crisis. It is important to note that neither Europe's nor North America's consumption yet approach the level it was before the year 2007, prior to the crisis. Because wood is able to absorb and store the carbon-dioxide, the reduction of wood utilization has a negative impact on climate protection.

**Keywords:** roundwood production, roundwood consumption, economic crisis

### Bevezetés

A FAO adatai alapján áttekintettük földrészenként a hengeresfa-kitermelés alakulását 2007–2012 között (FAO 2012). A fakitermelés mennyisége minimális különbséggel megfelel a fahasznosítás értékének, mivel világátlagban az export és az import mennyisége közel azonos, de az adatbázisok furcsasága miatt mégsem teljesen azonos (!) (1. táblázat).

Az alapvető célunk az volt, hogy bemutassuk, mennyire érintette a fagazdasági szektort a gazdasági világválság. Az adatok értékelésekor azt is szem előtt kell tartanunk, hogy a fahasznosítás visszaesése egyúttal a szénmegkötés mérséklődését is jelenti.

Ebben a tanulmányban nem kívánjuk részletezni az erdőterület változásának jellemzését, de azt kötelességünk aláhúzni, hogy még jelenleg is évente 0,1%-kal csökken Földünk erdőszülsége. Ez a csökkenés a trópusi Latin-Amerika, Afrika és Délkelet-Ázsia erdőirtásainak köszönhető. 2010-ben Földünk 4033 millió hektár erdővel rendelkezett, ez pedig a szárazföld 31%-ának felel meg (FAO 2012b). Pozitív folyamatként kell említenünk az ültetvényes fagazdálkodás gyors fejlődését. Ez hozzájárul a faellátás elősegítése mellett a természetes erdők védelméhez is.

\* A tanulmány a "TÁMOP-4.2.2-A-11/1/KONV-2012-0068 Környezettudatos energia-hatékony épület" című pályázat keretében jött létre.

### Fakitermelés, a hengeresfa kereskedelmi forgalmazása és felhasználása (2007–2012)

Földünkön a fakitermelés a 20. század utolsó évtizedéig folyamatosan és dinamikusan növekedett. 1950-ben elérte az 1,5 milliárd m<sup>3</sup>-t, 1960-ra meghaladta a 2 milliárd, 1970-re a 2,8 milliárd, 1980-ra a 3,1 milliárd m<sup>3</sup>-t. 1990-re eljutott a mai szintre, túllépett a 3,5 milliárd m<sup>3</sup> határon. Ez a növekedési tendencia egyaránt összefüggött a lakosság lélekszámának emelkedésével, és az ipari termelés fejlődésével (Molnár 2004, Wagenführ 2007).

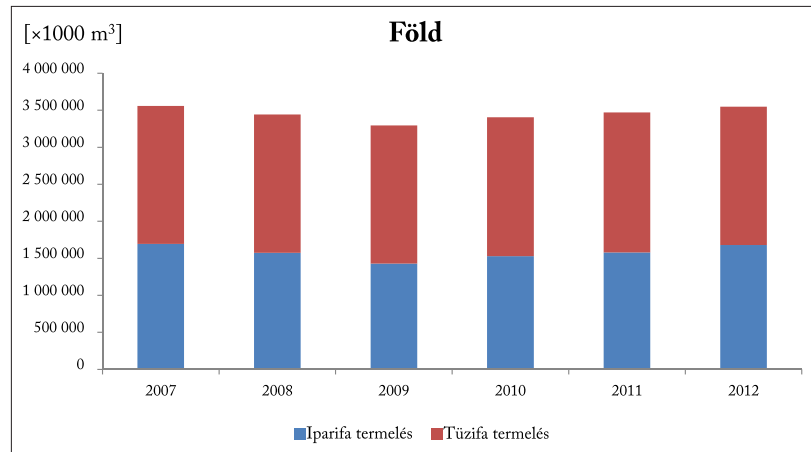
Az 1980-as évektől a fával konkuráló anyagok (műanyag, fémek) jól használták ki az erdőterület csökkenését megállítani akaró zöld mozgalmak működését. Így számos területen mérséklődött a fafogyasztás. Nem kívánunk most ökológiai elemzésekbe bocsátkozni, de az erdőterület-csökkenés elsősorban nem a fafogyasztás növekedésével, hanem az infrastruktúra (út, vasút stb.) fejlesztésével, a legeltetéssel és a különböző ipari ültetvények létesítésével áll összefüggésben. A környezetbarát faanyag felhasználásának csökkentésére való törekvés ökológiai szempontból erősen téves (Molnár 2011). Az elmúlt évek adatainak értékelésével arról is képet kapunk, hogy globálisan milyen hatása volt a fagazdasági ágazatra a gazdasági világválság (1. táblázat). A hengeresfa-felhasználás, vagyis a teljes fafogyasztás ábrázolása látványosan mutatja, hogy a mélypont 2009-ben volt és 2012-re megközelítettük a válság előtti állapotot (1. ábra).

A 2007-ről 2009-re történő 270 millió m<sup>3</sup> (7,5%) hasznosítási visszaesés határozottan mutatja a válság jeleit a fagazdaságban is. Megjegyezzük, hogy ez a visszaesés kimondottan az ipari-fa feldolgozást érintette, mert a tűzifa-fogyasztásban inkább enyhe növekedés volt megfigyelhető. A vizsgált időszakban a tűzifa-felhasználás 1864–1889 millió m<sup>3</sup>, az ipari fáé pedig 1429–1586 millió m<sup>3</sup> közötti tartományban változott. Nem feledkezhetünk meg arról sem, hogy a fatermék-gyártás és a faenergetika fontos szerepet játszanak a klímavédelemben is. Így a fafelhasználás csökkenése negatív, a növekedése pedig pozitív hatású a CO<sub>2</sub> kibocsátásra. S bár a hosszú távú szénmegkötésben csak az ipari fa játszik szerepet, a tűzifa helyettesítési és ezzel szén-dioxid kibocsátást csökkentő potenciálja is jelentős, ezért elemzésünkben mindkét faanyagtípust figyelembe vettük (lásd még Molnár 2011).

**1. táblázat** A világ hengeresfa-termelése, felhasználása (FAO 2012a, FAO 2013)

**Table 1** Roundwood production and consumption of the world

Év	Ezer m <sup>3</sup>					
	Hengeresfa-termelés			Hengeresfa-forgalom		Hengeresfa-felhasználás
	Összes	Fenyő	Lombos	Import	Export	
2007	3 559 221	1 279 412	2 279 809	142 530	137 935	3 563 815
2008	3 442 773	1 165 395	2 277 378	120 626	119 175	3 444 223
2009	3 294 931	1 059 841	2 235 090	96 318	98 146	3 293 103
2010	3 405 676	1 142 448	2 263 228	117 184	111 163	3 411 697
2011	3 469 379	1 171 117	2 298 262	129 191	122 663	3 475 907
2012	3 547 965	1 176 333	2 371 632	125 307	119 720	3 553 552



**1. ábra** A világ hengeresfa (tűzifa és ipari-fa) felhasználása

**Figure 1** Roundwood (fuelwood and industrial wood) consumption of the world

## A hengeresfa-felhasználás földrészenkénti alakulása 2007–2012, ezer m<sup>3</sup>

A 2–7. ábrák oszlopdiagramjain szemléltetjük a hengeresfa-felhasználás földrészenkénti változásait.

### Afrika

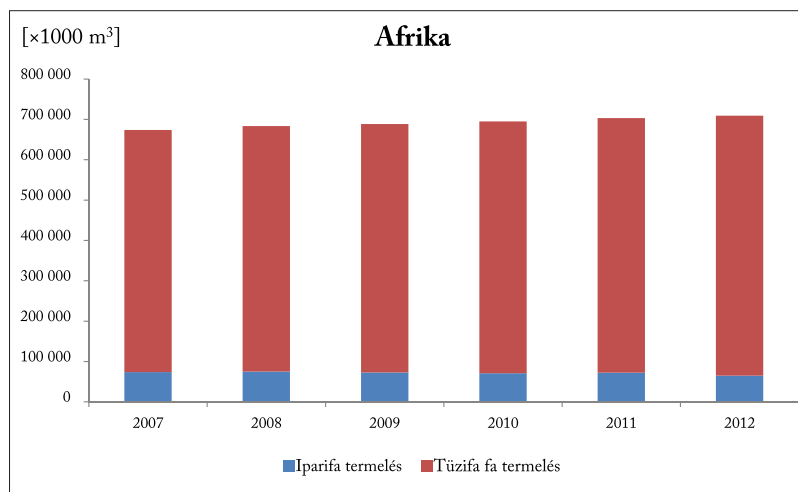
Afrika fagazdaságát a válság látványosan nem érintette (2. ábra), mivel folyamatosan növekedett a fafogyasztás. E földrész alapvető sajátossága, hogy a legfontosabb energiaforrás a faanyag. Így a kitermelt fa kb. 90%-a energetikai célokat szolgál (elsősorban tűzifa). Újabb törekvés a faültetvények több célú hasznosítása (pl. gyógyszer, élelmiszer) az „Agroforestry” program keretében.

### Észak-Amerika

Észak-Amerikát a válság jelentősen sújtotta (3. ábra), mivel 2009-re 24%-os visszaesés volt tapasztalható. Jelentősen (10%-kal) mérséklődött az export is, 27%-kal csökkent a fenyőkitermelés 2009-re. A válság előtti szinttől a fafelhasználás még ma is elmarad. Mivel Észak-Amerikában az építkezések jelentős része fa könnyűszerkezetes épületek építését jelenti, így a jelentkező hitelezési válság az építőipart, és ezen keresztül a fafelhasználást jelentősen visszaszorította. Észak-Amerikában a fafogyasztáson belül a tűzifa részaránya meglepően szerény, mindössze 10% körüli, ami főként annak köszönhető, hogy az USA fosszilis energiahordozókkal jól ellátott, ennél fogva viszonylag olcsó, így a biomasza energetikai célú felhasználása nem jelentős.

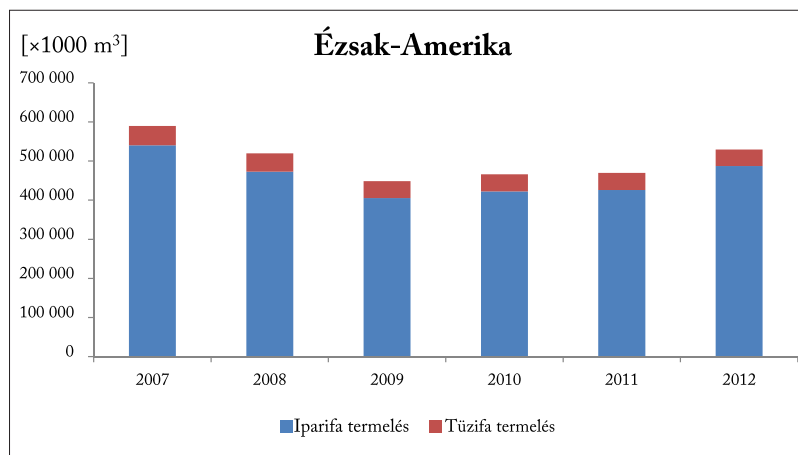
### Latin-Amerika

Latin-Amerikában hasonló folyamat tapasztalható, mint Afrikában: a fafelhasználás enyhe, folyamatos növekedést mutat (4. ábra). A trópusi fák exportja azonban 2007-ről 2009-re 1/3-ra zsugorodott. A tűzifa arány itt is magas, közel 60%. Pozitív latin-amerikai folyamat az ültetvényes fagazdálkodás gyors fejlődése: a trópusi tájakon jellemző a karibi fenyő (*Pinus caribaea*), a földrész déli részén pedig a Monterey fenyő (*Pinus radiata*) telepítése.



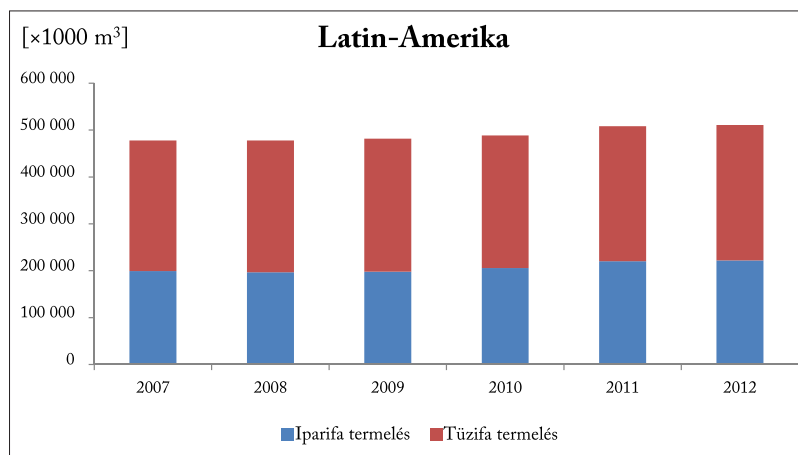
2. ábra A világ hengeresfa (tűzifa és ipari-fa) felhasználása

Figure 2 Roundwood (fuelwood and industrial wood) consumption of the world



3. ábra Észak-Amerika hengeresfa (tűzifa és ipari-fa) felhasználása

Figure 3 Roundwood (fuelwood and industrial wood) consumption in North America



4. ábra Latin-Amerika hengeresfa (tűzifa és ipari-fa) felhasználása

Figure 3 Roundwood (fuelwood and industrial wood) consumption in Latin America



### Ázsia

Ázsia földünk legnagyobb és a fagazdaság szempontjából legszélsőségesebb földrésze. A válság jelei elsősorban a fejlettebb országokban jelentkeztek, de 2009-re a visszaesés mindössze 23 millió m<sup>3</sup> volt a fafogyasztásban (5. ábra). Ennek a földrésznek a jellemzőit elsősorban Kína, majd India, Japán és Indonézia fagazdasága határozzák meg. India földünk legnagyobb tűzifa-felhasználója, Kína fa- és papíripara pedig dinamikusan fejlődik. Ugyancsak Kína rendelkezik ma a legnagyobb faültetvényekkel. Ezen a földrészen is jelentős a tűzifa-felhasználás részaránya (71–73%).

### Európa

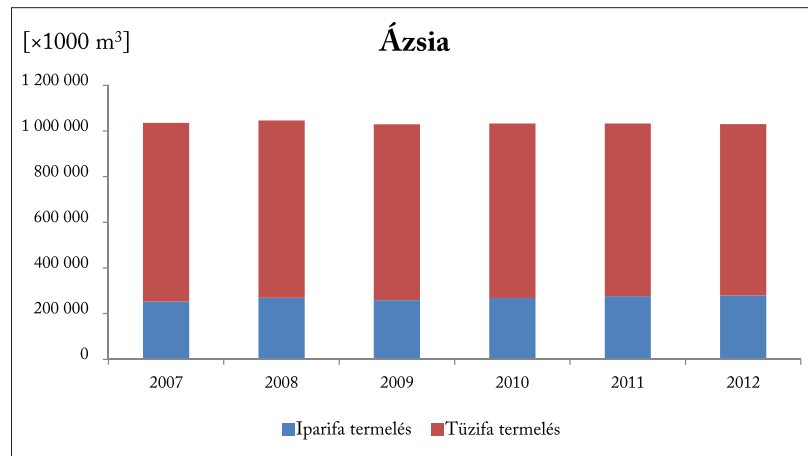
Európa kimagasló fahasznosítási adatai (6. ábra) részben annak köszönhetőek, hogy Oroszország Urálon túli (ázsiai) jellemzői is itt kerülnek bemutatásra. Európában hasonló folyamat figyelhető meg, mint Észak-Amerikában. A legkisebb fafogyasztás 2009-ben volt. A válság hatására a külkereskedelmi forgalom mintegy 30%-kal mérséklődött. A válság elsősorban az iparifa-felhasználást érintette. A földrész ipari fa és tűzifa fogyasztási aránya átlagosan 80:20%. A 2012. évi adatok azt mutatják, hogy Európa fagazdasága még nem lábalt ki a válságból.

### Óceánia

Óceánia fagazdaságát Ausztrália mellett elsősorban Új-Zéland határozza meg. Ezen országokat az ültetvényes fagazdálkodás fejlettsége (*Pinus radiata*) jellemzi. A 2009. és a 2012. év fafogyasztása volt a legmérsékeltőbb (7. ábra). Megjegyezzük, hogy mindamelllett Óceánia faki-termelése 2012-re már meghaladta a 2007. évit, így a belső fogyasztás csökkenése az erősen megnövekedett exporttal magyarázható.

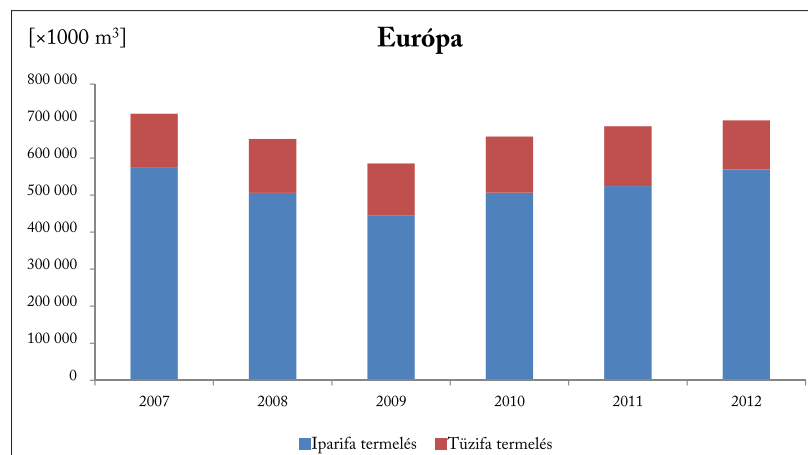
### Magyarország

Magyarországon a faipar válsága már 2007-es évet megelőző időszakban is jelentkezett, de a mélypontot szintén 2009-ben értük el (8. ábra). Ez elsősorban az iparifa-felhasználás jelentős mérséklődésével állt kapcsolatban. A 2010. és 2011. évi kiemelkedő fafogyasztás egyértelműen a tűzifa iránt megnövekedett kereslettel



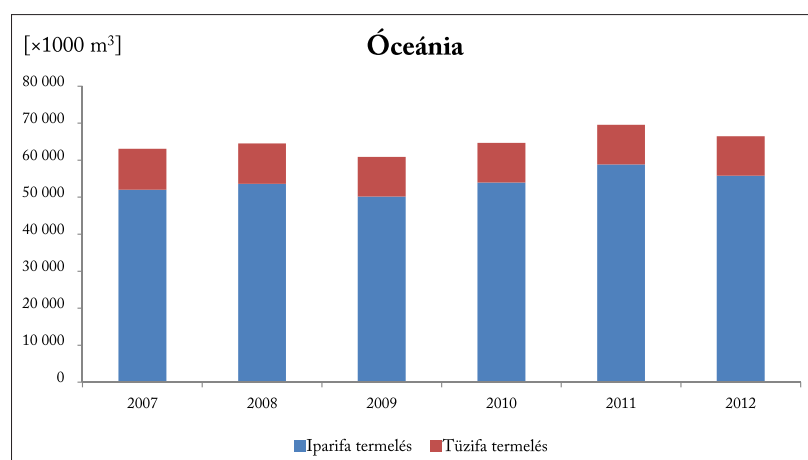
**5. ábra** Ázsia hengeresfa (tűzifa és ipari-fa) felhasználása

**Figure 5** Roundwood (fuelwood and industrial wood) consumption in Asia



**6. ábra** Európa hengeresfa (tűzifa és ipari-fa) felhasználása

**Figure 6** Roundwood (fuelwood and industrial wood) consumption in Europe



**7. ábra** Óceánia hengeresfa (tűzifa és ipari-fa) felhasználása

**Figure 7** Roundwood (fuelwood and industrial wood) consumption in Oceania

magyarázható: 2996 és 2863 ezer m<sup>3</sup> volt a tűzifa-felhasználás. Európán belül a magyarországi tűzifa-fogyasztás az összes hengeresfa-felhasználáshoz viszonyítva kimagasló (56–59%), ez azzal függ össze, hogy a lombos erdők aránya Magyarországon 85% körüli, európai szinten pedig kb. 38% (27% elegenden lombos erdő, 23% pedig fenýő elegenden lombos erdő).

### Összefoglalás

Földünk erdősültsége 2010-ben 31% volt, ami 4,033 milliárd hektár erdőnek felel meg. A trópusi országoknak köszönhetően az elmúlt tíz évben átlagosan 0,1% volt az évenkénti erdőterület csökkenés. Pozitív jelenség az ültetvényes fagazdálkodás fejlődése: az 1990. évi 178 millió hektárról 2010-re 264 millió hektárra növekedett az ültetvények mennyisége (FAO 2011b).

Fafogyasztásunk hengeresfa egyenértékben a válság előtti 2007-es évben 3,564 milliárd m<sup>3</sup>. Ezen érték 2009-re 7,5%-kal mérséklődött. A gazdasági válság markánsan érzékeltette hatását Észak-Amerika, valamint szerényebben Európa és Óceánia fagazdaságában. A vizsgált adatok szerint 2012-re a világ fagazdasága kilábal a válságból. Megjegyezzük, hogy Európa és Észak-Amerika azonban még továbbra sem közelíti meg a válság előtti állapotot.

A fák CO<sub>2</sub> megkötése és tárolása miatt a csökkenő fafelhasználás negatív hatású a klímavédelemre (Molnár 2011), mivel a különböző faanyagok, fatermékek, fatárgyak 50%-ban szén-tárolnak, és előállításukhoz jóval kevesebb energiát igényelnek, mint pl. a fém és műanyag termékek.

Meggyőződésünk, hogy a nemes szépségű, megújuló faanyag fokozottabb felhasználásának – mind ökológiai, mind gazdasági szempontból – stratégiai jelentőséget kell nyernie.

### Irodalomjegyzék

FAO (2012a): State of the World's Forests 2012. FAO, Róma. ISBN 978-92-5-107292-9

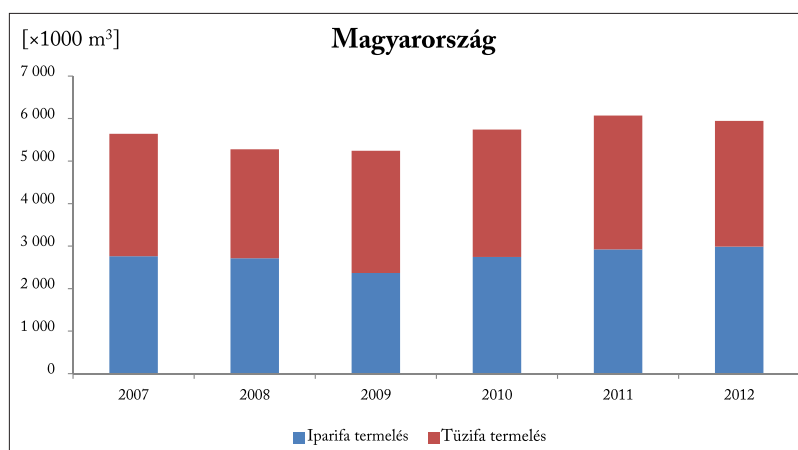
FAO (2012b): FAOSTAT 2012. Internetes adatbázis. (<http://faostat.fao.org/site/626/default.aspx#ancor>)

FAO (2013): Forest products 2007–2011. FAO Forestry Series No. 46., FAO Statistics Series No. 202. FAO ISBN 978-925-007-590-7

Molnár S. (2004) Faanyagismeret, Szaktudás Kiadóház Bp. ISBN 978-963-955-317-0

Molnár S. (szerk.) (2011) Örök társunk a fa. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron. ISBN 978-963-334-009-7

Wagenführ R. (2007) Holzatlas. Fachbuchverlag, Leipzig. ISBN 978-344-640-649-0



**8. ábra** Magyarország hengeresfa (tűzifa és ipari-fa) felhasználása

**Figure 8** Roundwood (fuelwood and industrial wood) consumption in Hungary

# Lakóépület fűtési energiaigényének modellezése

Dr. KARÁCSONYI Zsolt<sup>1</sup>, Dr. HANTOS Zoltán<sup>2</sup>

<sup>1</sup>NymE SKK Műszaki Mechanika és Tartószerkezetek Intézet

<sup>2</sup>NymE SKK Építéstani Intézet

## Kivonat

Az épületek energiafelhasználása napjainkban központi kérdés az Európai Unióban és Magyarországon egyaránt. A tervek szerint 2021-től csak közel nulla energiafogyasztású épületeket lehet építeni. Magyarországon az épületek energiafelhasználása adja a teljes energiafogyasztás 50–60%-át (ez egyes források szerint 40%, pontosan megbecsülni nagyon nehéz). Az épületek fűtési energiaszükséglete a teljes energiafogyasztás mintegy 40%-át teszi ki. Egy épület üzemelése során a fűtés, a meleg víz, a hűtés és a szellőztetés használ fel energiát – a világítás energiaigényét lakóépületek esetén elhanyagoljuk. Az adatok és a tapasztalat is azt mutatja, hogy a magyarországi épületállomány nagyon rossz állapotban van energetikai, elsősorban hőszigetelési szempontból.

Egy épület energiafelhasználását két tényező befolyásolja: az épületszerkezetek hőtechnikai minősége és az épületgépészeti rendszerek hatékonysága. E cikk a hatályos számító eljárások alkalmazásával kívánja modellezni és összehasonlítani különböző épületszerkezetű épületek fűtési energiaigényét. Ehhez egy átlagos lakóépület szolgál alapul. A belső lehűlő felületekhez különböző külső térelhatároló szerkezeteket rendelünk hozzá. Az épület egyszerű geometriájából adódóan a külső falak és a zárófödém szerkezetét változtattuk. Kiszámítottuk a rétegtervi hőátbocsátási tényezőket, az éves fűtési energiaszükségletet és az ehhez szükséges földgáz és tűzifa mennyiségét.

A fa könnyűszerkezetes épület esetében ~25%-kal alacsonyabb a fűtés energiaigénye, mint a hagyományos téglalapú épületek esetében.

**Kulcsszavak:** energia, fa bordavázás épület, könnyűszerkezetes épület, fűtési energiaigény

## Modelling the heating requirements of a residential building

### Abstract

Nowadays, the energy consumption of buildings is an important theme in the European Union and in Hungary. According to the EU directive, only zero energy buildings are to be built after the year 2020. The energy consumption of buildings amount to about 50–60% of the total energy consumed in Hungary. Their heating consumes about 40% of the same. During the operation of a building, heating, cooling, hot water generation and the ventilation requires energy. The energy consumed by lighting is negligible. Hungarian buildings are in poor technical condition, mainly in terms of energy and thermal insulation. Two different factors affect energy efficiency of buildings: thermal insulation, and the efficiency of the HVAC systems.

The study introduced in this article is based on modelling and comparing the heating energy requirements in different building structures, based on updated calculations. The calculations are based on an 'average' residential building using various wall structures. The building geometry is similar, while the cold wall and upper slab is varied accordingly. Thermal transmittances, heating energy and natural gas and firewood consumption are calculated. The heating energy is about 25% lower in timber frame buildings, than in traditional masonry structures.

**Keywords:** energy, wood frame house, heating energy

## Bevezetés

Magyarországon 1965 óta kell az épületeket és épületszerkezeteket hőtechnikai szempontból méretezni. Az akkori előírásokat az elmúlt évtizedekben többször módosították. A méretezési eljárások mai formáját (7/2006. TNM. rendelet, 2014) az európai uniós direktívák előírásainak és más tagállamokban érvényes előírásoknak megfelelően alakították ki. A 7/2006. évi TNM rendelet első változata 2006. szeptember 1-je óta hatályos, azóta immár két alkalommal is módosították.

Az egyes épületszerkezetek rétegtervi hőátbocsátási tényezőinek meghatározásában jelentős változások nem történtek a korábbi számítási eljárásokhoz képest. A követelményeket azonban szigorították. Az elmúlt tíz évben számos cikk – Hantos és Karácsonyi (2007), Hantos és Karácsonyi (2009), Varga (2011), Kocsis (2011), Kocsis (2012), Varga (2012) – jelent meg a különböző épületszerkezetek  $U$  hőátbocsátási tényezőinek a számításáról, a követelményeknek való megfeleltetéséről. Mind új építésű épületek, mind meglévő épületek külső térelhatároló szerkezeteinek hőtechnikai méretezését vizsgálják a szakirodalomban és tanulmányokban. Az utóbbi években az egyik leggyakrabban felvetődő kérdés, hogy meddig gazdaságos a szigetelés alkalmazása, milyen vastagságban kell azokat alkalmazni, mennyi a megtérülési idő.

Az Európai Unió energiastratégiájának részét képezi, hogy 2021-től csak közel nulla energiafogyasztású lakóépületet lehet építeni. Egy régi, 2006 előtt épült épület energiafelhasználásában jelentős hányadot tesz ki a fűtés. Emiatt az elsődleges cél, hogy ezen a területen lépünk előre. Minden külső térelhatároló szerkezetnek külön-külön meg kell felelnie az előírásoknak. A szigorú követelmények teljesítésében a fa tartószerkezetű épületelemek, a rendszerint rétegesen felépülő fa tartószerkezetes térelhatároló szerkezetek is nagyon fontos szerepet játszanak. Ezek közül a hagyományos, téglalapítású épületek esetében a beépített tetőteret határoló szerkezetek, míg a fa bordaváz, könnyűszerkezetes épületek esetében a fal-, a zárófödém- és tetőszerkezetek  $U \left( \frac{W}{m^2 K} \right)$  rétegtervi hőátbocsátási tényezőinek a megfelelősége az energiahatékonyság alapja.

E cikk összehasonlító számításokat, modellezéseket mutat be a hőveszteségekre és a fűtési energiaigényekre vonatkozóan új építésű lakóépület esetében. Tartalmazza a fajlagos hőveszteség-tényező ( $q$ ) és fűtési energiaigény ( $Q_p$ ) meghatározását a hatályos előírások (MSZ EN ISO 6946 /2008/ és 7/2006. TNM. rendelet /2014/) szerint. A fűtési energiaszükségletet több tényező befolyásolja: az épület tájolása, az egyes külső térelhatároló szerkezetek rétegtrendjei, a belső hőnyereség. Két különböző építési rendszer alkalmazását feltételeztük a mintaépület esetében. A nyílászárókat és a padló rétegtrendjét állandónak tekintettük, a külső tértől elválasztó fal és zárófödém rétegtrendjeit változtattuk meg.

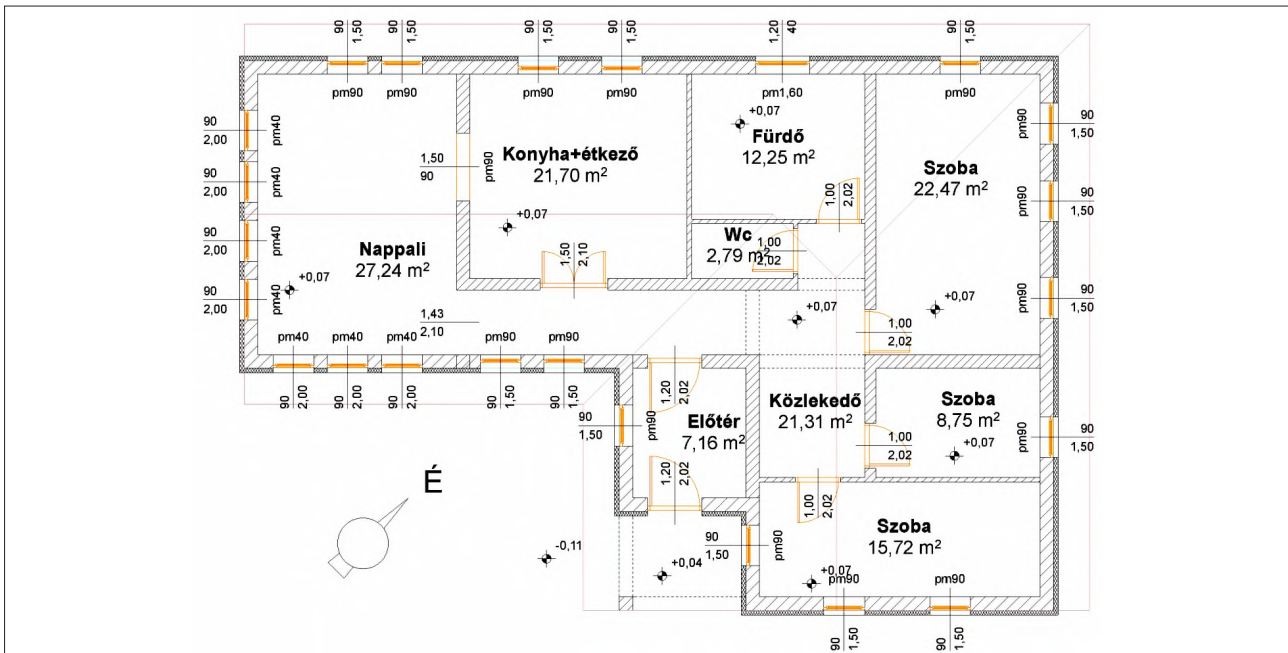
## A mintaépület bemutatása, feltételezett épületszerkezeteinek ismertetése, a rétegtervi hőátbocsátási tényező számítása

A mintaépület egy 140 m<sup>2</sup>-es, déli tájolású családi ház (1. ábra). Az alaprajz L alakú, az utcaszintről a fedett bejárat előtti belépőre érkezünk, ahonnan a lakás nyílik. Az előtérből a közlekedőbe lépünk, ahonnan minden helyiséget meg lehet közelíteni: a déli fekvésű nappalit, a délkeleti szobát, az északnyugati szobákat, az északi konyhát és fürdőt, illetve a wc-t. Az épület tetőszerkezetének hajlásszöge 45°. Az épület nincs alapincézve, minden helyiséget a zárófödém zár le. Az épületet energetikai szempontból határoló felületek a padlósíkok, a külső tértől elválasztó falak, és a zárófödém. A rétegtrendeket a 2–4. ábrák mutatják be.

Az első esetben egy könnyűszerkezetes épület épületszerkezeteit mutatjuk be. A falszerkezet (2. ábra) tartószerkezeti váza 5x20 cm bordaváz, melyek között megfelelő sűrűségű hőszigetelő anyaggal töltjük ki. Kétoldalt merevítő burkolat van. A belső oldalon faalapú lemez (OSB vagy forgácslap), a külső oldalon faalapú lemez vagy gipszrost lap található. A külső oldalon helyezkedik el a homlokzati hőszigetelő rendszer, amire a külső oldali vékonyvakolat kerül. Belső oldalon a merevítő lemezre kerül fel a hőreflexiós légzáró fólia, amit szakszerűen végeknél toldanak. Ezután rögzítik a gépészeti rendszerek szerelő lécvázat, amit gipszkarton lapokkal burkolnak.

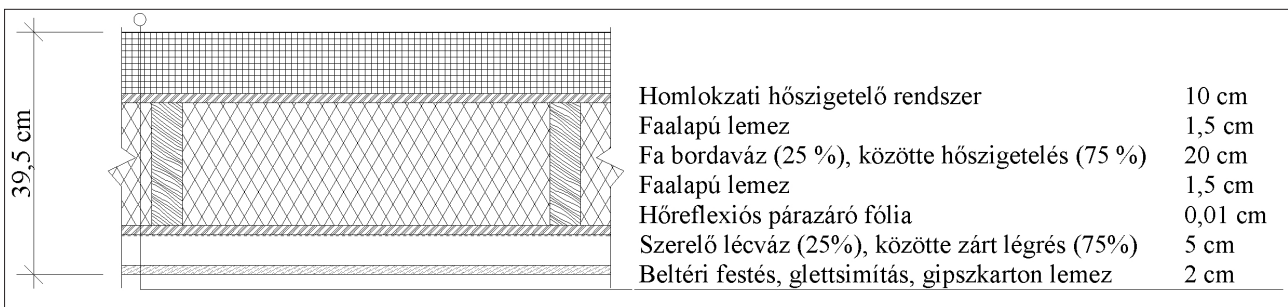
A zárófödém (3. ábra) hasonló: a tartószerkezeti váz 5x20 cm fogópárokból áll, közötté hőszigetelés van. Alsó oldalon a hőreflexiós légzáró fóliát, szerelő lécvázat, közötté zárt légréssel és gipszkarton burkolatot, felső oldalon faburkoló lemezeket és lépésálló hőszigetelést építettek be.

A padló rétegtrendje (4. ábra) a következő: a járófelület alatt aljzatbeton és technológiai szigetelés található, ami alá lépésálló hőszigetelést, bitumenes vízszigetelést, szerelt vasbeton aljzatot és kavicságyat építettek be. A



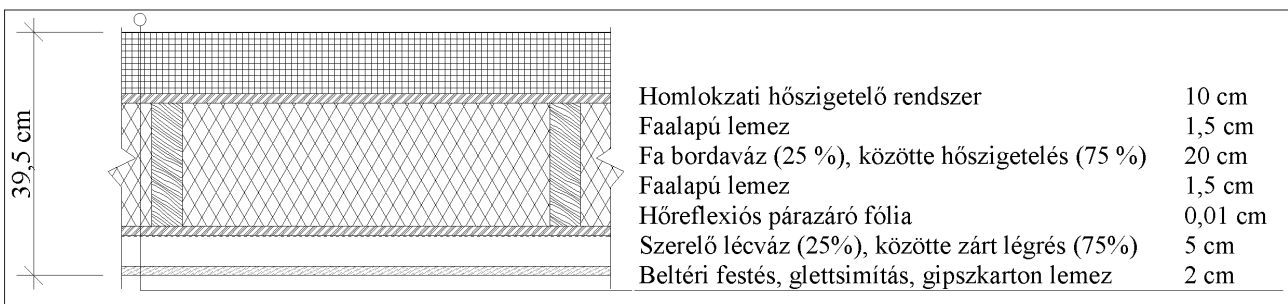
**1. ábra** A mintaépület alaprajza

**Figure 1** The floor plan of the modelled building



**2. ábra** A fa bordaváz, könnyűszerkezetű fal metszete

**Figure 2** A fa bordaváz, könnyűszerkezetű fal metszete



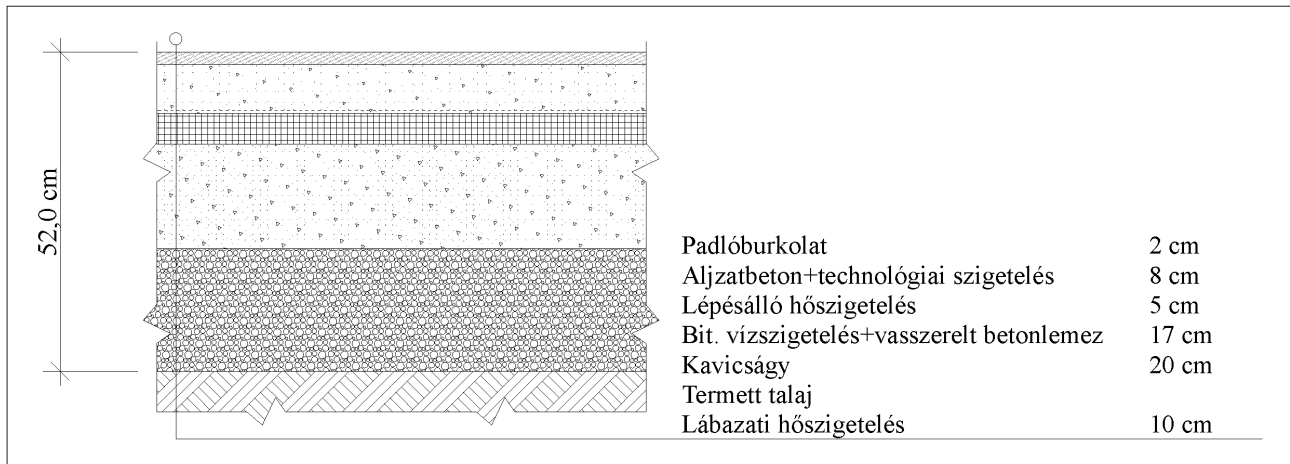
**3. ábra** A fa bordaváz, könnyűszerkezetű födém metszete

**Figure 3** The section of the lightframe upper slab

réteg  $U$  hőátbocsátási tényezőjét a lábazon beépített lábazati hőszigetelés csökkenti, ezt figyelembe vehetjük a padló rétegrendjében.

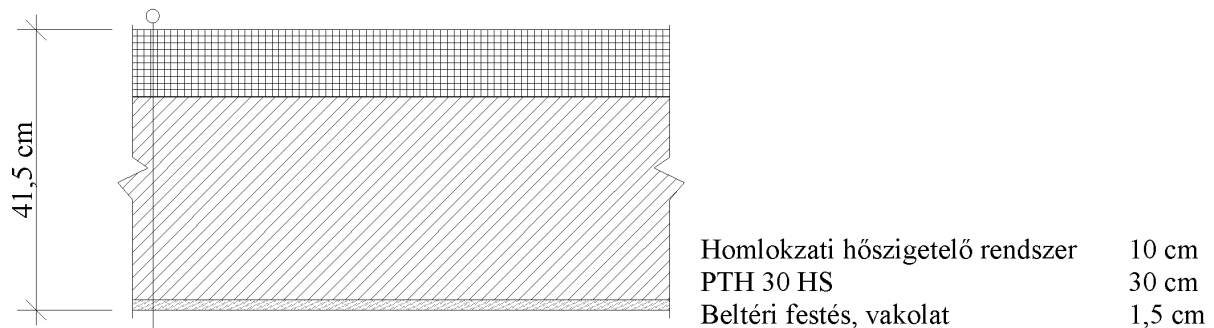
A második esetben a vázkerámia falazatú és előre gyártott gerendákkal épülő, kerámia béléstestű födémrendszer épület külső térelhatároló szerkezeit mutatjuk be. A falszerkezet (5. ábra) Porotherm 30 HS téglafalazat, belső oldalon vakolattal, külső oldalon homlokzati hőszigeteléssel.

A zárófödémeket az építési rendszerhez tartozó Porotherm födémgerendák, a hozzájuk tartozó béléstestek és felbeton alkotják az alsó oldalon vakolattal, felső oldalon lépésálló hőszigeteléssel és faburkoló lemezekkel. A padló rétegrendje megegyezik a könnyűszerkezetű épület padlójának a rétegrendjével.



**4. ábra** A padló metszete

**Figure 4** The section of the floor



**5. ábra** A téglafal metszete

**Figure 5** The section of the masonry wall

#### Az egyes szerkezetek U rétegtervi hőátbocsátási tényezőjének meghatározása számítással

A számítás alapja a rétegtendekben szereplő anyagok  $\lambda$  hővezetési tényezője és a réteg  $d$  vastagsága. Ezen kívül figyelembe kell venni a felületi hőátadási tényezőket és a szigetelések beépítése, rögzítése miatti veszteségeket.

$$U = \frac{1}{R_T} + \Delta U_g + \Delta U_f \quad [1]$$

ahol:

$$U \quad - \quad \text{rétegtervi hőátbocsátási tényező } U \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right),$$

$$R_T \quad - \quad \text{eredő hővezetési ellenállás } \left( \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right),$$

$$\Delta U_g \quad - \quad \text{hőátbocsátási korrekciós tényező - hőszigetelő anyag beépítése során keletkező légrés miatti veszteség } U \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right),$$

$$\Delta U_f \quad - \quad \text{hőátbocsátási korrekciós tényező - hőszigetelő anyag beépítése, rögzítése (dübel) során keletkező veszteség miatt } U \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right).$$

A hővezetési ellenállás számítása:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_n + \dots + R_{se} \quad [2]$$

ahol:

$$R_{Si} \quad - \quad \text{belső felületi ellenállás} \left( \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right),$$

$$R_{Se} \quad - \quad \text{külső felületi ellenállás} \left( \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right),$$

$$R_n \quad - \quad \text{tételhatároló szerkezet egyes rétegrendi elemeinek hővezetési ellenállása} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \left( \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right).$$

Az egyes rétegek hővezetési ellenállásának számítása:

$$R_n = \frac{d_n}{\lambda_n} \quad [3]$$

$$d_n \quad - \quad \text{rétegrendi elem vastagsága} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (\text{m}),$$

$$\lambda_n \quad - \quad \text{rétegrendi elem hővezetési tényezője} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \left( \frac{\text{W}}{\text{mK}} \right).$$

A hővezetési ellenállás meghatározása során figyelembe kell venni, hogy egyes rétegek nem homogén felépítésűek. Erre vonatkozóan a szabvány /MSZ EN ISO 6946 (2008)/ részletes útmutatásokat ad. A kalkulációban korábbi számításokra – Hantos Z., Karácsonyi Zs. (2007); Hantos Z., Karácsonyi Zs. (2009) – alapozva veszünk fel az inhomogén rétegekre súlyozott hővezetési tényezőt, és homogénnek tekintjük azokat.

Az 1. táblázatban a könnyűszerkezetes épület külső falszerkezet, a 2. táblázatban a zárófödém, a 3. táblázatban a padló rétegrendi jellemzőit és  $U$  hőátbocsátási tényezőit tüntettük fel.

A 3. táblázatban a téglapépület külső falszerkezetének, az 4. táblázatban a zárófödémjének rétegrendi jellemzőit és  $U$  hőátbocsátási tényezőit foglaltuk össze. A padló rétegrendje és rétegtervi hőátbocsátási tényezője nem változik a könnyűszerkezetes épületéhez képest.

#### A fajlagos hőveszteség-tényező ( $q$ ) számítása

A külső tértől elválasztó épületszerkezetek belső felületeinek, rétegtervi és vonal menti hőátbocsátási tényezőinek, illetve a geometriai hőhidak figyelembevételével a fajlagos hőveszteség-tényezőt számíthatjuk ki az alábbi összefüggéssel (7/2006. TNM. rendelet, 2014):

$$q = \frac{\sum A \cdot U \cdot (1 + \chi) + \sum l \cdot \psi - \frac{Q_{sd}}{72}}{V} \quad [4]$$

ahol:

$$q \quad - \quad \text{fajlagos hőveszteség-tényező} \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^3\text{K}} \right),$$

$$A \quad - \quad \text{épületszerkezet belső lehűlő felülete} \quad (\text{m}^2),$$

$$U \quad - \quad \text{épületszerkezet rétegtervi hőátbocsátási tényezője} \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right),$$

$$\chi \quad - \quad \text{a geometriai hőhidak hatását kifejező korrekciós tényező},$$

$$l \quad - \quad \text{épületszerkezet vonal menti hőhidjának hossza} \quad (\text{m}),$$

$$\psi \quad - \quad \text{épületszerkezet vonal menti hőátbocsátási tényezője} \left( \frac{\text{W}}{\text{mK}} \right),$$

$$Q_{sd} \quad - \quad \text{direkt sugárzási hőnyereség az üvegezett felületeken} \quad (\text{W}),$$

$$V \quad - \quad \text{az épület fűtött léghőköbmétere} \quad (\text{m}^3).$$

Valamennyi külső tértől elválasztó, külső, hideg levegővel érintkező épületszerkezet (fal, ajtó-ablak, zárófödém) belső felületét szorozni kell a rá jellemző, geometriai hőhidhatással korrigált hőátbocsátási tényezővel.

**1. táblázat** Könnyűszerkezetű külső fal  $U$  rétegtervi hőátbocsátási tényezőjének számítása**Table 1** Calculation of the heat transmission coefficient ( $U$ ) in a lightframe external wall

Rétegtrend	$\lambda$ (W/mK)	d (cm)	U (W/m <sup>2</sup> K)
Beltéri festés, glettsimítás, gipszkarton lemez	0,30	2	0,14
Szerelő lécváz (25%), közötté zárt légrés (75%)	0,26	5	
Hőreflexiós párazáró fólia	0,20	0,01	
Faalapú lemez	0,20	1,5	
Fa bordaváz (25%), közötté hőszigetelés (75%)	0,06	20	
Faalapú lemez	0,20	1,5	
Homlokzati hőszigetelő rendszer	0,04	10	
Fűtetlen terek hőmérséklet szerinti módosító tényező:	1,00		
$R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,13		
$R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,04		

**2. táblázat** Könnyűszerkezetű zárófödém  $U$  rétegtervi hőátbocsátási tényezőjének számítása**Table 2** Calculation of the heat transmission coefficient ( $U$ ) in a lightframe upper slab

Rétegtrend	$\lambda$ (W/mK)	d (cm)	U (W/m <sup>2</sup> K)
Beltéri festés, glettsimítás, gipszkarton lemez	0,30	2	0,13
Szerelő lécváz (25%), közötté zárt légrés (75%)	0,26	5	
Hőreflexiós párazáró fólia	0,20	0,01	
Faalapú lemez	0,20	1,5	
Födempallók (20%), közötté hőszigetelés (80%)	0,06	20	
Faalapú lemez	0,20	3	
Lépésálló hőszigetelés	0,04	10	
Fűtetlen terek hőmérséklet szerinti módosító tényező:	0,90		
$R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,10		
$R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,04		

**3. táblázat** Padló  $U$  rétegtervi hőátbocsátási tényezőjének számítása**Table 3** Calculation of the heat transmission coefficient ( $U$ ) of the floor

Rétegtrend	$\lambda$ (W/mK)	d (cm)	U (W/m <sup>2</sup> K)
Padlóburkolat	0,30	2	0,21
Aljzatbeton+technológiai szigetelés	1,65	8	
Lépésálló hőszigetelés	0,04	5	
Bit. vízszigetelés+vasszerelt betonlemez	2,00	17	
Kavicságy	0,35	20	
Termett talaj			
Lábazati hőszigetelés	0,04	10	
Fűtetlen terek hőmérséklet szerinti módosító tényező:	1,00		
$R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,13		
$R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,04		

A külső térrel nem teljes felületen, csak jó közelítéssel egy vonal mentén „érintkező” épületszerkezetek (padló) esetében a vonal menti hőátbocsátási tényezőt kell szorozni a csatlakozó épületszerkezetek élének a hosszával. Előbbiek összegzéséből az üvegezett felületek energianyereségét levonjuk.

Az 5. táblázatban a könnyűszerkezetes épület, a 6. táblázatban a vázkerámia falazatú épület  $q$  fajlagos hőveszteség-tényezőinek a számítását foglaltuk össze.



**A fűtés éves hőenergia igényének ( $Q_F$ ) számítása**

A fűtés éves hőenergia igényét a fajlagos hőveszteség-tényező, az előírt légcserre és a belső hőnyereségek figyelembe vételével határozhatjuk meg (7/2006. TNM. rendelet, 2014):

$$Q_F = 72 \cdot V \cdot \sigma \cdot (q + 0,35 \cdot n) - 4,44 \cdot A_N \cdot q_b \quad [5]$$

ahol:

$$Q_F \quad - \quad \text{éves nettó fűtési energiaigény} \left( \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right),$$

$$q \quad - \quad \text{fajlagos hőveszteség-tényező} \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^3 \text{K}} \right),$$

$$A_N \quad - \quad \text{nettó fűtött alapterület} (\text{m}^2),$$

$$n \quad - \quad \text{átlagos légcsereszám a fűtési időben} \left( \frac{1}{\text{h}} \right),$$

$\sigma$  – a szakaszos üzemvitel hatását kifejező korrekciós szorzó

$V$  – az épület fűtött légköbmétere ( $\text{m}^3$ ),

$$q_b \quad - \quad \text{a belső hőterhelés fajlagos értéke} \left( \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right).$$

Ez alapján:

– a könnyűszerkezetes épület  $Q_F$  éves fűtési hőenergia igénye:  $Q_F = 7532 \left( \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right) = 27115$  (MJ),

– a vázkerámia falazatú épület  $Q_F$  éves fűtési hőenergia igénye:  $Q_F = 10191 \left( \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right) = 36688$  (MJ).

**4. táblázat** Tégla külső fal  $U$  rétegtervi hőátbocsátási tényezőjének számítása**Table 4** Calculation of the heat transmission coefficient ( $U$ ) in an external masonry wall

Rétegrend	$\lambda$ (W/mK)	d (cm)	U (W/m <sup>2</sup> K)
Beltéri festés, vakolat	0,80	1,5	0,23
PTH 30 HS	0,17	30	
Homlokzati hőszigetelő rendszer	0,04	10	
Fűtetlen terek hőmérséklet szerinti módosító tényező:	1,00		
$R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,13		
$R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,04		

**5. táblázat** Porotherm zárófödém  $U$  rétegtervi hőátbocsátási tényezőjének számítása**Table 5** Calculation of the heat transmission coefficient ( $U$ ) in a porotherm upper slab

Rétegrend	$\lambda$ (W/mK)	d (cm)	U (W/m <sup>2</sup> K)
Beltéri festés, vakolat	0,80	1,5	0,30
PTH födémrendszer	0,85	23	
Lépésálló hőszigetelés	0,04	10	
Faburkoló - merevítő lemez	0,20	1,5	
Fűtetlen terek hőmérséklet szerinti módosító tényező:	0,90		
$R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,10		
$R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,04		

A földgáz ( $F_{fgáz} = 34,8 \left( \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \right)$ ) és a fa ( $F_{fa} = 12,0 \left( \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} \right)$ ,  $\rho_{fa} = 500 \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$ ) átlagos fűtőértékét figyelembe

véve, éves szinten a könnyűszerkezetes épület kifűtéséhez  $\sim 779 \text{ m}^3$  földgázra vagy  $\sim 4,5 \text{ m}^3$  tűzifára, a vázkerámia falazatú épület esetében  $\sim 1054 \text{ m}^3$  földgázra vagy  $6,1 \text{ m}^3$  tűzifára van szükség.

### Összefoglalás

A két különböző típusú épület külső térelhatároló szerkezeteinek hőátbocsátási tényezői között jelentős,  $\sim 30\text{--}50\%$ -os eltérés mutatkozik. A könnyűszerkezetes épület éves fűtési energiaszükséglete annyival kevesebb ( $\sim 25\%$ ), amennyivel több hőszigetelés került a rétegrendbe; a tartószerkezeti vázban, a bordák és földemgrendák között is van hőszigetelés, szemben a téglalapítású épülettel. Ezt a különbséget a vázkerámia falazatú épület esetében a külső/felső oldali hőszigetelések vastagságának a növelésével lehet kiegyenlíteni, azonban ez a rétegrendi vastagság jelentős növekedésével jár(hat).

Energetikai szempontból a könnyűszerkezetes építési technológia további előnyöket is kínál. Azon túl, hogy a tartószerkezeti váz elemei között is hőszigetelő anyagot lehet beépíteni, a könnyűszerkezetű épület-elemeknél (fal, földem vagy a tető) a rétegrendbe, a hőszigetelés elé belső oldalon egy párazáró réteg beépítése szükséges. Ez egy vékony fólia, aminek a felülete lehet hőreflexiós tulajdonságú. Ez által jelentős hőmennyiség az épület falain belül tartható, mivel a hő sugárzás formájában is terjed. Radiátoros fűtési rendszerek esetén a hőleadás módja  $80\text{--}90\%$ -ban hőáramlás, konvekció útján,  $10\text{--}20\%$ -ban hőszugárzás formájában történik. Ennek a sugárzás formájában terjedő hőnek jelentős része így visszaverődik, és a helyiségben lévő embereket, tárgyakat melegíti.

Energiafelhasználás szempontjából további hőnyereség érhető el, ha egy könnyűszerkezetes technológiájú épületet a megfelelő fűtési rendszerrel látunk el. Padló és/vagy falfűtéseknel a hőleadás  $30\text{--}50\%$ -ban hőszugárzás

### 6. táblázat A könnyűszerkezetű épület fajlagos hővesztesség-tényezőjének számítása

Table 6 Calculation of the heat loss coefficient of the lightframe building.

	A (m <sup>2</sup> )	U·(1+γ) (W/m <sup>2</sup> K)	A·U·(1+γ) (W/K)	Σ (W/K)	V (m <sup>3</sup> )	Q <sub>sa</sub> /72 (W <sup>2</sup> )	q (W/m <sup>3</sup> K)
Fal	111,2	0,18	20,02	118,77	369	17,38	0,27
Földem	140,0	0,14	19,60				
Ablak	35,9	1,30	46,67				
l (m)	Ψ (W/mK)	l·Ψ (W/K)					
Padló	56,0	0,58	32,48				

### 7. táblázat A vázkerámia falazatú épület fajlagos hővesztesség-tényezőjének számítása

Table 7 Calculation of the heat loss coefficient of the masonry building.

	A (m <sup>2</sup> )	U·(1+γ) (W/m <sup>2</sup> K)	A·U·(1+γ) (W/K)	Σ (W/K)	V (m <sup>3</sup> )	Q <sub>sa</sub> /72 (W <sup>2</sup> )	q (W/m <sup>3</sup> K)
Fal	111,2	0,29	32,25	157,6	369	17,38	0,38
Földem	140,0	0,33	46,20				
Ablak	35,9	1,30	46,67				
l (m)	Ψ (W/mK)	l·Ψ (W/K)					
Padló	56,0	0,58	32,48				

**8. táblázat** Eredmények összefoglalása**Table 8** The summary of the results

	Könnyűszerk. épület	Vázkerámia falazatú épület
$U_{fal}$ -fal rétegtervi hőátbocsátási tényezője (W/m <sup>2</sup> K)	0,14	0,23
$U_{födém}$ -födém rétegtervi hőátbocsátási tényezője (W/m <sup>2</sup> K)	0,13	0,30
$Q_F$ -éves nettó fűtési energiaigény (kWh/a)	7532	10191
$V_{földgáz}$ -éves fűtési földgáz mennyiség (m <sup>3</sup> )	779	1054
$V_{tűzifa}$ -éves fűtési tűzifa mennyiség (m <sup>3</sup> )	4,5	6,1

formájában történik, így további hőnyereséget eredményez a hőreflexiós réteg beépítése. Jelenleg a gyakorlatban ezt a sugárzásos hőnyereséget ritkán, vagy egyáltalán nem veszik figyelembe a szakemberek.

**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.

**Irodalomjegyzék**

- Európai Szabványügyi Bizottság (2008) Magyar Szabvány, MSZ EN ISO 6946, Épületszerkezetek és épületelemek. Hővezetési ellenállás és hőátbocsátás. Számítási módszer (ISO 6946:2007),
- Hantos Z., Karácsonyi Zs. (2007) Fa bordavázás épület hőátbocsátási tényező számítása, Faipar, 55(1-2):28-32.
- Hantos Z., Karácsonyi Zs. (2009) A hőátbocsátási tényezők számítása egy fa bordavázás épület esetén II., Faipar, 56(2):5-10.
- Hantos Z. (2008) Fa bordavázás lakóépületek energetikai minősítési módszere, és alkalmazása fejlesztési célokra. Doktori értekezés, NymE, Sopron.
- Kocsis L. (2011) Utólagos lábazati hőszigetelés – II. rész. Építéstechnika, 49(5): 32.
- Kocsis L. (2012a) Változó rétegfelépítésű épülethatároló szerkezetek hőátbocsátása – I., Építéstechnika 50(4): 24-25.
- Kocsis L. (2012b) Változó rétegfelépítésű épülethatároló szerkezetek hőátbocsátása – II., Építéstechnika, 50(5-6):16-19.
- Magyar Közlöny Lap- és Könyvkiadó Kft. (2014) 7/2006. TNM. rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról,
- Varga T. (2011) Beépített tetőtérak hőszigetelése, Építéstechnika, 49(4):38.
- Varga T. (2012) Energetikai viszonyok, Építéstechnika 50(12):22-23.
- Zöld A. (1985) Hővédelem. In: Fekete I. szerk. Épületfizikai kézikönyv. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 15 - 197. old.

## FATE Kitüntetések 2013-ban



**Dr. Józsa Jenő**

faipari gépészmérnök,  
c. egyetemi tanár

*A Faipar Fejlesztéséért  
Emlékérem*

Józsa Jenő a régi újpesti Faipari Technikumban érettségizett, majd 1955-ben technikus oklevelet is szerzett. Tanulmányait állami ösztöndíjasként a brassói Műszaki Egyetemen folytatta, ahol 1960-ban faipari gépészmérnöki diplomát szerzett.

Első munkahelyén, a csongrádi Tisza Bútoripari Vállalatnál kerek 20 évig töltött be különböző vezetői munkaköröket, az utolsó öt évben a vállalat főmérnöke volt.

A gyáregység, majd a nagyvállalat közvetlen termelésirányítása mellett kezdeményezője és irányítója volt számos vállalati technológiai fejlesztési terv kidolgozásának és megvalósításának, továbbá az ún. elemes konyhabútorok nagyüzemi gyártása megvalósításának. 1969–72 között elvégezte az aspirantúrát, s 1975-ben megszerezte a műszaki tudományok kandidátusa tudományos fokozatot.

A Faipari Tudományos Egyesület Csongrád megyei szervezetébe 1960-ban lépett be, ahol tevékenységét több tanulmány készítése, előadások tartása, vetélkedők szervezése, stb. fémjelezte. A FATE-ban megyei vezetőségi tag, majd később az országos Oktatási Bizottság vezetője volt.

Csongrádon 4 évig oktatta a szakmai tantárgyakat a kihelyezett esti faipari technikumban.

1980-ban a könnyűipari miniszter kinevezte a Bútoripari Fejlesztési Intézet (BIFI) igazgatóhelyettesének. Az intézet szakmai tevékenységét öt évig irányította, majd megbízást kapott a

Bútoripari Koordinációs Társaság (BKT) főmérnöki feladatainak ellátására. Ezt a munkakört 1990-ig, a társaság megszűnéséig töltötte be.

A BIFI-nél és a BKT-nál eltöltött tíz év alatt – a számos jelentős szakágazati és vállalati fejlesztési tanulmány, beruházási program, technológiai terv, elemzés stb. készítése, kezdeményezése, koordinálása és közvetlen irányítása mellett – ő képviselte a bútortipart a felsőbb irányító szervezetek és országos innovációs szervezetek (minisztériumok, Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság, stb.) bútortipart érintő műszaki fejlesztésre vonatkozó tevékenységében (tanulmányok, fejlesztési programok, szakágazati öt éves tervek, stb.).

Számos szakmai cikket publikált a Faipar hasábjain és külföldi folyóiratokban. A szakmai tudományos konferenciák rendszeres előadója volt. Társ szerzője a 2002-2003-as kiadású Faipari kézikönyv II. és III. kötetnek. Bírálója és értékelő bizottsági tagja több kandidátusi és egyetemi doktori értekezésnek.

1990-től – a magyar bútortipari, az olasz faipari gépgyártási ismereteire és kapcsolataira és olasz nyelvtudására építve – a New-Wiat Kft.-ben olasz faipari gépek importjának szakmai megalapozását célzó programjavaslatok, vállalati fejlesztési koncepciók, beruházási programok, technológiai tervek kidolgozását, vevő ajánlati gépismertető készítését végezte. Koordinátorként és tolmácsként közreműködött a beruházási tárgyalásokon. 1995-ben vonult nyugdíjba, de 2008-ig ugyanezt a tevékenységet végezte önálló vállalkozóként, mint bejegyzett szakértő.

A Nyugat-magyarországi Egyetem Szenátusától 2008-ban magas szintű szakmai tevékenysége elismeréseként megkapta a címzetes egyetemi tanár címet.

**Kiss Éva**

művészettörténész

*Lugosi Armand-díj*

Kiss Éva Budapesten született, diplomáját 1968-ban szerezte meg az Eötvös Loránd Tudományegyetem Bölcsészettudományi Karán, magyar–művészet-történet szakon.

Munkahelyei:

- Petőfi Irodalmi Múzeum és Szépművészeti Múzeum (1969–78)
- Iparművészeti Múzeum, muzeológus a bútorosztályon (1978–1992)
- Budapesti Történeti Múzeum, Kiscelli Múzeum bútorgyűjteménye (1992–2001)
- 1992-től tanít a Magyar Képzőművészeti Egyetem díszlet- és jelmeztervező szakán, valamint a Magyar Iparművészeti Egyetem építész tanszékén
- KREA Kortárs Művészeti Iskola (akkreditált, OKJ-s középfokú és felsőfokú képzés)
- ART Veresegyházi Oktatási Stúdió (lakberendezési ismeretek, 1990-től)

Tantárgyai: bútortörténet/bútorstílus-történet, enteriörtörténet, környezetkultúra.

Kutatási területe: a 19–20. század bútorművészete, és a környezetalakításban meghatározó iparművészet.

Kiss Éva tucatnyi kiállítás rendezője volt itthon és külföldön egyaránt. A kiállítások ismertetésére részletes kiállítási katalógust írt önállóan vagy munkatársaival közösen. A kiállítások mindegyike szorosan

kötődött a bútor- és a lakberendezés történetéhez, jelentős tervezőkhöz, bútorkészítőkhöz. Tematikájuk kidolgozása alapos és precíz kutatómunka eredménye. (reprezentatív felsorolás alább).

Publikációi az általa művelt kutatási területek, tantárgyak, és az általa rendezett kiállítások tárgyköriében születtek, szinte évről évre. Kiemelkedő jelentőségűek ezek közül

- Száz év formatan (Várdai Szilárd, Gróh István, Simay Imre, Muhits Sándor, Kacziány Aladár, Fáy Aladár, Kaesz Gyula oktatási módszerének bemutatása), a Magyar Iparművészeti Főiskola kiadványa, 1999 (tanulmány)
- Kaesz Gyula (1897–1967) Budapest, 2000 (monográfia)
- Kaesz Gyula belsőépítészeti reformja. In: A magyar művészképzés reform, alternatív és progresszív műhelyiskolái. Magyar Iparművészeti Egyetem, 2002
- Magyar Művelődéstörténeti Lexikon (MAMÜL) Balassi Kiadó és az MTA közös szerkesztésében, kb. 5 ív bútorcímszó
- Bútorművészeti Lexikon, szerkesztette: Kiss Éva. Corvina Kiadó, 2005 (A lexikon munkálataiban, a Faipari Mérnöki Kar munkatársai is részt vettek.)
- Lakás és bútor 1920–1948 között, Cser Kiadó, 2010 (A korszak berendező művészetét elemző kötet.)

Kiss Éva szakirodalmi munkásságát, azon belül a magyarországi bútortervezők és bútorgyártók két világháború közötti munkásságát feltáró és bemutató eredményeit a FATE vezetése kiemelkedő jelentőségűnek ítéli. Kiss Éva művészettörténészt ezért a Dr. Lugosi Armand emlékére alapított, s a faipar területén kiemelkedő szakírói munkásságért adható díjra méltónak találta.

**Dr. Orbay Péterné**

okleveles faipari mérnök

*Szabó Dénes-díj*

Dr. Orbay Péterné 1967-ben végzett az Erdészeti és Faipari Egyetem faipari mérnöki karán. Első munkahelye a Videoton veszprémi rádió és televízió kávégyár volt. Öt év után a székesfehérvári Garzon Bútorgyár létrejöttékor Székesfehérvárra költöztek férjével együtt, ahol 1981-ig termelési osztályvezetői beosztásban dolgozott. Vezetésével jött létre az első bútoripari sorozatgyártásra kidolgozott termelésirányítási rendszer. 1981-től a Bútoripari Fejlesztési Intézet soproni csoportjának vezetőjeként dolgozott tovább. A

csoport a bútoringazgatás számára technológiai, szervezési, minőségbiztosítási tanulmányokat készített.

1987-től az egyetem Bútor- és Épületasztalos-ipari Tanszékére került, ahol új tantárgyakat dolgozott ki, amelyek megalapozták a karon a termékfejlesztési, minőségbiztosítási és ergonómiai tárgyak kifejlődését és oktatását. Részt vett a kari oktatás-fejlesztési munkában, tantárgyi tervezetek és programok elkészítésében. Szerkesztője volt az Irodabútorok c. folyóiratnak. Több társával együtt



**Koronka Lajos**

pedagógus, a budapesti Kozma Lajos Faipari Szakközépiskola igazgatója

*Szabó Dénes-díj*

Koronka Lajos Budapesten született 1949. március 7-én. Itt végezte alsó és középfokú tanulmányait is. A Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karán szerzett egyetemi diplomát 1973-ban.

Rövidtervezőmérnöki munka (VEGYTERV), majd üzemi (VBKM Transzvíll) gyakorlatot követően került a szakoktatásba. Az újpesti Kozma Lajos Faipari Szakközépiskola akkori jogelődjében esti tagozaton kezdett tanítani 1974-ben, majd főállású tanár lett.

Először a '80-as években készített, illetve véleményezett a technikusképzés átalakításához kapcsoló szakmai anyagokat. Az iskolában a szakmai képzés szinte minden területén kipróbálta magát, az évek során összesen hét tantárgyat tanított.

1992-ben a tantestület nagy többségének támogatásával igazgatóvá választották.

Ezt követően az iskola képzési programja nagy változáson ment keresztül. Újra a kötelező képzés fajsúlyos részévé vált a hagyományos asztalos-ipari gyakorlat. A technikusminősítő vizsgán az országban elsőként – és sokáig egyedülként – elvárassá tették a „vizsgaremek” készítését. Diákjaik hamar résztvevőiké váltak az országos szakmai versenyek döntőinek. Itt szerzett eredményeik hosszú évek átlagában is messze kiemelkednek a mezőnyből, akár az első három helyen végzettek

részt vett a Minőségbiztosítás a faiparban c., az oktatás számára készülő tankönyv írásában, valamint számos tanszéki kutatásban és fejlesztési munkában. Szerzője a Konyhatervezés c. könyvnek, amely országosan elterjedt tankönyv szakközépiskolákban és lakberendezési iskolákban. Vezetése alatt számos diplomamunka készült termékfejlesztési és minőségbiztosítási tárgykörökben. 2005-ben egyetemi docensként vonult nyugdíjba.

számát, akár a döntősök számát tekintve. A 2013-as World Skill versenyen az iskola tanulója képviselte Magyarországot bútorasztalos szakmában.

Koronka Lajos igazgatói tevékenysége alatt a szakközépiskola népszerűsége és elismertsége évről évre növekedett. Ma – az általános tendenciától eltérően – emelkedik a jelentkezők száma a középiskolás évfolyamokra (3-5-szörös a túljelentkezés) éppúgy, mint az érettségi utáni szakképző évfolyamokra. Ehhez hozzájárul, hogy az érettségi utáni iskolarendszerű faipari technikusképzésen kívül meghonosították a szakmához kötődő művészeti képzéseket is, így a bútorműves- és a lakberendező-, legutóbb pedig a dekoratorképzést.

Ma ezek a képzések egymást kiegészítve, egymásra kölcsönösen hatva szolgálják a szakmailag széles látókörű technikusok képzését, akik néhány év gyakorlat után az európai munkaerő- és vállalkozási piacon is helyt tudnak állni.

Koronka Lajos sokrétű társadalmi, közéleti kötelezettségvállalásai közül néhány:

- az Országos Szakképzési Tanácsnak volt tagja,
- a Magyar Bútor és Faipari Szövetség elnökségi tagja, majd társelnöke,
- a Magyar Nevelők és Tanárok Egyesületének elnökségi tagja.

Kitüntetései:

- Magyar Népköztársaság Minisztertanácsa „Kiváló Munkáért” (1987)
- Magyar Köztársasági Arany Érdemkereszt (1994)
- Arany Katedra Emlékplakett (2008)
- Németh László-díj (2012)

**Prof. Dr. Winkler András**

okleveles faipari mérnök

*Fáy Mibály-életműdíj*

Prof. Dr. Winkler András okleveles faipari mérnök (1965), a műszaki tudományok kandidátusa (1979), a műszaki tudományok doktora (1988), FATE Örökös Tag (2008).

1965-ben végzett a soproni Erdészeti és Faipari Egyetem Faipari Mérnöki Karán. Végzés után, 1968-ig a Nyugat-magyarországi Fűrészeknél dolgozott Szombathelyen, a forgácslap gyáregységben. 1968-tól a soproni Faforgács Feldolgozó Vállalat technológiai tervező és fejlesztő mérnöke volt. 1973-ban került az Erdészeti és Faipari Egyetem Lemezipari Tanszékére, ahol 1980-ban egyetemi docensi, majd 1988-ban egyetemi tanári kinevezést kapott. Kandidátusi dolgozatát 1979-ben,

akadémiai doktori értekezését pedig 1988-ban védte meg. 1989-től a Lemezipari Tanszék, 1997-től 2007-ig pedig a Fa- és Papírtechnológiai Intézet vezetője volt. Egyetemi pályafutása folyamán számos kutatási projektnek volt résztvevője, vezetője, sok hazai és külföldi publikációja jelent meg. Számptalan hallgató tudományos diákköri szakdolgozatát és diplomamunkáját irányítja. A forgácslapgyártás oktatójaként közvetlen, barátságos és humoros előadói stílusa miatt a hallgatók körében is nagy népszerűségnek örvend.

Dr. Winkler András több ízben töltött be kari és egyetemi vezetői pozíciókat, 1989 és 1997 között az egyetem rektora volt. Pályafutása során sok hazai és nemzetközi egyesületnek, bizottságnak volt a tagja, vezetője, vezetőségi tagja, és számos hazai és nemzetközi elismerést kapott. Több éven keresztül volt a FATE elnökségi tagja, elnöke, és a Faipar c. folyóirat főszerkesztője is.

Dr. Winkler András az egyesület érdekében kifejtett sokéves, fáradhatatlan munkájáért a FATE 2008-ban Örökös Tagjává választotta.

**Dr. Molnárné Posch Paula**

okleveles faipari mérnök

*FATE Örökös Tag*

Dr. Molnárné Posch Paula 1963-ban szerezte meg faipari mérnöki oklevelét. 1967-ig a BUBIV angyalföldi gyáregységében technológus munkakörben szerzett üzemi gyakorlatot. 1967-ben meghívták a Bútor és Épületasztalosipari Tanszékre oktatónak, 2002-ig vett részt az oktatásban. Egyetemi tanársegédként, majd adjunktusként oktatta a bútorgyártáshoz kapcsolódó tárgyakat. Kedvenc területe a faanyagok felületkezelése volt. Az oktatómunkához kapcsolódóan több egyetemi jegyzetet is írt. A nagy sikerű Faanyagok felületkezelése című könyve két kiadás után még

ma is pótolhatatlan az oktatásban. Nagyszámú publikációi közül kiemeljük a Faipari kézikönyv II. című munkát, amelyet társszerzőként és szerkesztőként jegyez. Oktató-kutató munkáját több kitüntetéssel ismerték el. Ezek közül kiemeljük a Felsőoktatásért Emlékérmét, a Lugosi Armand-díjat és a címzetes egyetemi docens kinevezést.

A FATE-nek 1967-től folyamatosan aktív tagja.

## Megemlékezés Dr. Alpár Tiborról (1940–2014)

*Frank László*

Példamutató emberi tartással viselt betegség után 2014. március 2-án eltávozott közülünk dr. Alpár Tibor.

Alpár Tibor 1940. május 1-jén született Szombathelyen. A gimnáziumi érettségit követően az Erdészeti és Faipari Egyetem Faipari Mérnöki Karán folytatta tanulmányait és 1963-ban kitüntetéssel szerzett faipari mérnöki oklevelet.

A végzést követően a Nyugat-magyarországi Fűrészek és jogutód vállalatainál dolgozott különböző beosztásokban. Először üzemmérnök, 1974-től főmérnök, később a Fakombinát műszaki igazgatója lett. 1990-ben nevezték ki a Falco vezérigazgatójának. Ezt követően egyéni vállalkozóként mérnöki irodát alapított, melyet tovább bővített két kft.-vel (Greenteam és NYPAN).

Szakirodalmi tevékenységét a Faipar című lapnál kezdte. Több éven át meghívott előadóként és vizsgabizottsági tagként vett részt az egyetem oktatói munkájában. 1968-ban az Erdészeti és Faipari Egyetemen dr. techn. műszaki doktori címet szerzett. Az oktatásban való értékes közreműködését az egyetem 1983-ban címzetes egyetemi docensi cím adományozásával, 2004-ben pedig Nyugat-magyarországi Egyetemért Emlékérem kitüntetéssel ismerte el. Szakcikkei megjelentek a Faipar című folyóiratunkban és több szakkönyv társszerzőjeként is ismerhetjük.

1958 óta volt a Faipari Tudományos Egyesület tagja. Az egyesület 1986-ban a Faipar Fejlesztéséért Emlékéremmel, majd később a Fáy Mihály-életműdíjjal tüntette ki. 2009 óta a FATE örökös tagja.

A faipar területén végzett szakmai munkájának elismeréseként két alkalommal (1970-ben és 1976-ban) megkapta a Faipar Kiváló Dolgozója kitüntetését, majd 1987-ben a Munka Érdemrend ezüst fokozatát. Első elnöke volt az 1990-ben alapított FAGOSZ-nak.

Csendes, megfontolt személyiségét hiányolni fogjuk, emlékét faiparos társai tisztelettel és szeretettel megőrzik.

