



Tudományos tartalom:

- Ablakszerkezetek hőátbocsátási tényezőjének meghatározása a hőhídhatások figyelembevételével ...5.
- Térbeli feszültségállapotok átszámítása a faanyag anatómiai főirányainak rendszerébe ...12.
- Fűrészáru érintésmentes sűrűségmérése ...18.
- A papírhulladék hasznosítása lapalapú biokompozit előállításához I. ...23.
- Hidakról, földrajzi-történeti áttekintés II. rész: A Keletrómai Birodalomtól a középkorig ...29.

Scientific content:

- Heat permeability coefficient assay of windows considering the effect of thermal bridges ...5.
- Transformation of triaxial stress states into the anatomical coordinate system of wood ...12.
- Non-contact density determination of lumber ...18.
- Paper waste recycling in bio-composite boards - Part 1 ...23.
- About bridges, geographical-historical overview Part II: From the Byzantine Empire to the medieval ages ...29.



„Csak az taníthatja meg igazán a fafeldolgozás módjait, aki nagyon ismeri a fát; aki képes fában gondolkodni”

Prof. Dr. Cziráki József

Dr. Bejő László

A magyar faipari felsőoktatás története legendás. Többek között a Faipari Tudományos Egyesület erőfeszítéseinek köszönhetően egy-két röpké évtized alatt szinte a semmiből sikerült létrehozni az európai hírű, nagy sikerű képzést, amelynek a gyümölcseit immár több mint ötven év alatt, számos faipari mérnök generáció élvezhette. Az ilyen sikertörténetek mögött mindig emberek – lelkes, elkötelezett, odaadó, a szakmájukat szerető, kivételes emberek – állnak. Ezek közé tartozik Cziráki József, a Faipari Mérnöki Kar hajdani professzora, dékánja, az egyetem egykori rektora is.

Cziráki professzor úr története a két világháború közti időkig nyúlik vissza. Szegény családból indulva, sokáig középiskolai tanulmányokra sem volt lehetősége – ezt csak a világháború után tudta pótolni, amelyet az egyetemi tanulmányok követtek Sopronban, majd Brnóban és Prágában; itt kezdett érdeklődése a fafeldolgozás irányába fordulni.

Tanulmányait követően a Mohácsi Farostlemezgyárban szerzett ipari, majd a Faipari Kutatóintézetben kutatói tapasztalatot. Mindkét munkakörében jelentős eredményekkel gazdagította a hazai faipart, de tehetségét végül az Erdészeti és Faipari Egyetemen bontakoztatta ki igazán. Cziráki József nagyon komolyan vette a címben idézett mottót. Szenvedélyesen szerette, és nagyon ismerte a fafeldolgozás szinte minden területét; egyetemi pályafutása alatt több mint 70 kutatási jelentést készített annak különböző részterületeiről. Elsősorban a falemezek, kompozit termékek gyártása, fejlesztése, valamint a faanyagszárítás voltak a szakterületei, de otthonosan mozgott a faipar többi részterületén is. Meghatározó szerepe volt az első tantervek kialakításában, nagy odaadással, szakmaszeretettel és igényességgel igyekezett tudását átadni a kezei között nevelkedett faipari mérnököknek, és a fiatalabb munkatársaknak egyaránt.

Kollégái, diákjai segítőkész, barátságos, bölcs embernek ismerték. Közvetlen munkatársai mindig bízhattak benne, és szerették őt; jóságos atyai megjelenésének köszönhetően a tanszéken mindenki „Apucinak” nevezte. Bölcsességét és jó emberismeretét vezetőként is kamatoztatta; nagy körültekintéssel, bátorsággal és bölcsességgel vezette előbb a Faipari Mérnöki Kart, majd rektorként az egész egyetemet, később pedig a Fa- és Papírtechnológiai Intézetet. 1992-ben bekövetkezett halálával nem csak az egyetemet, de az egész faipart jelentős veszteség érte.

Cziráki professzor úr életét és munkásságát a Faipari Mérnöki Kar Nagyjai sorozatban 2001-ben megjelent kötet foglalja össze, 2006 óta pedig a kar Faanyag-tudományok és Technológiák Doktori Iskolája is az ő nevét viseli.

Halálának 20. évfordulójához közeledve a Faipari Tudományos Egyesület és a Faipari Mérnöki Kar közösen készül munkásságának méltó emléket állítani, a professzor úr szobrának felállításával az egyetem botanikus kertjében, ahol Szabó Dénes és Winkler Oszkár professzorok szobrainak társaságában vigyáz majd a szeretett kar és a szakma jövőjére.



Prológus Prologue

„Csak az taníthatja meg igazán a fafeldolgozás módjait, aki nagyon ismeri a fát; aki képes fában gondolkodni” » *Bejó L.* « ... 3.

Tudomány Science

Ablakszerkezetek hőátbocsátási tényezőjének meghatározása a hőhídhidatások figyelembevételével » *Elek L.* «
Heat permeability coefficient assay of windows considering the effect of thermal bridges » *L. Elek* « ... 5.

Térbeli feszültségállapotok átszámítása a faanyag anatómiai főirányainak rendszerébe » *Garab J. - Polgár R. - Szalai J.* «
Transformation of triaxial stress states into the anatomical coordinate system of wood » *J. Garab - R. Polgár - J. Szalai* « ... 12.

Fűrészáru érintésmentes sűrűségmérése » *Utassy V. - Divós F.* «
Non-contact density determination of lumber » *V. Utassy - F. Divós* « ... 18.

A papírhulladék hasznosítása lapalapú biokompozit előállításához I. » *Takáts A. - Varga N. - Takáts P.* «
Paper waste recycling in bio-composite boards - Part 1 » *A. Takáts - N. Varga - P. Takáts* « ... 23.

Hidakról, földrajzi-történelmi áttekintés II. rész: A Keletrómai Birodalomtól a középkorig » *Láng E.* «
About bridges, geographical-historical overview Part II: From the Byzantine Empire to the medieval ages » *E. Láng* « ... 29.

Szerkesztői oldal Editorial

... 38.

Ablakszerkezetek hőátbocsátási tényezőjének meghatározása a hőhídhatások figyelembevételével

ELEK László¹

¹ NymE FMK Terméktervezési és Gyártástechnológiai Intézet

Kivonat

Az energiahatékonyság iránti igény napról napra növekszik. Egyre nagyobb figyelmet kell fordítanunk a nyílászárók hőszigetelő képességének fokozására. Ezt a hőveszteségek csökkentésével, illetve a szoláris hőnyereség növelésével érhetjük el. Ablakok esetében a hőátbocsátási tényező értékének számítással való meghatározására az EN ISO 10077-1:2000 és EN ISO 10077-2:2004 szabványok adnak előírásokat. A cikk egy példán keresztül bemutatja, hogy milyen különbség adódik a szabvány és a Therm végeelem módszert alkalmazó szoftver által meghatározott hőátbocsátási tényezők között. A vizsgálat végén javaslatokat tettünk a kapott értékek pontosítására.

Kulcsszavak: ablak hőátbocsátási tényezője, vonalmenti hőhíd, számítógépes modellezés

Heat permeability coefficient assay of windows considering the effect of thermal bridges

Abstract

There is a growing demand for energy efficiency. Increasing of thermal insulation capacity of windows and doors has to be taken into consideration. This can be reached by the decrease of heat loss or the increase of solar heat gain. Heat permeability coefficient of windows can be calculated based on the standards EN ISO 10077-1:2000 and EN ISO 10077-2:2004. This article reveals the difference between the heat permeability coefficients calculated based on the standard and defined using the Term finite element method. Having the results of the analysis proposals were given to refine the calculated values.

Key words: heat permeability coefficient of windows, one-dimensional thermal bridge, computer simulation

Bevezetés

Hazánk épületállományának energiahatékonysága rendkívül kedvezőtlen (az EU-15 országok átlagának kétszerese). A folyamatosan csökkenő energiakészletek és az emelkedő energiaárak indokolttá teszik az egyre hatékonyabb hőszigeteléssel rendelkező épületek kialakítását. Az Európai Unió irányelvekkel szabályozza az épületek energiafelhasználását. Ennek eredménye a 7/2006-os TNM kormányrendelet, mely tartalmazza a nyílászáró szerkezetek hőátbocsátási tényezőjére vonatkozó követelményértékeket is (Prohászka 2007). Jelenleg a homlokzaton elhelyezett fa vagy PVC keretszerkezetű üvegezett

nyílászáróknál a felső határérték $U=1,60 \text{ W/m}^2\text{K}$. A szigorodó előírások mellett a felhasználók anyagi érdeke is, hogy az üzemeltetés során – a lakáskomfort megtartása mellett – a lehető legkevesebb energiát használják fel. A nyílászárók az épületek homlokzatának általában kis hányadát teszik ki, mégis a legnagyobb hőveszteséget okozzák, mivel még a hőszigetelt ablak is jelentősen elmarad a falszerkezet hőszigetelési tulajdonságaitól (Thomas 2006). Számunkra az lenne az ideális, ha az ablakok hőszigetelését a falazattal azonos értékig tudnánk fokozni. A kutatás elsődleges célja azt megvizsgálni, hogy a Magyarországon jelenleg leginkább elterjedt



68 mm-es profilvastagságú ablakok megfelelhetnek-e a szigorodó hőtechnikai előírásoknak. Ennek megállapítása során megvizsgáltuk az ablakszerkezetekre vonatkozó szabványokat, illetve az azokban alkalmazott számítási módszereket. A kapott eredményeket összevetettük egy végeselem-módszert alkalmazó számítógépes programmal meghatározott eredményekkel. Mindkét módszer esetében igyekeztünk javaslatot tenni az eredmények pontosabb meghatározására.

Tudományos előzmények, épületfizikai alapfogalmak

Az ablakok hőátbocsátását befolyásolja az üvegezés szerkezetének kialakítása, a tok és a szárny rétegfelépítése, ezek kapcsolata, továbbá a beépítés módja. A nyílászárókon áthaladó kifelé irányuló hőáram a hőfokkülönbség okozta transzmissziós hőátbocsátásból, valamint a légáteresztésből következő konvektív hőáramból adódik össze (Kovács 2000). Az ablakok működtetése nem képzelhető el ütközési hézagok és illesztési rések kialakítása nélkül. Az épületen belül és a környezetben uralkodó légnyomás- és hőmérsékletkülönbségek következtében a levegő ezeken a réseken át ki-, vagy beáramolhat. Ez a nyílászárók égtáj szerinti tudatos elhelyezésével és az uralkodó szélirányok figyelembevételével csökkenthető (Thomas 2006). A filtrációt fokozza, hogy a környezeti és egyéb hatásoknak köszönhetően a tömítés idővel rideggé válik, elhasználódik, ezáltal funkcióját nem, vagy csak részben tudja teljesíteni. Emellett az ablakok használata során a vasalatokban bekövetkeznek olyan kopások, elváltozások, melyek a záródás pontosságát csökkentik, ezzel a filtrációs veszteségeket jelentősen megnövelik (Kovács 2000). Az ablak záródásának tökéletlenségéből adódó veszteségeket nevezzük a légáteresztésből származó, vagy filtrációs hőátbocsátásnak.

Transzmissziós hőátbocsátásnál a hő terjedése hővezetéssel, hőáramlással (konvekcióval) és hőszugárzással történhet. A valóságban jellemzően ezek kombinációjával találkozunk. Határoló szerkezeteknél (ilyenek az ablakok is) az egyik oldalon légnemű közegből konvekcióval, a környező melegebb felületekről sugárzásos úton belépő hőáram állandósult állapotban a szerkezeten keresztül haladva a másik oldalon lép ki. A hőterjedés ezen összetett módját hőátbocsátásnak nevezzük. Nagysága függ a keret anyagától, vastagságától, felületi részarányától, illetve az üvegezéstől.

A nyílászárók többrétegű üvegezésén keresztüli hőátvitelhez mind a konvekciós, mind a sugárzásos

terjedési mód jelentősen hozzájárul. Előbbi a légréteg vastagságával fokozódik. A sugárzásos hőátvitel intenzitását befolyásolja a felület emissziós tényezője (ϵ), ami a felületi hőmérsékletre jellemző sugárzási hullámhossz tartományban a sugárzó hő elnyelését is befolyásolja. Az üvegfelület tulajdonságainak módosítása, így például fénoxid bevonat felvitele a sugárzásos energia áteresztést hatékonyan mérsékli (Kovács 2000).

Könnyűszerkezetes faházakkal kapcsolatban találkozhatunk olyan kutatással, melynek keretében, a légrétegben a nyugvó levegő hővezetését a légréteg vastagságának megosztásával sikerült megközelíteni. A megoldás egyúttal a sugárzásos hőátvitelt is minimalizálja. Ezt a falszerkezetben a homlokzat síkjával párhuzamosan kifeszített tükörpanelek (hőtükörfóliák) segítségével sikerült elérni (Pásztory 2007).

Az épület fűtőenergia felhasználását a hőhidak következtében eltávozó hő jelentősen növeli. Hőhidak a különböző hővezetési tulajdonságú és eltérő geometriai formájú szerkezetek, illetve anyagok találkozásánál alakulnak ki. Lehetnek pontszerűek, vonalmentiek és foltszerűek. A jobb hővezetésű szerkezeti részeknél erősebb lehűlés tapasztalható. A megnövekedett hőleadás következtében a belső felületek hőmérséklete lecsökken, ami rontja a lakóter komfortérzetét. További problémát jelenthet, hogy a lehűlt felületek környezetében páralecsapódás is kialakulhat, ami tartós fennállás esetén a penészképződést is elindíthatja (Zöld 1999).

A hőhidakon keresztüli többlet hőáram meghatározására rendelkezésre állnak hőhid-katalógusok, valamint szabványok adnak útmutatást a számításokra. Amennyiben a szerkezet nagyon összetett és sok időt igényelnének a számítások, vagy nem állnak rendelkezésre megfelelő szabványok, számítógépes programok, mint amilyen az ingyenesen elérhető, végeselem-módszerre épülő Window és Therm nyújthat segítséget. Az említett szoftvert Hantos Z. (2008) alkalmazta egy könnyűszerkezetes épület hőtechnikai optimalizálásával kapcsolatos kutatásban. Esetében a nyílászárók egy átlagos hőátbocsátási tényezővel lettek figyelembe véve, azok részletes vizsgálatára nem került sor.

Modellalkotás, anyag és módszer

A hőátbocsátási tényező vizsgálatát egy 1480 x 1230 mm-es tok külméretű bukó-nyíló ablakon végeztük. A 68 mm-es profilvastagságú, háromrétegű tömbösített vörösfenyőből (*Larix decidua*) készült ablakban kétrétegű üvegezés kapott helyet. A nemesacél táv-

tartóval ellátott üvegszerkezetben argon gáztöltést alkalmaztunk, a belső üvegtábla gágréteg felőli felületére pedig alacsony emissziós bevonat került.

Az ablak hőtechnikai vizsgálatát kétféleképpen végeztük el: a szabvány által előírt módon, majd egy, az üvegezést és a keretszerkezetet együtt elemző szoftver segítségével. Utóbbinál a modellalkotás grafikus módon történt, ahol az egyes anyagtulajdonságokat anyagtárból adtuk meg, de a hővezetési tényező és emissziós tényező segítségével új anyagokat is definiáltunk. A szükséges csomópontokról AutoCad programmal készítettünk síkmetszeteket. A kutatásban a kaliforniai Berkeley Egyetemen kifejlesztett Therm végeelem-alapú kétdimenziós hőtechnikai modellező szoftvert használtuk. Az ingyenesen letölthető program hiányossága, hogy a pontszerű hőhidakat nem tudja figyelembe venni, továbbá csak az időben állandósult folyamatok vizsgálatát teszi lehetővé. Ez utóbbi esetünkben nem bírt jelentőséggel.

A szabvány szerinti számítás során a tok és keret hőátbocsátását az EN ISO 10077-1:2000 szabvány szerint határoztuk meg. A vonalmenti hőhidakat az 1. ábrán jelölt módon, a szárny belső felülete mentén vettük fel.

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi_g}{A_g + A_f} \quad [1]$$

ahol:

U_w - az ablak hőátbocsátási tényezője [$W/m^2 \cdot K$]

A_g - az üvegezett felület nagysága [m^2]

U_g - az üvegezés hőátbocsátási tényezője [$W/m^2 \cdot K$], (EN ISO 10077 szerint)

A_f - a tok és szárnykeret vetületi felülete [m^2]

U_f - a tok és szárnykeret átlagos hőátbocsátási tényezője [$W/m^2 \cdot K$], (EN ISO 10077 szerint)

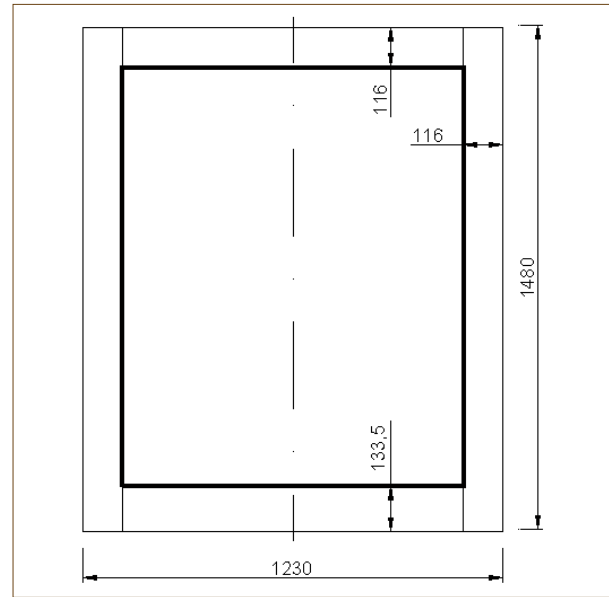
l_g - az üvegezett keretkitöltés szegélyének hossza [m]

ψ_g - az üvegezett keretkitöltés vonalmenti hőátbocsátási tényezője [$W/m \cdot K$], (EN ISO 10077 szerint)

Miután a szabványban rögzített módon az [1] összefüggéssel elvégeztük a hőátbocsátási tényező számítását, a gyártó által megadott $U_g' = 1,1 W/m^2 \cdot K$ értékkel megismételtük a lépéseket. A kapott eredményt U_w' -vel jelöltük:

$$U_w = \frac{1,2280 \cdot 1,2 + 0,5924 \cdot 1,8 + 4,457 \cdot 0,06}{1,2280 + 0,5924} = 1,54$$

$$U_w' = \frac{1,2280 \cdot 1,1 + 0,5924 \cdot 1,8 + 4,457 \cdot 0,06}{1,2280 + 0,5924} = 1,47$$



1. ábra A vonalmenti hőhidszakaszok az EN ISO 10077-1 szabvány szerint

Figure 1 One-dimensional thermal bridges according to the EN ISO 10077-1 standard

Az EN ISO 10077-es szabvány szerinti számítási mód a sarkok környezetében a 2. ábrán sraffozással jelölt helyeken megváltozó hő-átszármaztatási feltételeket (pontszerű hőhíd, két irányból fellépő zavarhatás) nem veszi figyelembe. Ennek kompenzálására, a szabványtól eltérően a vonalmenti hőhíd hosszát nem a szárny belső felülete mentén, hanem az ablak tok-külméretével határoztuk meg. Ennek eredményeként a szabvány alapján meghatározott hőátbocsátási tényező $U_w = 1,57 W/m^2 \cdot K$ -re, míg a gyártó által megadott üvegezéssel számolt érték $U_w' = 1,51 W/m^2 \cdot K$ -re módosult.

Második módszerként az ablak hőtechnikai vizsgálatát a Therm végeelem-alapú szoftverrel és az ehhez kapcsolható Window programmal végeztük. A modell helyes felvételéhez az eredeti profilon egyszerűsítéseket alkalmaztunk. AutoCad segítségével elkészítettük a kívánt metszeteket, melyeket a Therm programban alátétfoliaként hasznosítottunk. A 3. ábrán bekeretezett részen a tok és szárny külső oldalán kialakuló nem szellőzött légüreg látható, melyet az EN ISO 10077-2:2004 szerint két részre bontva vizsgáltunk. A 3. ábrán jelölt módon elkülönített üregek egyenértékű hővezetési értékeit az alábbi összefüggésekkel határoztuk meg:

$$\lambda_{eq} = \frac{d}{R_s} \quad [2]$$

$$R_s = \frac{1}{h_a + h_r} \quad [3]$$

$$h_a = \max \left\{ \frac{C_1}{d}; C_3 \right\} \quad [4]$$

$$h_r = C_4 \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{d}{b} \right)^2} - \frac{d}{b} \right) \quad [5]$$

ahol:

λ_{eq} - egyenértékű hővezetési tényező

d - az üreg mérete a hőterjedés irányában

R_s - a légréteg egyenértékű hővezetési ellenállása

h_a - konvektív hőátadási tényező

h_r - sugárzásos hőátadási tényező

C_1 - együtttható (EN ISO 10077-2 szerint 0,025 W/m²·K)

C_3 - együtttható (EN ISO 10077-2 szerint 1,57 W/m²·K)

C_4 - együtttható (EN ISO 10077-2 szerint 2,11 W/m²·K)

b - az üreg mérete a hő terjedésére merőlegesen

A 3. ábrán 1-gyel jelölt üreg esetében a következő eredményeket kaptuk:

$$h_a = 1,57 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

$$h_r = C_4 \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{d}{b} \right)^2} - \frac{d}{b} \right) =$$

$$= 2,11 \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{0,025}{0,01} \right)^2} - \frac{0,025}{0,01} \right) = 2,52 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

$$R_s = \frac{1}{h_a + h_r} = \frac{1}{1,57 + 2,52} = 0,244 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$$

$$\lambda_{eq} = \frac{d}{R_s} = \frac{0,025}{0,244} = 0,102 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

A 2-vel jelölt üregnél az alábbi értékek adódtak:

$$h_a = \frac{C_1}{d} = \frac{0,025}{0,0005} = 50$$

$$h_r = C_4 \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{d}{b} \right)^2} - \frac{d}{b} \right) =$$

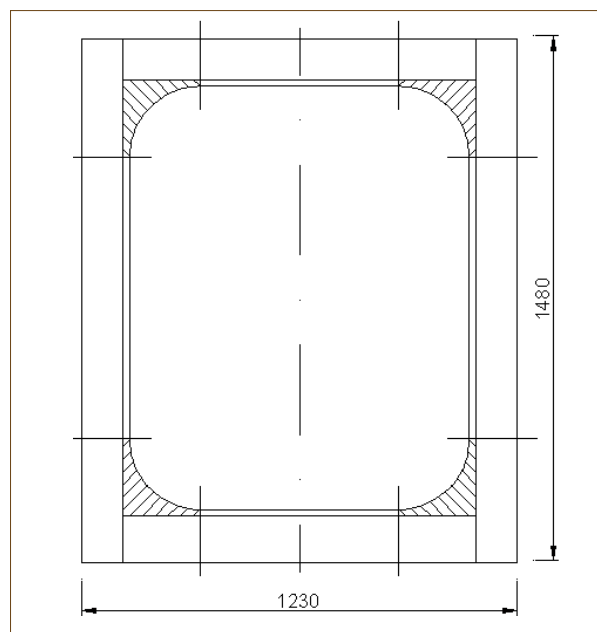
$$= 2,11 \cdot \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{0,0005}{0,012} \right)^2} - \frac{0,0005}{0,012} \right) = 4,134 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

$$R_s = \frac{1}{h_a + h_r} = \frac{1}{50 + 4,134} = 0,018 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$$

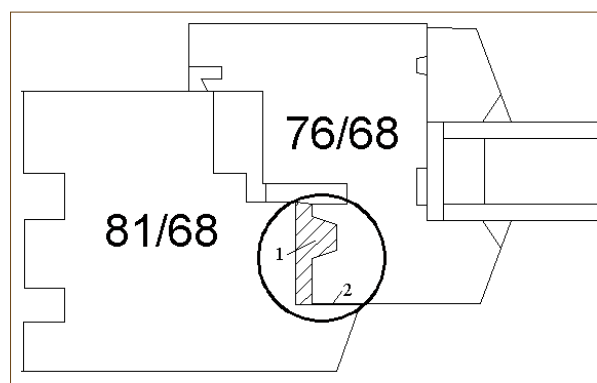
$$\lambda_{eq} = \frac{d}{R_s} = \frac{0,0005}{0,01847} = 0,027 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

Az egyes anyagtulajdonságok definiálása után a modellbe beillesztettük a Window programmal elkészített kétrétegű üvegezésű rendszerünk függőleges szimmetriasíkkal elvágott felét. Az ablak külső és

belső oldalán uralkodó peremfeltételek beállítását követően (lásd 1. táblázat) elvégeztük a számítást. Az



2. ábra Feltételezett hőáram zavarok a sarkok környezetében
Figure 2 Supposed convection disorder around the corners



3. ábra A tok és szárny külső oldalán kialakuló nem szellőzött légüreg szétválasztása két részre

Figure 3 Disassociation of the non-ventilated area created by the case and the frame

1. táblázat Peremfeltételek az EN ISO 10077:1 és EN ISO 10077:2 szerint

Table 1 Boundary conditions according to the standards EN ISO 10077:1 and EN ISO 10077:2 (Θ_i internal temperature, Θ_e external temperature, R_{si} internal heat transfer resistance, R_{se} external heat transfer resistance, ψ_g one-dimensional thermal bridge loss coefficient)

Belső léghőmérséklet: Θ_i	20°C
Külső léghőmérséklet: Θ_e	0°C
Belső hőátadási ellenállás: (R_{si})	0,13 m ² ·K/W
Külső hőátadási ellenállás: (R_{se})	0,04 m ² ·K/W
Vonalmenti hőhídvesztési tényező: (ψ_g)	0,06 W/m·K

ablakprofil különböző rétegeiben kialakuló hőmérsékletek a 4. ábrán látható izotermák szerint változnak. A felvett modellre a Therm program alapján az átlagos hőátbocsátási tényező $U_T=1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ nagyságú. Ennél a vizsgálati módszernél felmerül az a probléma, hogy a kapott átlagos hőátbocsátási tényező csak végtelen magasságú ablakra lenne érvényes, azaz sem az alsó és felső vízszintes elemek menti viszonyokat, sem a sarkok környezetében kialakuló zavarokat nem tartalmazza. Ezért a szoftver által számított U_T értéket az ablak eredő hőátbocsátási tényezőjének meghatározásához úgy használtuk fel, hogy az üvegtábla felületére számítható egydimenziós hőáramokat a modell teljes hőátbocsátásából leválasztottuk. Más szóval az 1 m magas keret- és üvegezéssávra számított [6] összefüggésből az $U_{T,f+g}$ értéket fejeztük ki.

$$U_T = \frac{A_f \cdot U_{T,f+g} + A_g \cdot U_{gw}}{A_f + A_g} \quad [6]$$

ahol:

U_T - a Therm programmal számított átlagos hőátbocsátási tényező [$\text{W/m}^2\text{K}$]

A_f - a tok és szárnykeret vetületi felülete [m^2]

$U_{T,f+g}$ - az üvegezésen keresztüli egydimenziós hőárammal csökkentett hőátbocsátási tényező [$\text{W/m}^2\text{K}$]

A_g - az üvegezett felület nagysága [m^2]

U_{gw} - az üvegezés Window programmal számolt hőátbocsátási tényezője [$\text{W/m}^2\text{K}$]

A [6]-os összefüggés szerint, az üvegezésen keresztüli egydimenziós hőárammal csökkentett hőátbocsátási tényező értéke:

$$U_{T,f+g} = \frac{U_T \cdot (A_f + A_g) - A_g \cdot U_{gw}}{A_f} =$$

$$= \frac{1,30 \cdot (0,116 + 0,500) - 0,500 \cdot 1,1}{0,116} = 2,16 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Az $U_{T,f+g}$ értékét a tok és keret hőátbocsátási tényezőjeként (U_f) felhasználva, az ablak átlagos hőátbocsátási tényezőjét az ISO 10077-1 szabványnak megfelelően az [1] összefüggésből az alábbi módon számíthatjuk:

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + I_g \cdot \psi_g}{A_g + A_f} =$$

$$= \frac{1,2280 \cdot 1,1 + 0,5924 \cdot 2,16}{1,2280 + 0,5924} = 1,44 \text{ W/m}^2\text{K}$$

(Ennél a számításnál az üveg távtartó hatása az üvegezésen keresztüli egydimenziós hőárammal csökkentett hőátbocsátási tényező értékében már figyelembe lett véve.)

További pontosításként az ablak átlagos hőátbocsátási tényezőjét a sarkokon fellépő zavarok kompenzálására a tok- és keretdarabok átlapoltsági tényezőivel számítjuk (5. ábra).

$$U_{w,T.ál.} = \frac{A_g \cdot U_{gw} + U_f \cdot [2 \cdot (x \cdot a) + x \cdot b + y \cdot b]}{a \cdot b} \quad [7]$$

ahol:

A_g - az üvegezett felület nagysága [m^2]

U_{gw} - az üvegezés Window programmal számolt hőátbocsátási tényezője [$\text{W/m}^2\text{K}$]

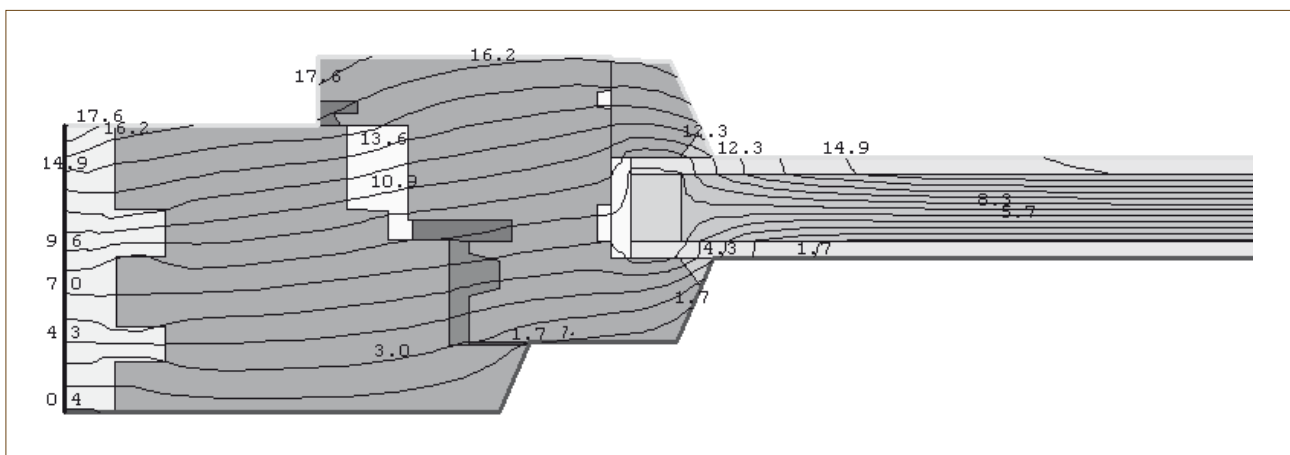
$U_{w,T.ál.}$ - az ablak átlagos hőátbocsátási tényezője [$\text{W/m}^2\text{K}$]

a - az ablak magassági mérete [m]

b - az ablak szélességi mérete [m]

x - a tok és szárny vízszintes, illetve felső függőleges vetületi mérete [m]

y - a tok és szárny alsó függőleges vetületi mérete [m]



4. ábra Az ablakprofilnál kialakuló izotermák (az értékek °C-ban értendők)

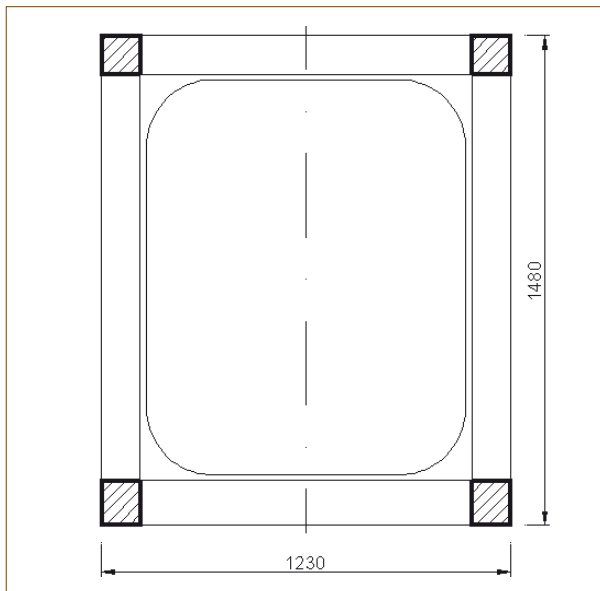
Figure 4 Isotherms of a window structure (values in °C)



A [7]-es összefüggés alapján az ablak átlagos hőátbocsátási tényezője:

$$U_{T. \text{átl.}} = \frac{1,2280 \cdot 1,1}{1,23 \cdot 1,48} + \frac{2,16 \cdot [2 \cdot (0,116 \cdot 1,48) + 0,116 \cdot 1,23 + 0,1335 \cdot 1,23]}{1,23 \cdot 1,48}$$

$$U_{T. \text{átl.}} = 1,51 \text{ W/m}^2\text{K}$$



5. ábra A többdimenziós hőáramokat generáló tok és keret egyenértékű hőátbocsátási tényezőjével kétszeresen figyelembe vett területek, a sarokmenti hatások kompenzálására

Figure 5 Compensation of the effects around the corners. Denoted areas with heat permeability coefficient of the three-dimensional convection generated by the case and the frame were taken into account twice

2. táblázat A számítások eredményeinek összefoglalása

Table 2 Calculated results

Számítási módszer:	U_w [W/m ² K]
EN ISO 10077-1 alapján	1,54
EN ISO 10077-1 alapján, sarokhatással	1,57
EN ISO 10077-1 alapján, az üvegezés gyártói értékével	1,47
EN ISO 10077-1 alapján, az üvegezés gyártói értékével, sarokhatással	1,51
<i>Therm</i> és <i>Window</i> értékeivel, EN ISO 10077-1 alapján	1,44
<i>Therm</i> és <i>Window</i> értékeivel, EN ISO 10077-1 alapján, sarokhatás kétszeres kompenzálásával	1,51

Tájékoztatásul:	
<i>Therm</i> és <i>Window</i> alapján, a 4. ábrán látható modellel	1,30
<i>Therm</i> és <i>Window</i> alapján, a 4. ábrán látható modellel, az üvegezésre számítható egydimenziós hőáramok leválasztása után	2,16

Eredmények és értékelés

A vizsgálatok eredményeit a 2. táblázatban foglaltuk össze. A két módszert összehasonlítva a várt eredményt kaptuk: a 10077-1 szabvány alapján felvett/számított jellemzőkkel meghatározott hőátbocsátási érték lett a nagyobb. Ez elsősorban a számításokba épített biztonságból következik. Az eltérést megvizsgálva megállapítható, hogy a hőáramok többdimenziós jellegét is figyelembe vevő végeeselemes szoftver mintegy 5%-kal kisebb értéket számított, (1,51 W/m²K értékkel szemben 1,44 W/m²K), ami a mérnöki gyakorlatban már nem elhanyagolható. Ilyen eltérés befolyásolhatja az adott nyílászáró minősítését, besorolását is. Mindkét esetben javaslatot tettünk az eredmények pontosabb meghatározására, ami elsősorban az üvegezés sarkainál kialakuló fokozott, nagyobb kiterjedésű kétdimenziós hőáram hatás (hőhídhatás) kompenzálására irányult. Az alkalmazott pontosítások jelentős eltéréseket nem eredményeztek. A pontosítás megfelelő módját laboratóriumi mérések igazolhatják.

Általánosságban elmondható, hogy a fa profilú nyílászárók kétrétegű üvegezéssel, alumínium távtartóval, Low-E bevonattal és argon gázöltéssel a nyílászárókra vonatkozó jelenleg érvényben lévő felső határértéket ($U=1,60 \text{ W/m}^2\text{K}$) teljesíteni tudják.

Összefoglalás

Cikkünkben kétféleképpen határoztuk meg egy Magyarországon szokványos 68 mm-es profilvastagságú kettős üvegezésű fa nyílászáró

hőátbocsátási tényezőjét. Mindkét esetben javaslatot tettünk az eredmények pontosabb meghatározására, ezek azonban jelentős eltéréseket nem okoztak. A modellalkotásnál a jobb hőszigetelés érdekében a két üvegréteg közötti tér kitöltésére a levegőnél ideálisabb argon gáztöltést vettünk figyelembe. Az ablak sarkainak környezetében kialakuló többdimenziós hővesztéséget nemesacél üvegtávtartó alkalmazásával mérsékeljük. Megjegyzendő, hogy ez háromrétegű üvegszerkezettel szinte nullára csökkenthető. Megállapítottuk, hogy a Therm 5.0 végeselem program alkalmazásával az EN ISO 10077-1:2000 szabvány szerint számítható értékhez képest csekély mértékben (esetünkben 5%-kal) kisebb hőátbocsátási érték adódik. Ez megfelel annak a tendenciának, ami az EN ISO 10077 szabvány 1. és 2. része szerinti számítási eredmények közt fennáll (Kovács 2008).

Irodalomjegyzék

- 7/2006. (V.24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról. in: Magyar Közlöny 2006/62. Magyar Hivatalos Közlönykiadó, Budapest, 2006
- Albert J (1962) A hőszigetelés kézikönyve. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- Bálint P (2007) Hol tart az épületenergetikai szabályozás? in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szövetségének lapja XLV/2-3 – 2007/2-3
- EN ISO 10077-1:2000: Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 1: Simplified method
- EN ISO 10077-2:2004: Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance - Part 2: Numerical method for frames
- Fekete I (1985) Épületfizika kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- Fisch K (2003) Energiatakarékos ház és lakás. Cser Kiadó, Budapest
- Gábor L, Zöld A (1981) Energiagazdálkodás az építészetben. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- Hantos Z (2008) Fa bordaváz, könnyűszerkezetes építési rendszer hő-és páratechnikai optimalizálása. NymE, Sopron
- Hantos Z, Karácsonyi Zs (2007) Fa bordaváz épületek hőátbocsátási tényező számítása I. Faipar LV/1-2 – 2007/1-2
- Hantos Z, Karácsonyi Zs (2008) Fa bordaváz épületek hőátbocsátási tényező számítása II. Faipar LVI/1-2 – 2008/1-2
- Kovács Zs (2000) Épületfizikai alapfogalmak és követelmények. in: Mérnöki faszervezetek I. Szerk.: Dr. Wittmann Gyula, Mezőgazdasági szaktudás Kiadó, Budapest. pp.160-197
- Kovács Zs (2002) Ajtók, ablakok épületfizikai és szilárdsági jellemzői. In: Faipari Kézikönyv II. (szerkesztette Dr. Molnárné Posch Paula) Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron. pp. 271-290
- Kovács Zs (2003) A nyílászárók épületfizikai és szilárdsági jellemzőiről. Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szövetségének lapja 2003/11-12
- Kovács Zs (2008) ECWINS project Deliverable 4.1. Ftp://ftp.bouw.tno.nl/
- Pásztory Z (2007) Hőszigetelés fejlesztési lehetőségek könnyűszerkezetes faházak számára NymE, Sopron
- Prohászka R (2007) Az épületenergetika helyzete hazánkban. in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szövetségének lapja XLV/6 – 2007/6
- Reis F, Várfalvi J, Zöld A (2002) Az épületfizika alapjai. Műegyetemi Kiadó, Budapest
- Sólyomi P (2005) Hőátbocsátás. in: Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szövetségének lapja XLIII/7-8 – 2005/7-8
- Széll M (2001) Transzparens épületszerkezetek. Szerényi és Gázsó Bt., Pécs
- Thomas K (2006) Az energiatakarékos építkezés kézikönyve. Z-Press Kiadó Kft, Miskolc
- Zöld A (1999) Energiatudatos építészet. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- WINDOW 6 / THERM 6, 2006. Research Version User Manual For Analyzing Window Thermal Performance, Windows & Daylighting Group, Building Technologies Program, Environmental Energy Technologies Department Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley, CA 94720 USA



Térbeli feszültségállapotok átszámítása a faanyag anatómiai főirányainak rendszerébe

GARAB József¹, POLGÁR Rudolf², SZALAI József¹

¹ NymE FMK, Műszaki Mechanika és Tartószerkezetek Intézet

² Universitas Fidelissima Kft.

Kivonat

A faanyaggal kapcsolatos anyagvizsgálatok során az esetek többségében az anatómiai főirányok rendszerében határozzák meg a fizikai-mechanikai anyagjellemzőket. Ha az anatómiai főirányoktól eltérő rendszerben van szükség az anyagállandókra, akkor a tenzortranszformációs szabályok felhasználásával meghatározhatjuk azokat. A számítások elvégzéséhez szükség van a két koordináta-rendszer egymáshoz viszonyított elhelyezkedéséhez. Ennek magadása három, alkalmasan megválasztott szög-gel történhet. Fordított a helyzet, ha a faanyagra használható tönkremeneteli elméleteket kívánjuk alkalmazni. Ezek az elméletek úgy működnek, hogy bennük a feszültségi állapotokat az anatómiai főrendszerben kell megadni. A külső terhelésből származó feszültségi állapot általában a szerkezethez kötött koordináta-rendszerben ismert, ezt kell átszámítani a faanyag anatómiai rendszerébe. E számításokhoz az első feladatnál meghatározott transzformációs mátrix transzponáltját kell felhasználnunk. Hasonló a feladat, ha a tönkremeneteli elméletek ellenőrzéséhez végzünk kísérleteket, ill. számításokat. Korábban, triaxiális nyomóvizsgálat segítségével térbeli feszültségállapotot hoztak létre általános orientációjú jegenyefenyő (*Abies alba*) próbatesteken. Célunk a próbatesten uralkodó triaxiális feszültségállapot transzformálása volt a faanyag anatómiai főirányainak rendszerébe (L, R, T). Bemutatjuk a térbeli feszültségállapot átszámítását teljesen általános orientációjú próbatestek esetén, melynek alapja a próbatest felületén mérhető szögek és az Euler-szögek közötti kapcsolat. Az átszámított térbeli feszültségállapotokat már fel lehet használni a tönkremeneteli elméletek alkalmazhatóságának ellenőrzéséhez.

Kulcsszavak: triaxiális nyomóvizsgálat, térbeli feszültségállapot, jegenyefenyő (*Abies alba*), feszültségállapot transzformációja

Transformation of triaxial stress states into the anatomical coordinate system of wood

Abstract

The mechanical properties of wood are determined in the system of the anatomical main directions (L, R, T) of wood. To apply anisotropic strength criteria, the stress states should be given in the L, R, T coordinate system, as well. The goal of this study was to transform triaxial stress states on European Silver Fir (*Abies alba*) samples into the anatomical coordinate system of wood. The stress states were given in the coordinate system of the specimens edges thus the application of the strength criteria were unsuitable. Therefore, the stress states should have been calculated into the system of the anatomical main directions.

Key words: triaxial compression tests, triaxial stress states, European Silver Fir (*Abies alba*), stress state transformation

Bevezetés

A faanyag fizikai-mechanikai tulajdonságai jelentősen függenek a rostiránytól. Egy csekély szögeltérés már számottevő hatással lehet a tulajdonságok nagyságára. Fűrészáru vizuális osztályozásánál figyelembe veszik a szögeltérést, és a nagyságától függően osztályokba sorolják a fűrészárut (pl. MSZ EN 14081-1).

Többdimenziós feszültségállapot esetén a feszültségi állapot pontos ismerete szükséges. A legnagyobb nehézséget a feszültségi állapot átszámítása okozza a faanyag anatómiai főirányainak rendszerébe. A transzformációs szabályok és az egyes tengelyek körüli forgatások már régóta ismertek (pl. Malvern 1969), valamint az átszámítási eljárásról is születtek tanulmányok (Bindzi és Samson 1995; Goodman és Bodig 1970) azonban ezeknek a módszereknek az a hátrányuk, hogy csak bizonyos esetekben érvényesek (pl. csak az anatómiai fősíkban alkalmazhatók).

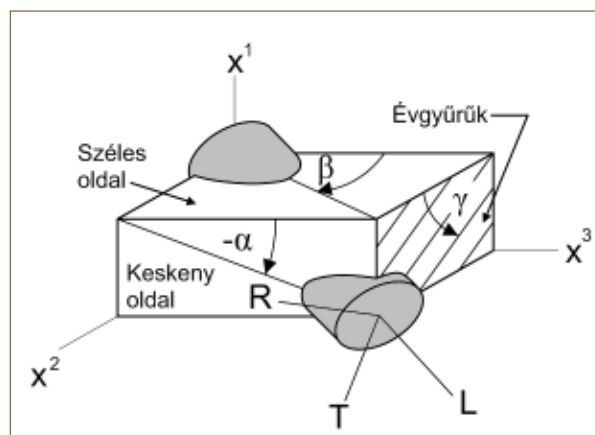
Hermanson és tsai. (1997) kifejlesztettek egy olyan transzformációs eljárást, amelyik teljesen általános orientáció esetén is érvényes. A módszer alapja a felületen mérhető szögek (rostirány, évgyűrűállás) és az Euler-szögek közötti matematikai kapcsolat. A munkánk célja kísérletileg meghatározott általános térbeli feszültségállapotok átszámítása a faanyag anatómiai főirányainak rendszerébe felhasználva Hermanson és tsai. (1997) összefüggéseit.

Elméleti ismertető

A faanyagot ortogonálisan anizotrop anyagnak lehet modellezni L , R , T ortonormális egységvektorok segítségével, ahol L – a rostirány (longitudinális irány), R – a sugárirány (radiális irány), T – a húrirány (tangenciális irány). Az általános orientációt ferde rostlefutásnak vagy ferdeszálúságnak nevezzük. A ferde rostlefutás szögeltérés a rostirányhoz képest. A ferde rostlefutás okainak vizsgálata nélkül (pl. helytelen fűrészelés, csavarodott növekedés) a ferdeszálúság mértékét úgy lehet mérni, hogy a rostok vetületét vizsgáljuk a próbatest felületén. A faanyag élei és a rostok vetületei által bezárt szögek a rostlefutási szögek (α , β). Egy egyenes helyzetű úgy lehet megadni a térben, hogy két egymásra merőleges síkon vizsgáljuk a vetületét, tehát a próbatest két (keskeny és széles) oldalán mért rostlefutási szögek (α , β) egyértelműen meghatározzák a rostirányt (L). Egy harmadik szög ismerete is szükséges, hogy az R és T irányok helyzetét meg tudjuk határozni. A harmadik szög az évgyűrűállás szöge (γ), amit a próbatest fennmaradó, harmadik síkján tudunk mérni, így meg tudjuk határozni az L , R , T rendszer pontos helyzetét a fahasáb éleihez képest (1. ábra). A mért évgyűrűállás szöge általános orientáció esetén a TL sík és az x^1x^2 sík metszete.

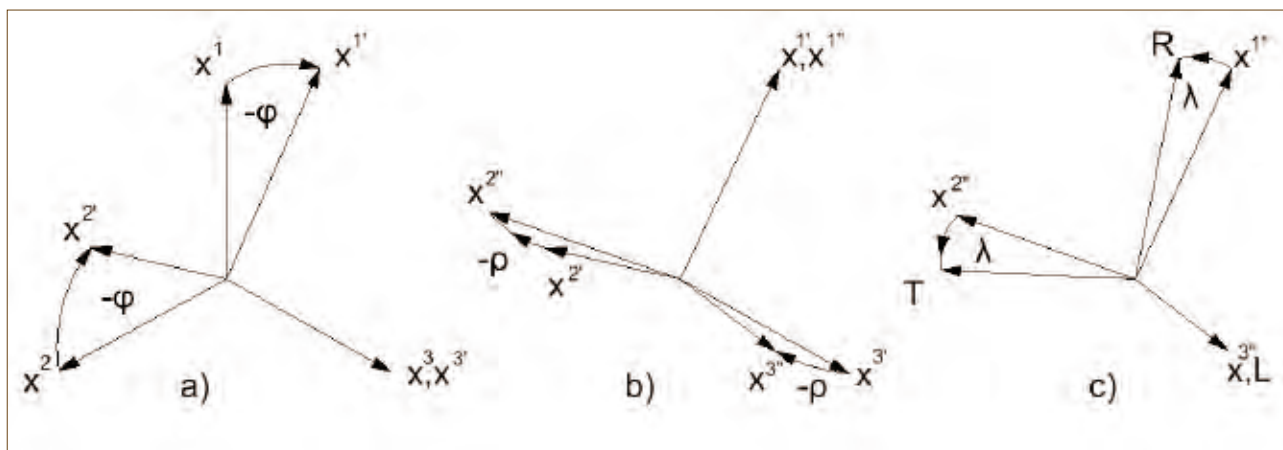
Ha a próbatest élei nem egyeznek meg az anatómiai főirányokkal, akkor a rugalmas állandókat vagy a ható feszültségi állapotot transzformálni kell a faanyag anatómiai főirányainak rendszerébe (pl. Hearmon 1948; Bodig és Jayne 1993; Szalai 1994). A problémát az jelenti, hogy a próbatest élei szabálytalan helyzetben vannak a faanyag anatómiai főirányaihoz képest, és az iránykoszinuszokat közvetlenül nem ismerjük.

Azonban egy geometriai objektum tetszőleges térbeli helyzetét megadhatjuk három egymást követő forgatással, melyeket az Euler-szögek segítségével (ϕ , ρ , λ) tudunk megoldani, ezért a transzformációs mátrix előállításához szükség van az Euler-szögek ismeretére. A 2. ábra bemutatja, hogyan lehet eljutni három forgatással a fa-



1. ábra Általános orientációjú rostirány a próbatest éleinek a koordináta-rendszerében (x^1 , x^2 , x^3). A rostirány vetületei az oldalakon az α és β szög, valamint a TL sík és az x^1x^2 sík metszete a γ szög (Hermanson és tsai. 1997)

Figure 1 Wood fiber at general orientation with respect to specimen axes x^1 , x^2 , and x^3 with projections onto specimen faces shown by angles α and β and the intersection of the TL and the x^1x^2 planes shown by γ (Hermanson et al. 1997)



2. ábra Az anatómiai főirányok helyzetének meghatározása az Euler-szögek segítségével: a) forgatás x^3 tengely körül b) forgatás $x^{1'}$ tengely körül c) forgatás $x^{3''}$ tengely körül (Hermanson és tsai. 1997)

Figure 2 Determination of the anatomical main directions using the Euler-angles: a) Rotation about x^3 axis b) rotation about $x^{1'}$ axis c) rotation about $x^{3''}$ axis (Hermanson et al. 1997)

anyag anatómiai főirányainak rendszerébe. Az Euler-szögeket közvetlenül nem tudjuk megadni, de Hermanson és tsai. (1997) meghatározták a faanyag felületén mérhető szögek (α , β , γ) és az Euler-szögek (ϕ , ρ , λ) közötti kapcsolatrendszerét. Ezeket az összefüggéseket felhasználva tudjuk transzformálni a térbeli feszültségállapotokat az L , R , T rendszerbe.

A felületen mérhető szögek és az Euler-szögek közötti kapcsolat a következő (Hermanson és tsai. 1997):

Az x^3 tengely körüli forgatás szöge ϕ :

$$\phi = \arctan\left(\frac{\sin \alpha \cos \beta}{-\cos \alpha \sin \beta}\right) \quad [1]$$

A szingularitás elkerülése miatt, ha β nulla és α nem egyenlő nullával, akkor legyen ϕ egyenlő $\pi/2$ -vel.

Az $x^{1'}$ tengely körüli forgatás szöge ρ :

Ha ϕ nem egyenlő nullával, akkor ρ megoldása a következő:

$$\rho = \arctan\left(\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha \sin \phi}\right) \quad [2]$$

Azonban, ha ϕ nullával egyenlő, akkor ρ -t így kapjuk meg:

$$\rho = \arctan\left(\frac{-\sin \beta}{\cos \beta \cdot 1}\right) \quad [3]$$

Az utolsó Euler-szög (λ) az évgyűrűállás szögéből számolható ki és az $x^{3''}$ tengely (L) körüli forgatást jelenti:

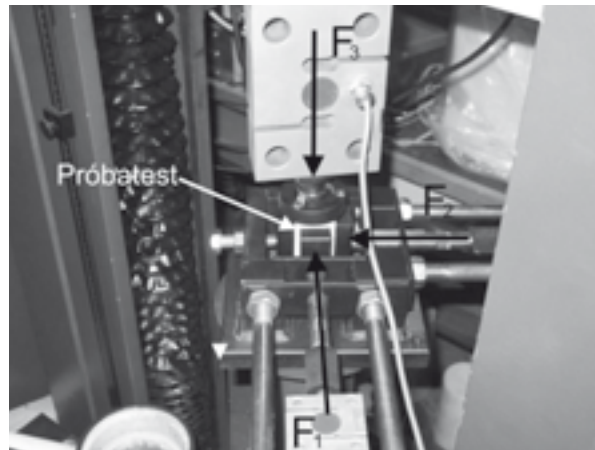
$$\lambda = \arctan\left(\frac{\sin \gamma \cos \phi - \cos \gamma \sin \phi}{\cos \rho (\cos \gamma \cos \phi + \sin \gamma \sin \phi)}\right) \quad [4]$$

Az Euler-szögek ismeretében a transzformációs mátrix előállítható. Az x^1 , x^2 , x^3 koordinátarendszerben érvényes feszültségi állapot transzformációját az L , R , T rendszerbe bemutatja a következő transzformációs mátrix:

$$\bar{\kappa} = \kappa_i^j = \kappa_j^i = \begin{bmatrix} \cos \rho & \sin \rho \sin \phi & -\sin \rho \cos \phi \\ \sin \lambda \sin \rho & \cos \lambda \cos \phi - \sin \lambda \cos \rho \sin \phi & \cos \lambda \sin \phi + \sin \lambda \cos \rho \cos \phi \\ \cos \lambda \sin \rho & -\sin \lambda \cos \phi - \cos \lambda \cos \rho \sin \phi & -\sin \lambda \sin \phi + \cos \lambda \cos \rho \cos \phi \end{bmatrix} \quad [5]$$

Kísérleti anyagok és módszerek

Vágó (2005) hasáb alakú jegenyefenyő faanyag (*Abies alba*) térbeli feszültségállapotot hozott létre (3. ábra). A térbeli feszültségállapotot három egymásra merőleges irányban alkalmazott nyomóigénybevétellel állította elő FPZ-100 univerzális törőberendezéssel, valamint egy erre a célra kifejlesztett oldalirányú terhelőberendezéssel.



3. ábra Triaxiális nyomóvizsgálat hasáb alakú jegenyefenyő (*Abies alba*) próbatesten

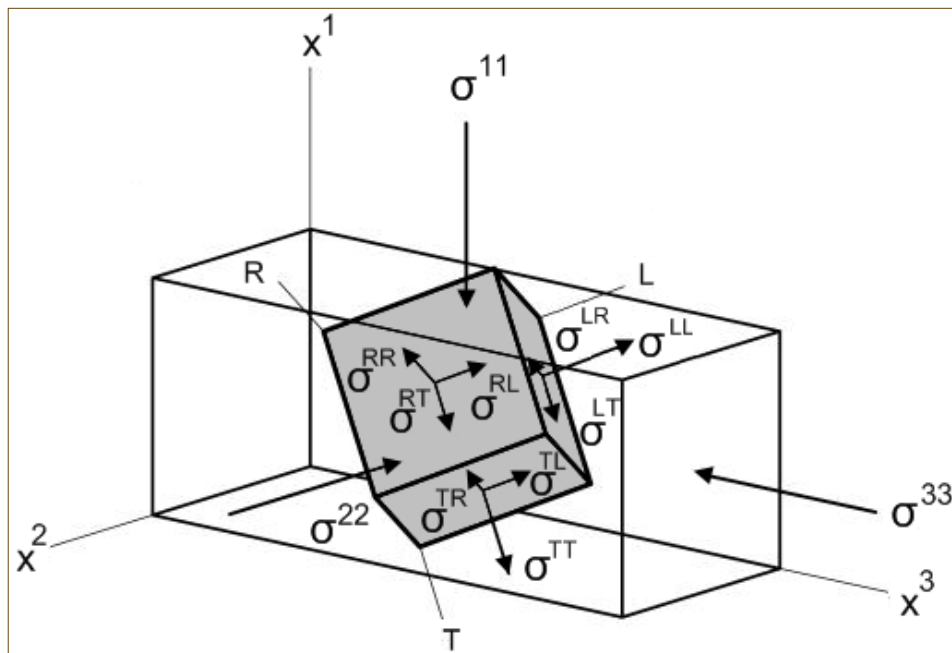
Figure 3 Triaxial compression test on prismatic European Silver Fir (*Abies alba*) sample

A tönkrementel pillanatában, a hasáiban kialakult feszültségi állapot a próbatest éléinek rendszerében (meg-
egyezik a terhelési irányokkal) a következő alakot veszi fel:

$$\bar{\bar{\sigma}}(x^1, x^2, x^3) = \begin{bmatrix} \sigma^{11} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^{22} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma^{33} \end{bmatrix} \quad [6]$$

Ha a próbatest élei nem esnek egybe a faanyag anatómiai főirányaival ($x^1 \neq L, x^2 \neq R, x^3 \neq T$), akkor a feszültségi állapot a faanyag anatómiai főirányainak rendszerében módosul (4. ábra). Látható, hogy nyírófeszültségek is fellépnek a normálfeszültség mellett.

$$\bar{\bar{\sigma}}(L, R, T) = \begin{bmatrix} \sigma^{LL} & \sigma^{RL} & \sigma^{TL} \\ \sigma^{LR} & \sigma^{RR} & \sigma^{TR} \\ \sigma^{LT} & \sigma^{RT} & \sigma^{TT} \end{bmatrix} \quad [7]$$



4. ábra Triaxiális nyomóterhelés során fellépő feszültségállapot a próbatest éléinek a koordináta-rendszerében (x^1, x^2, x^3), illetve a faanyag anatómiai főirányainak rendszerében (L, R, T)

Figure 4 Stress state due to triaxial compression in the coordinate systems of the specimen axes (x^1, x^2, x^3) and the anatomical main directions of wood (L, R, T)



A feszültségállapot transzformációja

A hasáb alakú próbatest három oldalát szemből lefényképeztük a videoextenzométer kamerájával (Messphysik). Ezután CAD szoftver segítségével meghatároztuk a rostirányok oldalirányú vetületeinek meredekségét (α , β), illetve az évgyűrűállás szögét (γ).

A felületen mért szögekből meghatároztuk az Euler-szögeket. Az Euler-szögeket a jobbkéz-szabály szerint értelmezzük a 2. ábrának megfelelően. [1-4] segítségével meghatároztuk az Euler-szögeket minden egyes próbatest esetén. Ezután, az Euler-szögek ismeretében a transzformációs mátrix [5] előállítására lehetőség volt.

A térbeli feszültségállapot transzformációját a tenzorelmélet segítségével tudjuk elvégezni. A próbatest éleinek a koordinátarendszerében uralkodó feszültségállapot átszámítása a faanyag anatómiai főirányainak rendszerébe a következő:

$$\sigma^{i'j'} = \sigma^{ij} \kappa_i^{i'} \kappa_j^{j'} \quad i, j, k = 1, 2, 3 \quad \text{és} \quad i', j', k' = L, R, T \quad [8a]$$

ahol:

$\kappa_i^{i'}; \kappa_j^{j'}$ - transzformációs mátrix [5] elemei

$\sigma^{i'j'}$ - feszültségi állapot a faanyag anatómiai főirányainak koordinátarendszerében (L, R, T)

σ^{ij} - feszültségi állapot a próbatest éleinek koordinátarendszerében (x^1, x^2, x^3)

Kifejtve, az egyes tenzorkomponensek meghatározása a következő:

$$\begin{aligned} \sigma^{LL} &= \sigma^{11} \kappa_1^L \kappa_1^L + \sigma^{22} \kappa_2^L \kappa_2^L + \sigma^{33} \kappa_3^L \kappa_3^L \\ \sigma^{LR} &= \sigma^{11} \kappa_1^L \kappa_1^R + \sigma^{22} \kappa_2^L \kappa_2^R + \sigma^{33} \kappa_3^L \kappa_3^R \\ \sigma^{LT} &= \sigma^{11} \kappa_1^L \kappa_1^T + \sigma^{22} \kappa_2^L \kappa_2^T + \sigma^{33} \kappa_3^L \kappa_3^T \\ \sigma^{RL} &= \sigma^{11} \kappa_1^R \kappa_1^L + \sigma^{22} \kappa_2^R \kappa_2^L + \sigma^{33} \kappa_3^R \kappa_3^L \\ \sigma^{RR} &= \sigma^{11} \kappa_1^R \kappa_1^R + \sigma^{22} \kappa_2^R \kappa_2^R + \sigma^{33} \kappa_3^R \kappa_3^R \\ \sigma^{RT} &= \sigma^{11} \kappa_1^R \kappa_1^T + \sigma^{22} \kappa_2^R \kappa_2^T + \sigma^{33} \kappa_3^R \kappa_3^T \\ \sigma^{TL} &= \sigma^{11} \kappa_1^T \kappa_1^L + \sigma^{22} \kappa_2^T \kappa_2^L + \sigma^{33} \kappa_3^T \kappa_3^L \\ \sigma^{TR} &= \sigma^{11} \kappa_1^T \kappa_1^R + \sigma^{22} \kappa_2^T \kappa_2^R + \sigma^{33} \kappa_3^T \kappa_3^R \\ \sigma^{TT} &= \sigma^{11} \kappa_1^T \kappa_1^T + \sigma^{22} \kappa_2^T \kappa_2^T + \sigma^{33} \kappa_3^T \kappa_3^T \end{aligned} \quad [8b]$$

Eredmények

Az 1. táblázatban látható 10 darab jegenyefenyő próbatesten elvégzett mérések eredményei. Bemutatjuk a mért felületi szögeket, a meghatározott Euler-szögeket, a próbatest éleinek rendszerében uralkodó feszültségállapotokat, illetve a faanyag anatómiai főirányainak rendszerében uralkodó feszültségi állapotokat. Meg kell jegyezni, hogy az évgyűrűállás szöge jelentős hatással van a fellépő nyírófeszültségek nagyságára (pl. a 2. számú próbatesten uralkodó $\sigma^{LR} = 14,45$ MPa), tehát az összetett feszültségi állapot sokkal veszélyesebb a tönkremenetelt illetően.

Összefoglalás és következtetések

Hermanson és tsai. (1997) által kifejlesztett módszer segítségével sikeresen tudtuk transzformálni a jegenyefenyőn elvégzett mérési adatainkat. A térbeli feszültségállapot átszámításának lépései a következők voltak:

1. Mértük a próbatest felületén lévő rostirány, és évgyűrűállás szögét (α , β , γ).
2. Meghatároztuk az Euler-szögeket (ϕ , ρ , λ).
3. Előállítottuk a transzformációs mátrixot (κ).
4. Elvégeztük a térbeli feszültségállapot transzformációját a tenzorelmélet alkalmazásával.

A későbbiekben, a tönkremenetel pillanatában, a faanyagban uralkodó térbeli feszültségállapotok segítségével ellenőrizni tudjuk a tönkremeneteli elméleteket. Mivel ismertek a térbeli feszültségállapot transzformálási szabályai a faanyag anatómiai főirányainak rendszerére, a feszültségállapot ismert a faanyag anatómiai főirányainak rendszerében is. Folytatva kutatásunkat a tönkremeneteli elméletek alkalmazhatóságát illetően, további feladat összehasonlítani a von Mises, Tsai–Wu, és az Ashkenazi tönkremeneteli elméletek alkalmazhatóságát térbeli feszültségállapot esetén. Korábbi kutatásunk (Garab és Szalai 2010) az Ashkenazi-elmélet helyességét igazolta síkbeli feszültségállapot esetén.

1. táblázat Jegenyefenyő (*Abies alba*) próbatestekre ható térbeli feszültségállapotok a próbatest éleinek koordináta-rendszerében (x^1, x^2, x^3) és a faanyag anatómiai főirányainak rendszerében (L, R, T)

Table 1 Stress states on European Silver Fir (*Abies alba*) samples due to triaxial compression. The results are given in the coordinate systems of the specimen axes (x^1, x^2, x^3) and the anatomical main directions of wood (L, R, T)

S. sz.	α	β	γ	φ	ρ	λ	σ^{11}	σ^{22}	σ^{33}	σ^{LL}	σ^{RR}	σ^{TT}	σ^{LR^*}	σ^{RT^*}	σ^{TL^*}
	[°]						[MPa]								
1	17	18	49	-43	-24	-88	-33,95	-0,93	-3,51	-28,71	-7,63	-2,06	-12,07	-0,98	1,35
2	22	22	52	-45	-30	-84	-35,33	-1,37	-3,92	-27,28	-10,83	-2,50	-14,45	-0,23	2,86
3	25	20	62	-52	-31	-69	-8,91	-0,84	-3,14	-6,99	-4,05	-1,80	-2,99	-0,28	2,15
4	24	22	53	-48	-31	-81	-29,16	-0,62	-1,75	-21,71	-8,54	-1,28	-12,40	0,71	2,63
5	-27	-13	58	-66	29	-60	-30,70	-2,53	-2,81	-23,60	-7,72	-4,33	11,12	2,79	-7,30
6	23	16	65	-56	-27	-62	-35,95	-2,74	-2,38	-28,81	-7,86	-4,18	-12,63	3,02	7,76
7	-4	-7	20	-30	8	50	-47,06	-1,41	-3,09	-46,21	-2,12	-3,24	-5,02	-0,98	-3,79
8	-14	-4	54	-74	15	-53	-39,15	-2,60	-3,02	-36,71	-4,31	-3,61	7,48	0,91	-6,04
9	-8	-9	45	-42	12	87	-37,55	-2,75	-2,37	-36,06	-4,06	-2,57	-7,64	0,10	0,12
10	-8	-2	51	-76	8	-53	-49,06	-2,38	-1,91	-48,06	-2,71	-2,53	5,58	0,69	-4,27

* $\sigma^{LR} = \sigma^{RL}$; $\sigma^{RT} = \sigma^{TR}$; $\sigma^{TL} = \sigma^{LT}$

Meg kell jegyezni azonban, hogy a hasáb alakú próbatestek triaxiális terhelése problémákat vet fel, mivel ismeretlen a terhelőkeret és a próbatest közötti súrlódó erő nagysága, valamint a többirányú nyomó igénybevételből adódóan lokális tönkremenetek is kialakulhatnak, így téves szilárdságot lehetne megállapítani (Saliklis és tsai. 1998). Ezért a kísérletek kivitelezését a geotechnikából ismert triaxiális nyomóberendezéssel hajtjuk végre henger alakú próbatesteken.

Irodalomjegyzék

- Bindzi I., Samson M. (1995): New formula for influence of spiral grain on bending stiffness of wooden beams. Journal of Structural Engineering 121(11):1541-1546
- Bodig J., Jayne B.A. (1993): Mechanics of wood and wood composites. Krieger Publishing Company, Malabar
- Garab J., Szalai J. (2010): Comparison biaxial strength criteria in the biaxial stress state. Drewno, 53 (1):51-66
- Goodman J.R., Bodig J. (1970): Orthotropic elastic properties of wood. Journal of Structural Division, ASCE 96(11):2301-2319
- Hearmon R.F.S. (1948): The elasticity of wood and plywood. Forest Products Research Special Report. D.S.I.R. No.7. HMSO, London
- Hermanson J.C., Stahl D.C., Cramer S.M. (1997): Transformation of elastic properties for lumber with cross grain. Journal of Structural Engineering 123(10):1402-1408
- Malvern L.E. (1969): Introduction to the mechanics of a continuous medium. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J.
- MSZ EN 14081-1 Faszervezetek szilárdság szerinti osztályozása, négyszög keresztmetszetű szerkezeti fa. 1. rész: Általános követelmények. 2006. április.
- Saliklis E.P., Cramer S.M., Hermanson J.C. (1998): Measuring the Triaxial Load – Deformation Response of Orthotropic Materials Subjected to Large and Small Strain Regimes. Journal of Testing and Evaluation 26(5):444-454
- Szalai J. (1994): A faanyag és faalapú anyagok anizotrop rugalmasságtana. I. rész: A mechanikai tulajdonságok anizotrópiája. Hillebrand nyomda, Sopron
- Vágó J. (2005): A faanyag tönkremeneteli elméleteinek kísérleti ellenőrzéséhez szükséges elméleti alapok. Faipar 53 (2):11-17



Fűrészáru érintésmentes sűrűségmérése

UTASSY Viktor¹, DIVÓS Ferenc¹

¹ NymE FMK, FMK MSc. hallgató

² NymE FMK, Fa-és Papíripari Technológiák Intézet

Kivonat

Fűrészáru elektromágneses hullámok segítségével történő érintésmentes sűrűségmérésére dolgozunk ki gyors mérési lehetőséget. Ennek első állomása az ionizáló (gamma, röntgen) sugárzások és a faanyag kölcsönhatásának vizsgálata. Félvezető gamma detektor és szabad szintű Am-241 sugárforrás segítségével az átsugárzásos technika alkalmazásával határoztuk meg a faanyag sűrűségét. Vizsgáltuk a faanyag nedvességtartalmának hatását is a sűrűségmérésre. Magas (0,979) korrelációt találtunk az elektromágneses hullám elnyelése és a sűrűség között.

Kulcsszavak: fűrészáru, érintésmentes sűrűségmérés, gamma-sugárzás

Non-contact density determination of lumber

Abstract

Development of a non-contact density determination technique for wood and wood products has been started at the University of West Hungary. At the first stage, the interaction of low energy gamma ray and solid wood was investigated. High purity Germanium detector and Am-241 point source was used for the test. The effect of the moisture content on density measurement was investigated. High correlation was found between the absorption of the electromagnetic wave and the density.

Key words: lumber, non-contact density determination, gamma ray

Bevezetés

A fűrészáru sűrűségmérésének fontossága vitathatatlan, hiszen a faanyag tulajdonságai és minősége nagyban függ a sűrűségtől. Erre a vizsgálatra gyors és roncsolásmentes vizsgálatok a legcélszerűbbek, ipari alkalmazások esetén. A falemez iparban a teríték vastagságát izotópos módszerrel mérik, ellenőrzik. A faipar egyéb területein izotópos technikát jellemzően nem alkalmaznak. Ennek részben az izotópok felhasználásával kapcsolatos szigorú szabályozás az oka. Ennek ellenére a kutatás folyik ezen a téren is. Gamma-sugárzás segítségével a vizsgált faanyag belső sűrűség eloszlását vizsgálták (Macedo 2002) tomográfiaival és a korai-késői pászttakat is el tudták különíteni. Gamma visszaszórásos módszer alkalmazhatóságát mutatták fa sűrűségének mérésére a Debreceni Egyetemen (Divós 1996). A gammasugárzás és anyag kölcsönhatása a fotoeffektussal, Comton szórással és

párceltéssel jellemezhető. A vizsgálatokhoz felhasznált sugárforrás esetén a Comton szórással az egyik meghatározó kölcsönhatási forma. Ekkor a gamma-részecske elektronon szóródik és energiája csökken, és irányát megváltoztatja. A visszaszórás alatt a 90 foknál nagyobb szögben történő irányváltást értjük. Ez lehetőséget biztosít arra, hogy a sugárforrást és a detektort a vizsgált faanyag azonos oldalára helyezzük el. A nedvességeloszlást sikerrel térképezte fel a fa szárítása közben gamma-sugárzás segítségével egy ausztrál csoport (Davis 1993).

A faanyag egyik legkiemelkedőbb jellemzője a sűrűség, amely szoros kapcsolatban van a faanyag fizikai és mechanikai tulajdonságaival. Homogén anyageloszlású testeknél a sűrűséget a következő képlettel határozhatjuk meg:

$$\rho = \frac{m}{V} \left[\frac{g}{cm^3} \right]; \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad [1]$$

Inhomogén szerkezetű anyagnál, mint például a fa:

$$\rho = \frac{dm}{dV} \left[\frac{g}{cm^3} \right]; \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad [2]$$

A faanyag inhomogenitása, 3 fázisú rendszere (tömrfa, víz, levegő) miatt többfajta sűrűsége határozható meg. A fa sűrűségét több egymással kapcsolatban lévő tényező befolyásolja. Ilyenek a porozitás, a nedvességtartalom, a korai és a kései pászta aránya, a minta faanyagban elfoglalt helye, ökológiai tényezők (Molnár 2004, Sitkei 1994).

A sűrűség mérésére alkalmas több mérési módszer közül a legismertebb a térfogat és tömeg mérésén alapuló módszer. Végeznek mérést kizárólag tömegméréssel, és léteznek egyéb mechanikai módszerek is. Ezeknél a módszereknél nem megoldott azonban a technológiai sorba való beépítés (Molnár 2004, Sitkei 1994).

A folyamatos mérésre az elektromágneses hullámokkal történő mérés lehet a legalkalmasabb. E sugárzások egy részét az anyagok átengedik, egy részét viszont elnyelik. A radiokatív sugárzások közül az alfa- és béta-sugárzás nagyon hamar elnyelődik, ezért csak a gamma-sugárzás megfelelő erre a célra. Ismeretes azonban ennek a sugárzás típusnak a veszélyessége.

A gamma-sugárzás és az anyag kölcsönhatásának legintenzívebb formái a fotoeffektus, a Compton szórás és a párkeltés. Ezek előfordulási lehetőségei nagyban függenek a gamma-energiától. Alacsony energiánál (0,1 MeV alatt) a fotoeffektus, ezt követően a Compton szórás, és nagy (6 MeV) energiánál a párkeltés a jellemző kölcsönhatási forma. Ha az anyagon áthaladó részecskék számát a rétegvastagság függvényében ábrázoljuk, akkor kezdetben exponenciálisan csökkenő görbét kapunk. A gamma-sugárzásnak nincs hatótávolsága és a merőlegesen beeső gamma-nyalábok esetén teljesen tökéletes az exponenciális formula:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot x \cdot \rho} \quad [3]$$

ahol:

I - az „x” rétegvastagságú anyagon áthatoló gamma-részecskék száma,

I_0 - elnyelő közeg nélkül áthaladt részecskeszám,

μ - tömegabszorpciós koefficiens [cm^2/g],

ρ - sűrűség [g/cm^3].

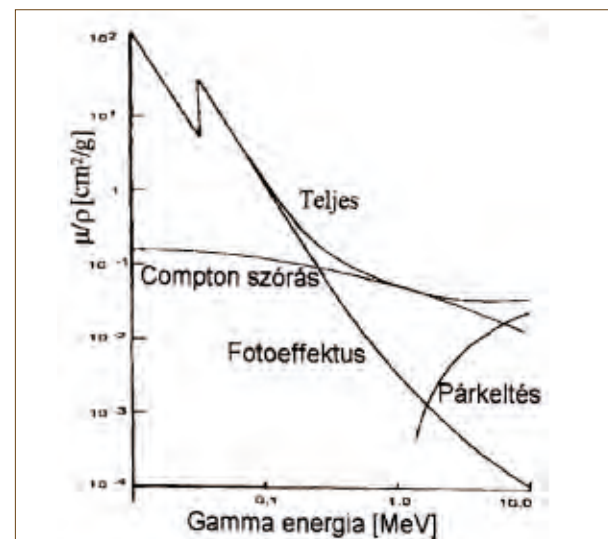
A formula kizárólag egymással párhuzamos gamma-részecskékre igaz, és egyaránt használható a fotoeffektusnál, a Compton szórásnál és a párkeltésnél (Szechey 2000, Virágh 1980, Virágh 1985, Divós 1999).

A gamma-sugárzás segítségével az átsugárzásos elrendezésben vizsgáltuk a sűrűségmérés lehetőségét és a sűrűségmérés hibáját. A sűrűség meghatározását kismértékben befolyásolja a faanyag nedvességtartalma. Külön vizsgáltuk ezt a hatást is.

Kísérleti anyagok és módszerek

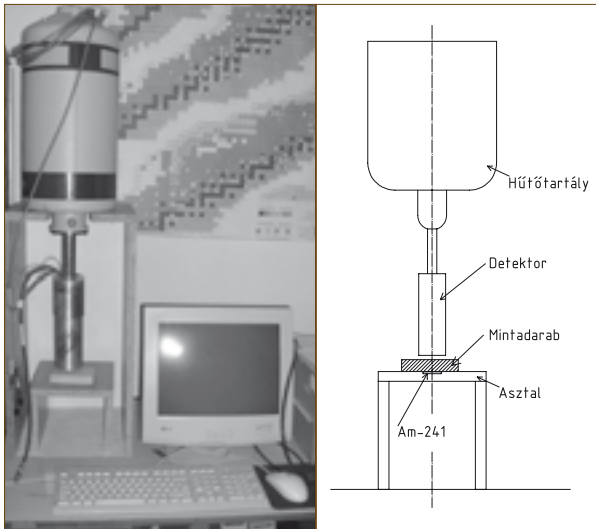
A kísérlet során 48 db 20 mm vastagságú próbatestet vizsgáltunk, melyek szélessége és vastagsága 6 és 15 cm között mozgott. A minták szélessége és hosszúsága a sugárzásos mérés szempontjából lényegtelen, ha a forrás és a detektor által meghatározott sugárzási teret a minta kitölti. A próbatestek különböző hazai fafajból (akác, gőzölt akác, bükk, tölgy, kőris, szil, juhar, dió, nyár, erdeifenyő, vörösfenyő, lucfenyő) készültek, hogy a hazai hasznófák sűrűségtartományát lefedjük ($300-900 \text{ kg/m}^3$). A minták nedvességtartalma 13-14%-os volt.

A sugárzásos méréshez kis intenzitású sugárforrást, amerícium 241-es izotópját használtuk. Ezzel a forrással kb. 0,1 MeV gamma energia előállítására lehetséges, mely energiaszintnél Compton szórás és fotoeffektus a két kialakuló kölcsönhatás. Párkeltés létrejövetele lehetetlen (1. ábra). A mérőműszer félvezető, HpGe detektorral (GEM10P) rendelkezik. A sugárforrást egy kis asztalkába süllyesztettük, és az asztalra helyezett minta fölé állítottuk a detektort (2. ábra).



1. ábra A tömegabszorpciós koefficiens a fotoeffektus, a Compton szórás, a párkeltés és a teljes, azaz a három kölcsönhatás eredője gamma-energia függvényében NaJ közegre (Szechey B., 2000)

Figure 1 The massabsorbtió coefficient has 3 componets: photo effect, Compton scattering and pair generation. Its intensity depends on the gamma energy. Figure is generated for NaJ material. (Szechey B., 2000)



2. ábra A mérés sematikus elrendezése

Figure 2 The applied setup. (Asztal: table, Detektor: Detector, Hűtőtartály: Dewar)

A próbatestek sűrűségét először térfogat- és tömegméréssel határoztuk meg analitikai mérleg és tolmérő segítségével. Egy próbatestet 5 percig mértünk. A kis intenzitást hosszú mérési idővel kellett kompenzálni, mert rövid mérési idővel ilyen kis aktivitású sugárforrásnál nagy a mérési hiba lehetősége. Néhány mintán végeztünk olyan mérést is, ahol sugárzás közben mozgattuk a próbatestet, ezzel valamelyest imitálva a fűrészipari körülmények között fellépő rezgéseket. A mozgatott próbatesteknél nem észleltünk eltéréseket a nem mozgatott esethez képest.

A tömegabszorpciós koeficiens, a tömeg- és térfogattal mért sűrűség függvényeként a 3. ábrán látható. A 4. ábrán az izotóppal mért sűrűséget ábrázoltuk a tömeg és térfogat mérésével nyert sűrűségértékek függvényeként. A számítások során használt képletek:

Tömegabszorpciós koeficiens [cm²/g]:

$$\mu = -\frac{\ln \frac{I}{I_0}}{\rho_1 \cdot v} \cdot 1000 \quad [4]$$

Sűrűség a tömeg- és térfogattal mértől [kg/m³]:

$$\rho_1 = \frac{m}{h \cdot l \cdot v} \cdot 10^6 \quad [5]$$

Sűrűség [kg/m³]:

$$\rho_2 = -\frac{\ln \frac{I}{I_0}}{\mu_{\text{átlag}} \cdot v_{\text{átlag}}} \quad [6]$$

I_0 - elnyelő közeg nélkül áthaladt részecskeszám, csúcs terület,

m - tömeg [g],

h - próbatest hosszúsága [mm],

sz - próbatest szélessége [mm],

v - próbatest vastagsága [mm].

$v_{\text{átl}}$ - próbatestek átlagos vastagsága [20 mm].

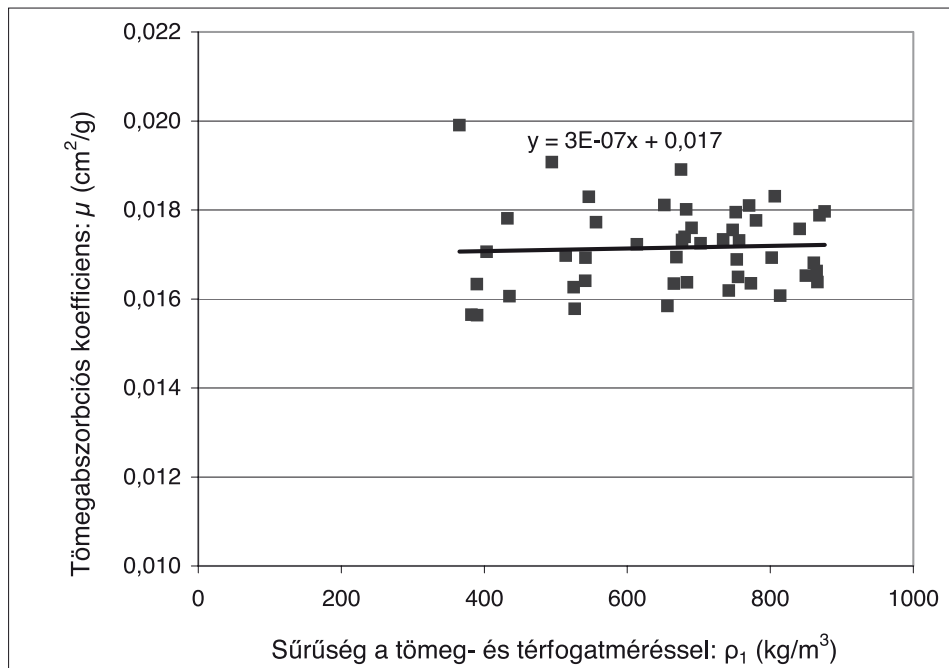
Eredmények és értékelés

A tömegabszorpciós koeficiens értékek szórása és relatív szórása 6% alatt van, amely ilyen kis intenzitású sugárforrásnál még elfogadható. Ezeket a viszonylag nagy statisztikai értékeket több tényező okozhatta. Az Am-241-es sugárforrásnál nagyobb aktivitású izotóp használatával kisebb lehet a relatív hiba. A mért tömegabszorpciós koeficiens értékét a sűrűség függvényeként a 3. ábra mutatja be, ahol egy majdnem vízszintes egyenest kaptam, melynek meredeksége $3 \cdot 10^{-7}$, ami elhanyagolhatóan kicsi. Ez azt jelenti, hogy a sűrűségmérésnél használt tömegabszorpciós koeficiens értéke nem függ a nedvességtartalomtól, korrekciót nem kell alkalmazni.

A tömeg-térfogat méréssel meghatározott, és a sugárforrással mért sűrűségek hányadosainak szórása is 6% alatt van, és az átlag százalékuk 100,37. Itt hibaforrás lehet a ρ_2 -nél használt névleges vastagsággal (20 mm) történő számolás is, mellyel szemben a térfogat mérésénél a valós értékkel számoltunk. A ρ_1 -t ábrázolja a ρ_2 függvényeként a 4. ábra. Itt látható, hogy a pontokra illesztett egyenes meredeksége 1,0151, ami kellően érzékeny sűrűségmérést tesz lehetővé. A 4. ábra eredményei az irodalmi adatokkal összevethetőek (Hang 1991).

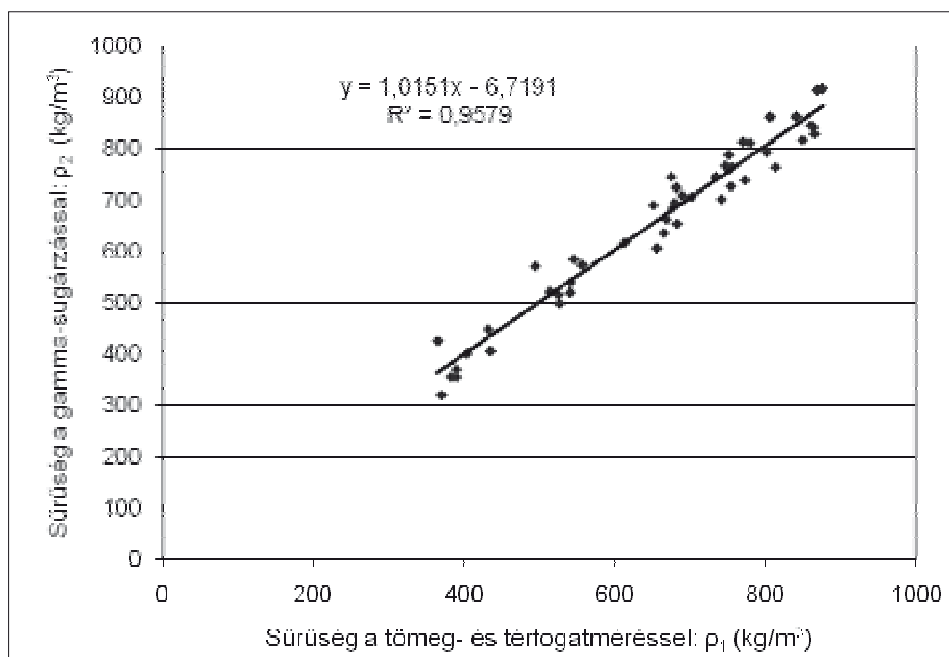
A tömegabszorpciós koeficiens értékét befolyásolja az átlagrendszer, a mintában levő kémiai elemek rendszámának súlyozott átlaga. A víz átlagrendszer eltér a fáétól, éppen ezért a faanyag nedvességtartalma befolyásolhatja a mérést. Kiválasztottunk 6 különböző fafajú és eltérő sűrűségű próbatestet, melyeket 5 napig vízben áztattunk. A tömeg és térfogat mérésére az előző mérésekhez használt eszközöket alkalmaztuk. A mintákat ezután folyamatosan szárítottuk és 8 alkalommal sugárzásos sűrűségmérést végeztünk. A 8. alkalomnál abszolút száraz volt a faanyag.

A faanyag elemi összetétele eltérő termőhelyi viszonyok mellett, más-más korú fáknál eltérést mutat, emiatt a kémiai összetevők aránya az alábbiak szerint alakul: a széntartalom 49,5%, rendszáma: 6; a hidrogéntartalom 6,15%, rendszáma: 1; az oxigéntartalom 44,2%, rendszáma: 8; a nitrogén 0,15%, rendszáma: 7 (Németh 1997).



3. ábra A tömegabszorpciós koeficiens a sűrűség függvényében

Figure 3 The massabsorbion coefficient is independent on density



4. ábra ρ_2 a ρ_1 -nek a függvényében

Figure 4 Comparison of density ρ_1 measured by balance and ρ_2 measured by gamma ray

Ezekből kiszámítva a faanyag átlagrendszáma:

$$Z_{fa} = \frac{49,5 \cdot 6 + 6,15 \cdot 1 + 44,2 \cdot 8 + 0,15 \cdot 7}{100} = 6,58$$

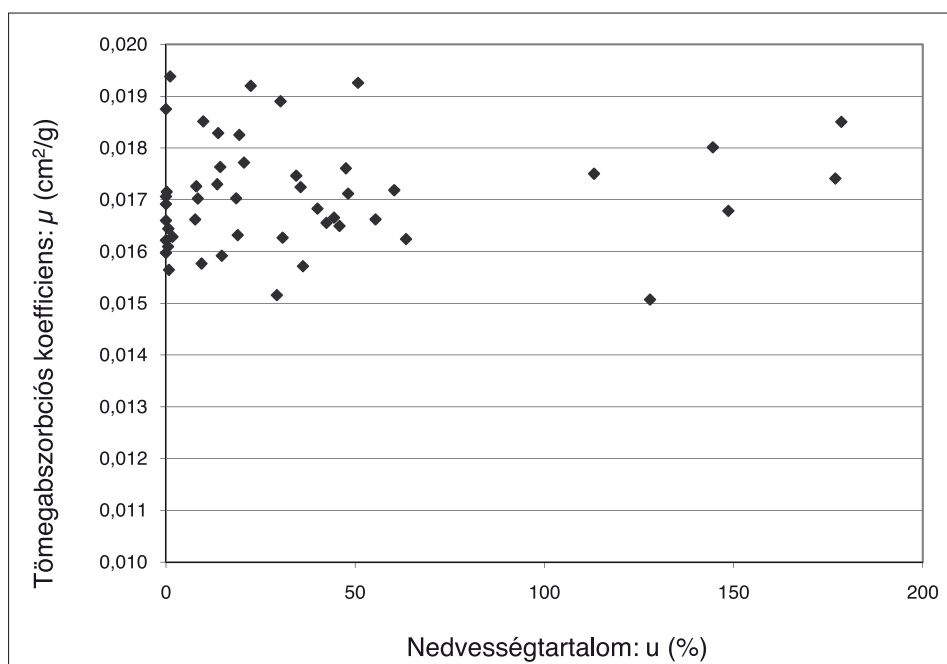
A víz H és O atomokból épül fel. A hidrogénnek relatív atomtömege 1, míg az oxigéné 16, így H 2/18-ad, az O 16/18-ad arányban van. A víz átlagrendszáma:

$$Z_{víz} = \frac{2}{18} \cdot 1 + \frac{16}{18} \cdot 8 = 7,22$$

Az eltérés elég kicsi, ezért például egy 100%-os nedvességtartalmú faanyag átlagrendszáma:

$$Z = \frac{7,22 + 6,58}{2} = 6,9$$

Ekkora eltérés csak kis mértékben változtatja meg a tömegabszorpciós koeficiens. Ábrázoltuk a tömegabszorpciós koeficiens a nedvességtartalom függvényében (5. ábra). A tömegabszorpciós



5. ábra A mért tömegabszorpciós koefficiens nedvességfüggése elhanyagolható

Figure 5 The massabsorbtion coefficient as the function of moisture content

koefficiens számításához ebben az esetben is a [4]-es képletet használtuk. A nedvességtartalmat a [7]-es képlettel határoztuk meg.

$$u = \frac{m_{\max} - m}{m} \cdot 100 \quad [7]$$

ahol:

m - az abszolút száraz faanyag tömege

m_{\max} - az aktuális nedvességtartalmon mért tömeg

Az 5. ábra bizonyítja, hogy a μ értékét a nedvességtartalom alig befolyásolja. A nedvességtartalom függést a mérési hiba elfedi. Irodalmi adatok szerint (Divós, 1993) a tömegabszorpciós koefficiens korrekciójára a 0-50%-os nedvességtartalom esetén nincsen szükség.

Összefoglalás

Végeredményképpen elmondható, hogy a módszer nagyobb intenzitásnál működőképes lehet, azonban alacsony intenzitás és hosszú mérési idő az iparban nem használható. Az ipari mérésekre is alkalmazható sugárforrás aktivitása már jelentős mértékben meghaladja az általunk használt szabadszintű forrás aktivitását. Az ilyen források tárolására, felhasználására szigorú előírások vonatkoznak, melyek betartása sok odafigyelést igényel. Fűrészüzemi mérésekre ezért nem volt lehetőség, azonban számításal megvizsgáltuk a sűrűségmérés relatív hibáját. A hibaforrás egyrészt a vastagság ingadozásából, másrészt a részecskeszám mérésének hibájából származik. A

részecskeszám mérésének relatív hibája a méréssorozatunk esetén 5,86%. A vastagság pontatlanság Gerencsér (2004) szerint szalagfűrésznél $\pm 1,5$ mm.

Míg egy vékony 16 mm-es lécnél $\frac{1,5}{16} \cdot 100 = 9,4\%$,

addig egy 200 mm vastagságú gerendánál csak $\frac{1,5}{200} \cdot 100 = 0,75\%$. Ezek alapján a készülék összesített hibaszázaléka a fűrészáru vastagságától függően

$$\sqrt{0,75^2 + 5,86^2} = 5,9\% \quad \text{és} \quad \sqrt{9,4^2 + 5,86^2} = 11,1\%$$

Ezek a hibaértékek nagyobb aktivitású forrással akár 1–9,5% környékére is csökkenthetők a fűrészáru vastagságának függvényében.

Irodalomjegyzék

- Davis JR, Ilic J, Wells P (1993) Moisture content in drying wood using direct scanning gamma-ray densitometry. *Wood and Fiber Science*. V.25(2): 153-162
- Divós F (1993) Fenyő faanyagok roncsolásmentes vizsgálata. Kandidátusi értekezés, MTA
- Divós F (szerk.) (1999) Roncsolásmentes faanyagvizsgálat (Mérési útmutató). Egyetemi jegyzet, Sopron
- Divos F, Szegedi S, Raics P (1996) Local densitometry of wood by gamma back-scattering. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 54: 279-281
- Gerencsér K (2004) Fűrészipari technológia I. Fűrészcsarnok. Egyetemi jegyzet, Sopron

- Hoag ML, Krahmer RL (1991) Polichromatic X-ray attenuation characteristics and wood densitometry applications. *Wood and Fiber Science*. V.23(1): 23-31
- Macedo A, Vaz CMP, Pereira JCD, Naime JM, Cruvinel PE, Crestana S (2002) Wood Density Determination by X- and Gamma-Ray Tomography. *Holzforschung*. Vol.56, No.5: 535-540
- Molnár S (2004) Faanyagismeret. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.
- Németh K (1997) Faanyagkémia (Kémiai szerkezet, reakciók). Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
- Sitkei Gy (szerk.) (1994) A faipari műveletek elmélete. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó Kft, Budapest
- Szechey B, Divós F (2000) Zaj-, rezgés- és sugárzásvédelem. Egyetemi jegyzet, Sopron
- Virágh E, Zöld E (1980) Radioaktív szennyeződések hatása a környezetre. BME MTI, Budapest
- Virágh E (1985) Sugárvédelem, Dozimetria. BME MTI, Budapest

A papírhulladék hasznosítása lapalapú biokompozit előállításához I.

TAKÁTS Alexandra¹, VARGA Norbert², TAKÁTS Péter³

¹ NymE FMK Informatikai és Gazdasági Intézet

² okleveles faipari mérnök

³ NymE FMK Fa-és Papíripari Technológiák Intézet

Kivonat

A kutatómunka során a nagy mennyiségben keletkező és papíripari célra is nehezen újrahasznosítható színes reklámújság lignocellulóz alapú kompozitban történő hasznosítására sikerült megoldást találnunk. A cél egy olyan biokompozit termék előállítása volt, melynek gyártása során külön, a kompozit mátrix részét biztosító kötőanyag nem került felhasználásra. Az így elkészített ökotermék a közepes sűrűségű farostlemezhez (MDF) hasonló fizikai-mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik. A színes újságpapírból készült rost a lapgyártás folyamatába könnyen beilleszthetővé válhat, miközben jelentős környezeti terheléstől képes közvetlenül megszabadítani a természetet. Az újrahasznosított hulladék papír felhasználásával készült lapalapú kompozitok így alkalmassá tehetők környezetbarát termékek tervezésére, kialakítására egy ún. ökodesign irányvonal bevezetése révén.

Kulcsszavak: : papírhulladék, rostkompozit, kötőanyagmentes, ökotermék, környezetorientált termékpolitika, ökodesign

Paper waste recycling in bio-composite boards - Part 1

Abstract

In the course of our research we have found a solution for recycling colour admag in a lignocellulose-based composite. These papers arise in huge quantities and are difficult to recycle, even in paper industry. Our aim was to produce a kind of bio-composite that doesn't require adhesives as a matrix. The eco-product generated this way has similar physical and mechanical attributes to a medium density fibreboard (MDF). Fibre made of colour newsprint can be easily adapted to board production, while nature is protected from



significant environmental threats. Composite boards produced by utilizing recycled paper waste can be used for designing and creating environmentally friendly products following the so-called eco-design trend.

Key words: paper waste, fibre based composite, adhesive-free, eco-product, environment-oriented product policy, eco-design

Bevezetés

A legtöbb iparág rendelkezik a környezet terhelését növelő melléktermékekkel, hulladék anyagokkal. Ezek a hulladék anyagok sok esetben károsak és nehezen, eseteként nagy körültekintés mellett kezelhetők, másoknak azonban könnyebb az újrahasznosításuk. Ide sorolhatók elsősorban a lignocellulóz alapú hulladék anyagok, melyek másodnyersanyagként történő hasznosítása egyre inkább előtérbe kerül. A fenntartható fejlődés szempontjából nagyon is fontos kérdés, hogy mihez kezdünk ezekkel a látványlag értéktelen és további alkalmazás szempontjából haszontalan anyagokkal.

A káros hatások, amelyek létünk vagy tevékenységünk ellenében hatnak a legkülönbözőbbek lehetnek:

- közvetlen természetet veszélyeztető anyagok, nehézfémek,
- mesterségesen kialakított környezet,
- nehezen kezelhető technológiai folyamatok, stb.

A környezeti ártalmak elleni védekezés értelmezése, tartalma, valamint módszerei az idők során jelentősen változtak. Történelmi léptekkel mérve azt mondhatjuk, hogy csak napjainkban ismertük fel az emberiség létét, fejlődését biztosító komplex tevékenységnek, a környezetvédelemnek a szükségességét.

A környezetvédelem alapvető célja az emberiség biológiai létének zavartalan fenntartása, a gazdasági, társadalmi fejlődés megtartása mellett a természeti környezet védelme. Ennek egyik eszköze a környezetorientált termékpolitika kialakítása, melynek célja, hogy a termékek, jelen kutatásunkban a nagy mennyiségben előforduló papíripari termékek teljes életciklusát figyelembe véve megtaláljuk a környezet védelmét biztosító módozatokat. Átfogó koncepcióra van szükség, amely a tervezéstől, a termék létrehozásától kezdve egészen a végső megsemmisítésig vagy az újrahasznosításig terjed. A komplex környezetvédelmi rendszer egyik legszélesebb összefüggésekkel, legszerteágazóbb kapcsolatokkal rendelkező eleme a hulladékprobléma. A hulladékprobléma felőli gondolkodás korszerűsödésével a hulladékártalmatlanítás és a hulladékhasznosítás közti elkülönültség egyre inkább megszűnik. Ma már természetesnek tartjuk, hogy a hulladékkal

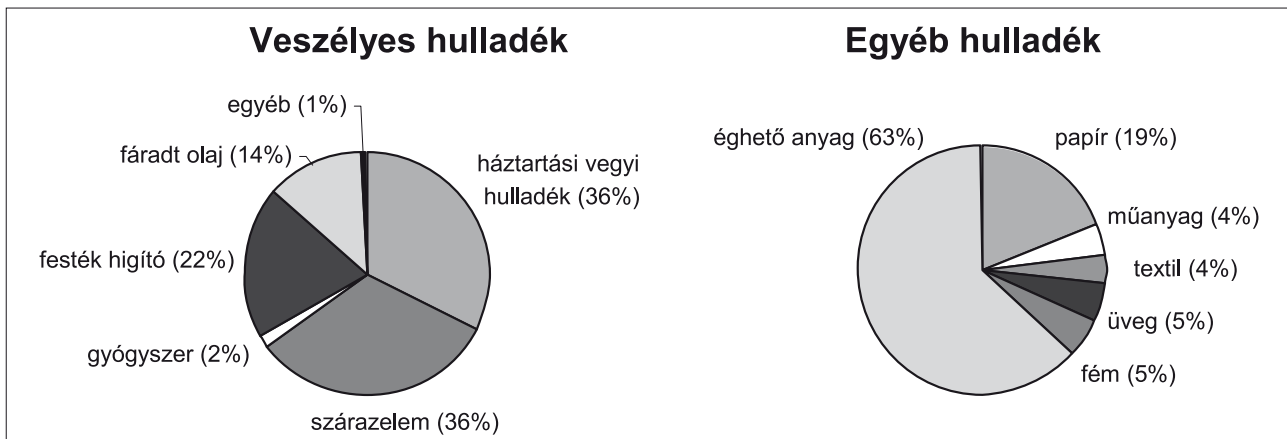
nem csak ártalmatlanítási céllal, hanem hasznosítási céllal is lehet, ill. kell foglalkozni és legújabbban a hulladék hulladékának problematikája is szóba kerül (Takáts P. 2007). A papírhulladék jelentős mértékben jelen van életünkben, ami nem csak szemetet vagy a papíripar számára újrahasznosítható papírt jelenthet, hanem egy, a kompozit tudományok területén hasznosítható nyersanyagot is. A kutatómunka során a nagy mennyiségben előforduló színes reklámújságot, mint másodnyersanyagot hasznosítottuk egy rostalapú síkpréselt öko-termék céljára.

Hulladékhelyzet

A települési szilárd hulladék összetétele az elmúlt egy évtizedben nem változott lényegesen. A hulladék mintegy harmadát teszik ki a fém, üveg, textil, műanyag és papír hulladékok és a maradékot pedig az éghető, ill. biológiailag lebomló szerves hulladékok együttesen (Fazekas és Orosz, 2007). A legnagyobb problémát a veszélyes hulladékok (pl. szárazelem, gyógyszer, festékkihígító, fáradt olaj, stb.) jelentik, melyek a háztartási vegyes hulladék mellett 64 % értéket képviselnek (1. ábra).

A lakosság hulladékproblémáját azonban csökkentheti a szelektív hulladékgyűjtés és az újrafeldolgozás továbbfokozása. Már a papírhulladék is, de különösen a színes reklámanyagok elhelyezése a környezetbarát szemléletű szakemberek számára is egyre nagyobb gondot jelent. Részletes vizsgálatnak vetettük alá a papírhulladék előfordulását és annak összetételét, hogy a lapgyártás szempontjából legalkalmasabb alapanyagot sikerüljön kiválasztani, különös tekintettel arra, hogy kötőanyag felhasználása nélküli biokompozit terméket kívántunk előállítani.

A papír felhasználása továbbra is emelkedik, és ez növekvő ökológiai problémát jelent, mivel a papíripar közel 2000 fajta vegyszert használ, annak ellenére, hogy az utóbbi években igen jelentős fejlesztések történtek ebben az iparágban. A papíripari újrahasznosítás csak enyhíteni képes a gondokon, de ehhez megfelelő hulladékgazdálkodásra lenne szükség. A legnagyobb felhasználó országokban ökológiai árképzéssel el kellene érni például a pazarló



1. ábra Települési szilárd hulladék átlagos összetétele Magyarországon 2004-ben (KVM 2006)

Figure 1 Average ratios of solid waste in Hungary, 2004 (KVM 2006)

csomagolások visszaszorítását, amely a fogyasztói társadalom fejlődésének következménye.

A papír cellulózrostból, különböző adalékanyagok segítségével nemezelődés és vízelvonás által előállított újrahasznosítható termék. Kapillár-porózus test, mérsékelten higroszkópos, ezért a környezet hőmérséklete és nedvességtartalma függvényében tulajdonságait változtatja, ugyanakkor anizotróp is, mivel a tér mindhárom irányában a tulajdonságai és méretei eltérőek, amelyben a rostok sztochasztikusan (véletlenszerűen) helyezkednek el (Rab 1999).

A papírhulladék feldolgozása során a megfelelő előfoszlást követően a vízben megduzzadt rostokat őrléssel pépesítik. A nedvesedési és az optikai tulajdonságok javítása érdekében a papírt enyvezik, majd töltőanyagokat is adnak a péphez. Az írólapokhoz például kaolint, az értékes biblíanyomó papírhoz titán-dioxidot, a színezés érdekében pedig különböző pigmenteket. Ezek az anyagok a pépben bonyolult kolloid rendszert hoznak létre, miközben a cellulóz rostokhoz kapcsolódnak. A színező anyagok különösen nagy mennyiségben jelennek meg a reklámújságokban (Rab 1999).

A papíripar az elmúlt 30 évben az ipari ágazatok közül az elsők között ismerte fel a természeti erőforrásokkal való ésszerű gazdálkodásnak, a környezetvédelemnek a fontosságát. A cellulózgyárak nettó energiakibocsátókká váltak, a papírgyártás elsődleges rostanyag-igényét mintegy felére, fajlagos energiafogyasztását harmadára, vízfogyasztását pedig tizedére csökkentette. 1996-ban például a papír újrahasznosítása Európában 32 millió tonnás rekordot ért el, melynek mintegy egyharmadát (több mint 10 millió tonnát) Németországban gyűjtötték össze. Az újrahasznosítási részarány 49,8% volt. A CEPI (Confederation of European Paper Industries) adatai

szerint Európában a papírgyártáshoz felhasznált újrahasznosított papír részaránya az elmúlt tíz év alatt közel 10%-kal nőtt. Ezzel az újrahasznosítási rátával a papíripar minden más ipari ágazat előtt jár. Ezért továbbra is ösztönözni kell ezt a környezet- és felhasználóbarát folyamatot, az önkéntes begyűjtési rendszereket, aktív törvényi támogatással is (Rab 1999).

Anyag és módszer

A hazai papíriparban – részben a termékösszetételből adódóan (csomagolópapír, karton, egészségügyi papírok nagy részaránya) – a másodlagos rostfelhasználás még az EU-átlagnál is kedvezőbb. A hulladékpapír-helyzetet kettősség jellemzi. A papírhulladék egy részét importból fedezzük, bár igaz, hogy az utóbbi évtizedben már a hazai begyűjtési arány is nagymértékben (kb. 55%) javult és ennek eredményeképpen erőteljes exportnövekedés is megfigyelhető (2. ábra). Ezt a folyamatot a hazai törvényi szabályozás azonban még több ponton (begyűjtés, import stb.) nem ösztönzi kellőképpen. Különösen lényegessé váltak ezek a kérdések az EU-csatlakozásunk kapcsán, mert például az 1994-es 94/62/EC EU direktíva szerint a tagállamoknak a csomagolási hulladék 50-65%-át vissza kell gyűjteni, és 25-45%-át újra kell hasznosítani.

Meg kell jegyezni azonban, hogy az újrahasznosítási arány növelésének – papírtípustól függően – megvannak az ésszerű korlátai. A többszöri újrahasznosítás során ugyanis a rostok rövidülnek, a papíripari termék minősége romlik. A rostosításkor arra törekszünk, hogy kíméletes módszerekkel nagy mennyiségű ép rostot készítsünk (Winkler 1999).

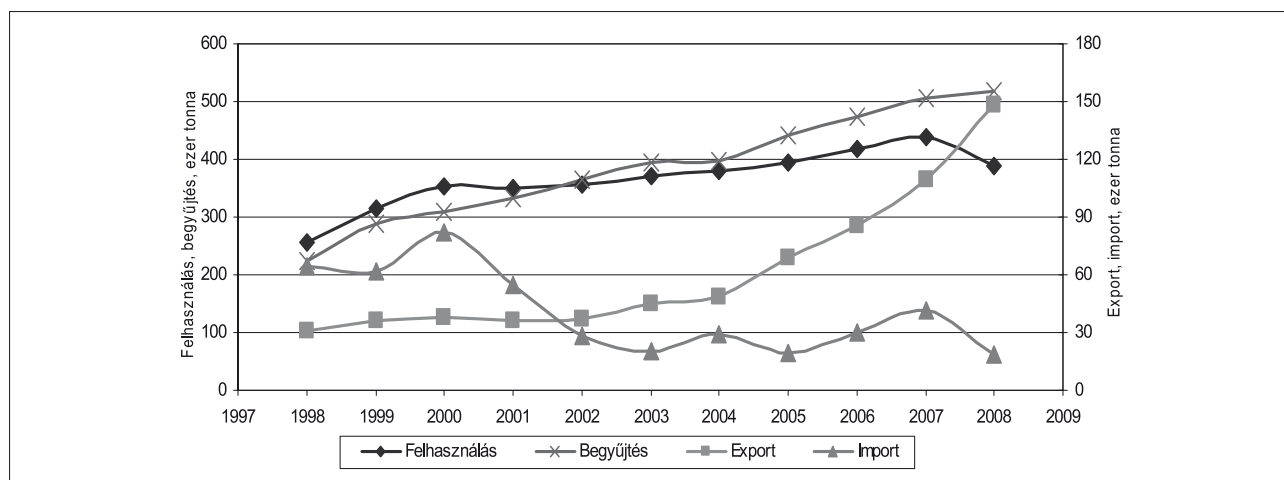
A jelenlegi ismeretek és technológiai színvonal mellett, az író-nyomó papíroknál még jó minőségű termék gyártható 50% elsődleges, és 50% másod-

lagos rost felhasználásával, mázréteg alkalmazásával. Az EUGROPPA (15 európai ország papír nagykereskedőinek egyesülete) szerint a „recycling termék” összetétele az író-nyomó papírok területén a fenti aránynak megfelelő. A papíripari újrahasznosítás, az energetikai hasznosítás és a környezetterhelés komplex összefüggésben állnak. Az EU-országokban összegyűjtött használt papírt több mint 40 különböző minőségi kategóriának megfelelően szétválogatják, és ezután döntenek a papíripari felhasználás módjáról. A maradék kerül az égetőbe, vagy deponálásra.

A papír újrahasznosítása ma még világszerte nem éri el azt a szintet, amelyet a környezetvédelmi vagy az újrahasznosítási érdekek megkívánnak, bár a nagyobb papírfogyasztású államokban már átlagosan 52% a hulladék papír újrahasznosítása. A hulladék papír újrahasznosításának általános nehézsége: a papírgyárak szoros minőségi követelményeket támasztanak a gyártásba visszavezethető hulladék papírral szemben. A papírhulladék újrahasznosítása területén ezért kell más lehetőségek után kutatni, melynek egyik alternatívája lehet a faipari, különösen a bútorigipari hasznosítás, új lapalapú ún. öko-kompozit termékek kialakítása révén. A legjobb minőségű papírhulladékot szelektív papírgyűjtéssel lehet visszanyerni, mely ma Magyarországon még viszonylag újdonságnak számít a lakosság körében. Ezt a folyamatot még tovább kell tudatosítani az emberekben és felismertetni velük a tényt, hogy ez a tevékenység hosszú távon meghozza látható eredményét a környezeti terhelés csökkentésében. Nem megoldott még a papírhulladékból kivont, nyomdafestéket tartalmazó hulladék környezeti kár okozása nélkül való elhelyezése. Ezért igyekeztünk olyan hasznosítási megoldást találni, melynek során ezt a nem kis költséggel járó műveletet elkerüljük.

A papírhulladék másodlagos anyagként való visszanyerése és annak újrahasznosítása, valamint az elégetéssel történő energiatermelés között jelentős ellenérdekeltség van világszerte. A gazdaságos égetés minél nagyobb hőtartalmú, száraz hulladékot igényel, a másodlagos anyaghasznosítás pedig az egyik legnagyobb hőtartalmú hulladékkomponenst vonja ki a kevert települési hulladékból.

Belátható, hogy a papír újrahasznosítása még sok megoldásra váró problémát vet fel, de az eredmények nagyon biztatóak, ami arra ösztönöz minden szakembert, aki ezen a területen dolgozik, kutat, hogy a lehetőségekhez mérten segítse ennek az iparágak a működését, fejlődését. A kimerülőben lévő természeti energiaforrások, a hulladékkal telítődő környezetünk problémái mind olyan gondolatokat vetnek fel, hogy az iparban keletkező és mindennapi életünkben megjelenő anyagokat a lehető leghasznosabb célra fordítsuk. Új fejlődési stratégiákra van szükség, mert a Föld erőforrásai végesek, amelyeket kimerít a növekvő népesség ellátásához szükséges javak előállítására. Ennek következtében a földi élet kerül veszélybe, mivel mint véges rendszer képtelen lesz regenerálódni és az emberiségnek a létfeltételeket biztosítani. Az új stratégia a fenntartható fejlődés néven vált ismertté. Ez egy olyan modell kíván lenni, amely a következő generációk számára is szeretné megőrizni a természeti erőforrásokat. Anyag- és energiatakarékos, alacsony hulladéktartalmú vagy hulladékmentes termelést, a megújítható erőforrások fokozottabb hasznosítását, a fogyasztás ésszerű módosítását hangsúlyozza. Környezetbarát termékek fogyasztását célozza meg, amelyek elhasználódás után a lehető legkevésbé terhelik a környezetet, hogy a ma élő népesség számára is biztosítsák az alapvető szükségleteket. A közelgő „szemétválság” jelenséget 2050-re



2. ábra Hazai hulladékpapír-forgalom 1998 és 2008 között (KVM 2006)

Figure 2 Domestic waste paper circulation between 1998 and 2008 (KVM 2006)

jósolják a szakemberek. Az egyik megoldás a városi szemét elgázosításából nyerhető ún. „bioszén” lehet, mely a talajba juttatva 47%-ban képes megkötődni, miközben az üvegházhatás csökkentése mellett a növények növekedését jelentős mértékben elősegíti.

A papírgyártók az egész világon csak olyan papírhulladékot használnak fel higiénés és technológiai okokból, amely még nem keveredett a szeméttel, azaz szelektív hulladékgyűjtésből származik. A papír életútelelemzés egzakt alapadatok hiányában még nem képes arra, hogy akár globális, akár regionális méretben meghatározza a fenntartható fejlődést legjobban szolgáló újrahasznosítási arányokat, valamint az égetés és az újrahasznosítás legkedvezőbb arányát. A nagyipari újrahasznosíthatóság műszaki-technológiai, logisztikai és társadalmi feltételei csak az utóbbi évtizedekben értek meg, elsősorban a szerény favagyonnal, de magas papírtermelési kultúrával rendelkező országokban (Rab 1999).

A papírhulladékok fajtái

Miután a papírok feleslegessé váltak felhasználójuk számára, a papírfajták sokfélesége válik fogyasztás után hulladékká. A különböző papírfajtákból keletkező hulladékok korban és ennek következtében tulajdonságokban és időben eltérő másodlagos nyersanyagforrást jelentenek. A papírhulladékok megkülönböztetésére kétféle irányzat alakult ki: az angol és a német. Az angol 8–10, a német 30–50 féle papírhulladékot különböztet meg. Az angol változatot vette át a legtöbb kelet- és közép-európai ország. A német irányzatot az osztrákok és az észak-amerikaiak használják. Az Európai Unióban a CEN (Centre Européenne de Normalisation, Bruxelles) 1994-re tudta az egyes nemzetek tapasztalatait ötvözve létrehozni a hulladék papírok európai szabványos minőségének jegyzékét, amelyet Magyarország a következő évben bevezetett, annak ellenére, hogy még nem volt tagja a közösségnek.

A BIR (Bureau of International Recycling, Brussels) és a CEPI (Confederation of European Paper Industries, Brussels) 1999-re elkészítette a fenti szabvány korszerűsítését. Ez már a papírhulladékok ötfokozatú besorolását teszi lehetővé, azaz a használt papírt eredete és fajtája szerint a szabvány egyes-gyenge (A), közepes (B), jó minőségű (C), valamint csak fehérítetlen cellulózt tartalmazó (kraft) (D) csoportba sorolja. Felvesz továbbá a negyedik fehérítetlen rostú hulladékpapír csoport mellett egy ötödik, különleges technológiákat igénylő speciális papírhulladék csoportot (E). A fajtán belüli megkü-

lönböztetés lehetőséget ad a begyűjtőnek és a papírgyárnak arra, hogy a gyártandó papír minőségéhez, ill. a papírhulladék-újrahasznosító berendezés műszaki paramétereire jobban igazodó papírhulladék-szállítás valósulhasson meg (1. táblázat).

A fenti felsorolás áttekintése is azt bizonyítja, hogy a módosításokkal kiegészített új szabvány is nehezen fog útmutatást adni – elsősorban információhiány miatt – a papírhulladékok, illetve a belőlük kinyerhető reciklált rostok minőségéről, nem kis feladat elé állítva a hulladékpapír gyűjtőket.

Összefoglalás

- A környezetvédelem központú tervezés (ökodesign) arra irányul, hogy egy termék egész életciklusa során érvényesíteni kell a környezetvédelmi követelményeket.
- A tervezéskor nemcsak a termékek életciklusának hosszabbítására kell törekedni, hanem a gyártás és használat során keletkező hulladékok csökkentésére és hatékony felhasználására, újrahasznosítására is hangsúlyt kell helyezni.
- A kutatómunka során megvizsgáltuk a hulladékok előfordulásának módját, mint jelentős ökológiai problémát és a papírhulladék szabályozásának törvényi hátterét.
- Részletes vizsgálatnak vetettük alá a hazai hulladékpapír-helyzetet, különös tekintettel a begyűjtés, felhasználás, export és import alakulására.
- Az EU direktívák figyelembevételével bemutattuk a hulladék papír előfordulásának és értelmezésének öt legfontosabb csoportját, annak összetételét.
- A kísérleti munka során a rostalapú biokompozit termék előállítására a reklámanyagként előforduló színes folyóirat*** került felhasználásra (3. ábra).
- Azért döntöttünk a közepes minőségű hulladékpapírok (B) csoportba tartozó színes folyóirat mellett, mivel nagy mennyiségben előforduló anyagról van szó és feltételezésünk szerint összetétele következtében, megfelelő mechanikai feltárást követően, kötőanyag felhasználása nélkül alkalmassá tehető lapalapú biokompozit termék előállítására.
- A rostosítást követően a zavaró színek a feldolgozott papírhulladék esetében megszűnt és egy homogén szürke színű, vattaszerű rosthalmaz keletkezett.
- Az elvégzett előkísérletek arra engedtek következtetni, hogy rostkompozitok előállítása céljára a megfelelő módon mechanikailag feltárt színes folyóirat alkalmas (4. ábra).



1. táblázat A papírhulladékok csoportosítása a CEPI és a BIR ajánlata szerint (Forrás: Varga 2002)

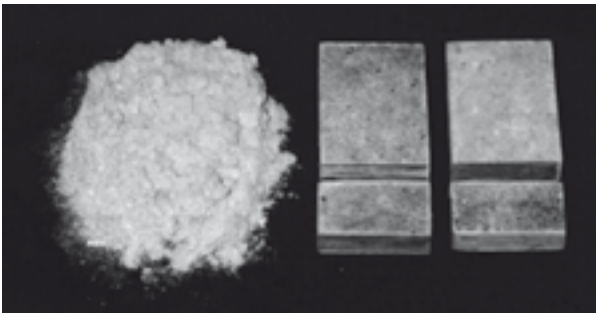
Table 1 Waste paper classification according to CEPI and BIR recommendations (Source: Varga 2002)

Vegyes minőségű hulladék papírok (A):	Közepes minőségű hulladék papírok (B):	Jó minőségű hulladék papírok (C):	Fehérítetlen rostú hulladék papírok (D):	Speciális hulladék papírok (E)
Vegyes1, osztályozatlan;	Újságpapírok, max. 5% színes betéttel;	Enyhén színes vegyes szélhulladék;	Hullámdoboz-gyári eselék;	Vegyes papír és karton;
Vegyes2, osztályozott;	Eladatlan újság, színes betét nélkül;	Könyvkötészet eselék***;	Hullámdoboz-gyári eselék (cellulóz és félcellulóz);	Vegyes csomagolószerek;
Kartonok;	Eladatlan újság színes betét és flexo-nyomás nélkül;	Tépett fehér eselék;	Hullámdoboz-gyári eselék (kraft- és testliner);	Folyadékcsomagoló dobozok;
Áruházi hullám;	Nyomdai szélhulladék kevés nyomdafestékekkel;	Fehér íromány***;	Használt hullámdobozok I (csak kraftliner és félcellulóz fluting);	Kraft burkoló papírok;
Használt hullám;	Nyomdai szélhulladék kevés nyomdafestékekkel*;	Fehér üzleti nyomtatvány;	Használt hullámdobozok, legalább egy kraftliner réteg;	Nedvesszilárd címkepapírok;
Eladatlan folyóirat;	Nyomdai szélhulladék nyomtatott;	Számítógépes nyomtatvány***;	Használt zsákok;	Nyomatlan, fehér nedvesszilárd papírok;
Eladatlan folyóirat*;	Nyomdai szélhulladék nyomtatott*;	Nyomatott fehér cellulózkarton;	Használt zsákok PE bevonattal;	Nyomatott, fehér nedvesszilárd papírok
Telefonkönyv;	Irodai papírok, osztályozott;	Alig nyomtatott fehér cellulózkarton;	Használatlan zsákok;	
Újság (min. 50%) és folyóirat I;	Színes íromány;	Fehér, mázolt nyomtatvány***;	Használatlan zsákok PE bevonattal;	
Újság (min. 60%) és folyóirat II;	Fehér könyv***;	Fehér, nyomtatott karton;	Használt kraft papírok;	
Folyóirat (min. 60%) és újság*;	Színes folyóirat***;	Fehér, alig nyomtatott karton;	Használatlan kraft papírok;	
Lakossági brossúra**	Karbonmentes másoló;	Fehér, nyomatlan karton;	Használatlan bevásárló tasakok	
	Fehér PE bevonatú karton;	Nyomatlan újságpapír;		
	PE bevonatú karton***;	Fehérítet, fatartalmú, mázolt vagy mázolatlan, nyomatlan;		
	Fat. számítógépes nyomtatványok	Fehérítet, fatartalmú, mázolt papír, nyomatlan;		
		Fehér mázolt nyomatlan** ,***;		
		Fehér szélhulladék nyomatlan;		
		Fehér szélhulladék nyomatlan***;		
		Nyomatlan fehér cellulózkarton		

Megjegyzés: Fat.: fatartalmú, * : ragasztások nélkül, ** : osztályozott, *** : famentes hulladék papírt jelent



3. ábra Színes folyóirat durva aprítás után
Figure 3 Colour periodicals after rough chopping



4. ábra Papírost és biokompozit mintatestek
Figure 4 Paper fibre and biocomposite specimens

A kísérleti munka lefolytatásáról és annak eredményeiről a következő cikkben szándékozunk részletes ismereteket nyújtani.

Irodalomjegyzék

- Erdély Zs.(2010): Nemzetközi papírpiaci helyzetkép. *Papírpar* 54(1):14-15.
Fazekas I., Orosz Z. (2007): A települési szilárdhulladék-gazdálkodás jelenlegi helyzete és vár-

ható jövője Magyarországon. In: Proc. Települési Környezet Konferencia, Debrecen, 2007. november 8-10. p290-297.

- Kerekes S., Kindler J.(1997): Vállalati környezetmenedzsment. Aula Kiadó, Budapest p440.
Kerekes S., Szlávik J.(2003): A környezeti menedzsment közgazdasági eszközei, KJK Kerszöv, Budapest
Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium (2006) A települési szilárdhulladék-gazdálkodási fejlesztési stratégiája 2007-2016. Tanulmány p52
Náray-Szabó G. (2006): Fenntartható a fejlődés? Akadémiai Kiadó, Budapest
Rab A. (1999): A papír újrahasznosítása; doktori (PhD) értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron
Takáts P. (2007): Szeretlen kötésű kompozitok. Egyetemi tankönyv, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest p122.
Varga N. (2002): Színes reklámújság felhasználásával készült lignocellulóz kompozit. Diplomamunka, NymE Faipari Mérnöki Kar, Sopron p87.
Winkler A. (1999): Farostlemezek, Mezőgazdasági Szaktudás Könyvkiadó, Budapest 1-125.
Winter G. (1987): Das umweltbewußte Unternehmen. Ein Handbuch der Betriebsökonomie mit 22 Checklisten für die Praxis; Verlag C.H. Beck, München.

Hidakról, földrajzi-történeti áttekintés

II. rész: A Keletrómai Birodalomtól a középkorig

LÁNG Elemér¹

¹ Associate Professor Emeritus, West Virginia University, Division of Forestry and Natural Resources, Morgantown, WV 26505

Kivonat

A publikációsorozat második része Bizánc, az iszlám világ és Európa középkori hídjairól nyújt rövid tájékoztatást. Elsősorban a fa vagy részlegesen fa szerkezetű hidak ismertetése volt a

célunk. A kéziratban az egyes hidak sorsa, át- vagy újjáépítésük ideje – az elérhető információk adta lehetőségek szerint – szintén közlésre kerültek.

Kulcsszavak: hídszerkezetek, fedett fahidak, történeti áttekintés

About bridges, geographical - historical overview

Part II: From the Byzantine Empire to the medieval ages

Abstract

In the second part of these publications bridges from the Byzantine Empire through the expansion of Islam to the Medieval Ages are briefly discussed. The thrust of this part of the series was to discuss mainly wooden bridge structures. In the manuscript, the fate (i.e., time of remodeling or rebuilding) of individual bridges are also mentioned according to the available information.

Key words: bridge structures, covered bridges, historical overview

Bevezetés

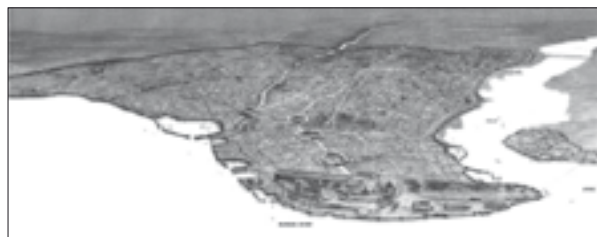
A publikáció első része (Láng, 2011) a hidak fejlődésének rövid történetét taglalta a nyugat-római kultúra hanyatlásával bezárólag. Követve az eddigi gyakorlatot, ez a második rész is a földrajzi elhelyezkedés és időrend figyelembe vételével íródott. Az egyes – területileg és kulturálisan elhatárolt – társadalmak hídépítési gyakorlatát összevonva és kronológiájuk sorrendjében említjük meg. A felölelendő téma meglehetősen széles. A leiratban feltehetően észlelhető az információ bőségének zavara. Ha az olvasó úgy érzi, hogy jelentős kultúrák és hidak tárgyalása háttérbe szorult, úgy nagy valószínűséggel igaza van.

Bizánc és az iszlám terjeszkedése

Az európai középkor az i. sz. V–XVI. században több, átfedésben lévő periódusból tevődik össze. A korai középkorban (cca. 450–800) az antik – elsősorban a római – kultúra időtálló hídjai a birodalom határain belül és a peremterületeken természetesen kiszolgálták az ott élő népek igényeit. Ám később, a belső villongások és az állandó hadiállapotok az infrastrukturális építkezések visszafogottságát eredményezték.

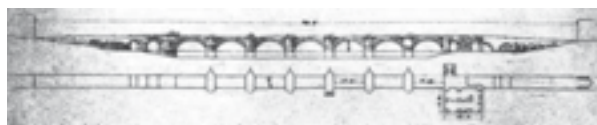
A Bizánci Birodalom a középkor elején még virágzott. I. Justitianus (483–565) krónikásának, a caesariai Procopiusnak (500–565) leírásaiból ismerjük ezen időszak középítkezéseit (De Aedificii,

cca. 551, De Bellis, késői 550-es évek). Az I. Justitianus korabeli Konstantinápoly feltételezett látképét az 1. ábrán tanulmányozhatjuk. A kép jobb felső sarkában az Aranyszarv-öböl első hídja látható, amit Justitianus építtetett. Erről a fa pontonhídról írásos feljegyzések nem maradtak meg. A császár másik jelentős hídja, a Sangarius (Sakarya) kőhíd (ép. cca. 560) Anatóliában (2. ábra).



1. ábra Konstantinápoly I. Justitianus korában (Forrás: Wikipedia.com)

Figure 1 Constantinople during the reign of Justinian I. (Source: Wikipedia.com)



2. ábra Sakarya (Justitianus) hídja, ép. 562 (Forrás: de Laborde, 1838)

Figure 2 The Sakarya Bridge (Bridge of Justinian), built: 562 A.D. (Source: de Laborde, 1838)

A híd egy pontonhidat volt hivatott helyettesíteni, amit Procopius szerint gyakorta elmosott az ár. A mészkőből épült, hét fő pillérrel alátámasztott híd teljes hosszával (429 m), 9,8 m-es szélességével és 10 m-es magasságával korának jelentős műszaki alkotása lehetett.

A Keletrómai Birodalom hanyatlásának egyik oka az arab (iszlám) terjeszkedés volt. Mohamed próféta (571–632) sikeresen egyesítette az Arab-félszigeten élő nomád törzseket. Az akkori kelet-római császár, Flavius Heraclius (575–641) megpróbálta elejét venni az arab expanciónak, de a Rashidun kalifátus hadvezére, Khalid ibn al-Walid (592–642) irányításával először a Yarmouk folyó melletti (636), majd egy évvel később az Orontes folyó melletti (637) vashídi csatában is katasztrofális vereséget mért a túlerőben lévő bizánciakra. A vashíd valójában egy kilencnyílású kőboltozatos híd volt, csak a fa hídkapuk vaskeretezése miatt emlegetik ezen a néven.

A Yarmouk folyó hídját (3. ábra), Muhammad ibn Jarir al-Tabari (838–923) perzsa történetíró és teológus említi először Királyok és Próféta c. munkájában. E híd építési éve nem ismert, és bizonyára hadi célokat szolgált. A XIX. században az angolok vasúti híddá alakították át. Az alakuló Izraeli Állam Hagana kommandói 1946-ban a „Hidak éjszakája” néven elhíresült akciójuk során használhatatlanná tették.

Az előbbieken említett vereségek következtében a Földközi-tenger déli és keleti partja néhány évvel később már teljesen arab uralom alatt állt. Ebben a földrajzi régióban a kora-középkori hidakról kevés emlék maradt. Egy festőien szép mérnöki mestermunkát láthatunk a 4. ábrán. A jemeni Shaharah

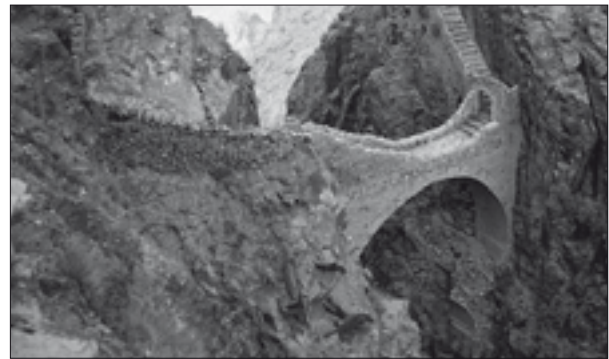


3. ábra A Yarmouk folyó hídjának romjai Szíria és Jordánia határán, ép. i. sz. 636 előtt (Fotó: B. Gagnon, 1968)

Figure 3 Bridge over the Yarmouk River at the Syrian and Jordanian border, built: before 636 A.D. (Photo: B. Gagnon, 1968)

gyaloghídról sajnos keveset tudunk. Építési éve és építetője nem ismert, a félköríves boltozat és a falazatok kialakítása azonban római behatásra utal.

Byzantium, majd Konstantinápoly, 1930-tól hivatalosan Isztambul, önmagában is unikum a hídépítések történetében. 1453-ban II. Mehmed szultán (1432–1481) ostrom alá vette a várost. Georgius Sphrantzes és Nicolo Barbaro korabeli krónikások feljegyzései szerint a törökök az Aranyszarv-öbölben egymás mellé rögzített hajókon keresztül mozgatták csapataikat. Az ideiglenes hajóhíd – egy késő-középkori francia kódex illusztrációja – az 5. ábrán látható. Az utolsó bizánci császár, XI. Konstantin (1404–1453) halálával és Konstantinápoly elestével az Ottomán Birodalom előtt megnyílt az út Európa felé.



4. ábra A Shaharah híd Jemenben, ép. ? (Fotó: B. Gagnon, 1986)

Figure 4 The Shaharah Bridge in Jemen, built: ? (Photo: B. Gagnon, 1986)

Ötven évvel később, II. Bayezid (1447–1512) a mai Galata és Karaköy városrészek között, az öböl bejáratánál tervezett hidat építtetni. A szultán Leonardo da Vincit (1452–1519) és Michelangelo Buonarrotit (1475–1564) is felkérte tervek készítésére. Michelangelo elvetette az ötletet. Leonardo da Vinci viszont egy 240 m hosszú és 24 m széles parabolikus ívhíd tervezett, amit végül is nem építettek meg (6–7. ábrák).

Az Aranyszarv-öböl áthidalásának ötlete az 1800-as évekelejiéig elfelejtődött. A Hayratiye híd (ép. 1836) II. Mahmud (1808–1839) parancsára építették az öbölben a bejáratnál följebb (8. ábra).

A híd összekötött pontonokra épült, kb. 500–550 m hosszúságban. Abdülmecid (1839–1861) szultánsága alatt épült az első híd az öböl bejáratánál 1845-ben. Ez a cölöp- és pontonhíd mintegy 18 évig volt használatban. Ethem Pertev pasa irányításával a második Galata pontonhíd 1863-ban készült el Abdülaziz szultán (1861–1876) rendeletére.



5. ábra II. Mehmed hajóhídja Konstantinápoly ostroma alatt (1453) (Forrás: Charter, Chronique)

Figure 5 Pontoon bridge of Mehmed II during the siege of Constantinople (1453) (Source: Charter, Chronique)

A harmadik hidat az angolok építették 1875-ben. A 24 pontonon nyugvó hídpálya 480 m hosszú és 14 m széles volt (9. ábra).

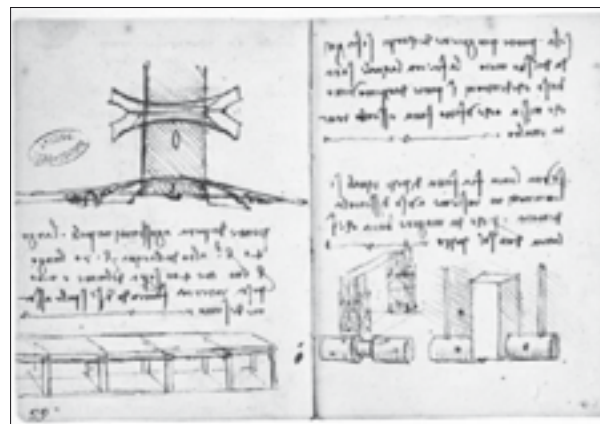
A negyedik pontonhíd 1912-ben készült, acél vázszerkezettel és fa hídpálya borítással. Nyolcvanévi üzemelés után 1992-ben leégett. A jelenlegi Galata híd (ép. 1994) egy korszerű, kétkonzolos felvonóhíd, amelyen villamos is közlekedik.

A török terjeszkedés Európában is létrehozta a maga infrastruktúráját. Ennek egyik szép példája a Neretva hídja (ép. 1557) Mostarban (10. ábra). A három szultánt is szolgáló Mimar Szinán (1490–1588) korának legnagyobb oszmán építészé volt. Az I. Szulejmán (1494–1566) uralkodása alatt épített Neretva-hidat 1993-ban a délszláv háborúban barbár módon rommá lótték. Helyreállítása 2004-ben fejeződött be nemzetközi szponzorok és az UNESCO segítségével.

Szinán másik jelentős hídja, a Mehmed Pasa híd a Drinán, Visegrádnál készült el 1577-ben már III. Murad (1574–1595) szultánsága idején. Az égetett téglából és mészkőből falazott, 11 ívvel

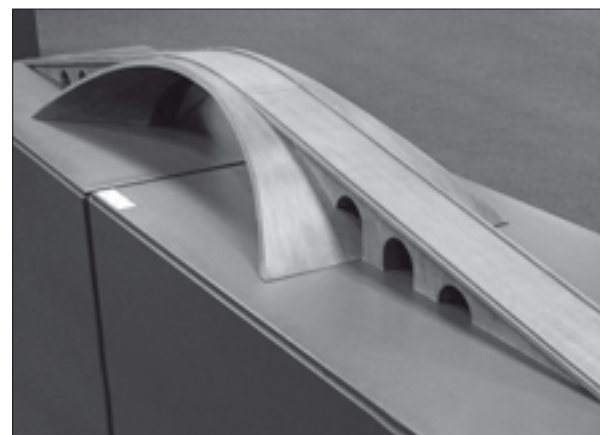
megépült híd hossza 179,5 m (11. ábra). Mindkét világháborúban jelentősen megrongálódott, bár mindeddig még sikerült helyreállítani.

Az Ottomán Birodalom fa és hajóhídjainak sok magyar vonatkozása van. A mohácsi csata előtt, I. Szulejmán veretett ideiglenes fahidat a Dráván Eszék mellett, amit Buda elfoglalása után elbontatott. Mintegy ötven évvel később (1578), a törökök húsz-ezer „gyaur” rabszolga munkájával egy 8 km hosszú, állandó, a Dráva mocsaras árterületén is átvezető hidat építettek (12. ábra). A híd tölgyfa pilléreken, palánk járófelülettel készült és a hódoltsági helyőrségek és a török seregek ellátását volt hivatott biztosítani. Stratégiai fontosságából eredendően gyakori színhelye volt hadi eseményeknek. Pálffy Miklós (1552–1600), Győr és Tata visszafoglalója, 1599-ben felperzseltette, azonban a törökök viszonylag gyorsan helyreállították. Hatvanöt évvel később,



6. ábra Leonardo da Vinci vázlata a Galata hídról (1502) (Forrás: Wikipedia.com)

Figure 6 Sketch of the Galata Bridge by Leonardo da Vinci (1502) (Source: Wikipedia.com)



7. ábra Az Aranyzarv-öböl hídjának makettje Leonardo da Vinci vázlata alapján (Forrás: Wikipedia.com)

Figure 7 Makett of the Golden Horn Bridge after the sketch by Leonardo da Vinci (Source: Wikipedia.com)



8. ábra A Hayratiye híd az Aranyszarv-öbölben, ép. 1836 (Forrás: Wikipedia.com)

Figure 8 The Hayratiye Bridge over the Golden Horn, built:1836 (Source: Wikipedia.com)



9. ábra A harmadik Galata híd, ép. 1875 (Forrás: Wikipedia.com)

Figure 9 The third Galata Bridge, built: 1875 (Source: Wikipedia.com)



10. ábra A Neretva eredeti hídja Mostarban, ép. 1557 (Fotó: Josephine W. Baker)

Figure 10 The Neretva Bridge in Mostar, built:1557 (Photo: Josephine W. Baker)



11. ábra Mehmed Pasa hídja a Drinán Visegrádnál, ép. 1577 (Fotó: Julian Nitzsche)

Figure 11 Bridge of Mehmed Pasha over the Drina at Visegrad, built: 1577 (Photo: Julian Nitzsche)

1664-ben Zrínyi Miklós (1620–1664) vezetésével a magyarok a hidat porig égették. Még ugyanebben az évben Köprülü Ahmed nagyvezír (1635–1676) egy ideiglenes hajóhíddal biztosította az átkelést a Dráván. Az újraépített híd Leslei Jakab osztrák tábornok égettette fel 1684-ben.

Budán az ottomán fennhatóság alatt (1541–1686) a törökök állandó hajóhidat üzemeltettek. A mintegy 25-30 kihorgonyzott hajóból álló tartószerkezetet pallóborítás fedte (13. ábra). Az 1556 előtt épített hajóhíd az évek során többször is természeti vagy hadi károsodást szenvedett. Végezetül Pest és Buda feladásakor a törökök maguk rombolták le.

Hidak a középkori Európában

A kialakulóban lévő – Róma fennhatóságán kívül eső – európai kereskedelmi és hatalmi központokban a folyók jelentette akadályokat elsősorban fából épült hidakkal küzdötték le. A nem idő- és háború-álló szerkezeteket nagyjából a X–XIII. század során állandó kő- vagy téglapépítésű hidak váltották fel.

Mielőtt ezek közül néhányat említenénk, egy gyaloghídra hívnánk fel a figyelmet (14. ábra). Az Exmoor Nemzeti Parkban (Somerset, Anglia) a Barle folyó „kőrákás hídja” (clapper bridge) 17 áthidalással mintegy 55 m hosszú. Az egyes áthidaló megalítok súlya eléri az öt tonnát. A híd kora meglehetősen vitatott, egyes források a X. századra datálják.

London már a római időkben is jelentős átkelőhely volt a Temzén. Az első századoknak tulajdonított London híd (ép. cca. 1016) valószínűleg fa ponton és/vagy cölöphíd lehetett. A feljegyzések szerint a híd 1091-ben tornádó, majd 1136-ban tűz pusztította el. Húsz év után, 1176–1209 között megépült az ún. „Old London Bridge” (15. ábra).



12. ábra A törökök hadihídja Eszéknél a Dráva és árterülete felett, ép. 1578 (Forrás: Tolnai világtörténelme. Újkor, 1910)

Figure 12 Turkish army bridge at Osijek over the Drava and its floodplain, built:1578 (Source: Tolnai világtörténelme Újkor, 1910)



13. ábra Török hajóhid Buda és Pest között, ép. cca. 1585 (Forrás: Leunclavius, 1588)

Figure 13 Turkish pontoon bridge between Buda and Pest, circa 1585 (Source: Leunclavius, 1588)



14. ábra A Tarr-Steps híd a Barle folyón, Somerset, Anglia, ép. cca. 1000 (Fotó: Stefan Kühn 2004)

Figure 14 The Tarr-Steps clapper bridge over the River Barle, built: circa 1000 (Photo: Stefan Kühn 2004)



15. ábra Az „Öreg London híd” a Temzén, ép. 1176-1209 (Forrás: W. Morgan 1690)

Figure 15 Old London Bridge, built: 1176-1209 (Source: W. Morgan 1690)

A húszpilléres és négyszintes épületekkel fedett építmény áthidalásait kő ívszerkezetekkel oldották meg. A nem beépített közöknél pedig fa vonóhidakkal tették lehetővé a hajózást. Véglegesen az új London híd átadása után (1831) bontották le. A Temze egy másik jól dokumentált hídja az 1772-ben épült Chelsea, avagy Battersea híd (16. ábra). Minden lényeges szerkezeti eleme fából készült, és a hídpályát zúzott mészkő burkolat fedte. A híd kisebb-nagyobb átalakításokon ment keresztül, majd 1884-ben gazdasági okokból lebontották.

A Perry Barr híd ugyancsak Angliában a Tame folyón korábban – cca. 1500-tól – meglévő fűrészbak pilléres, fa hídja helyett épült 1711-ben (17. ábra). Az ilyen kialakítást „málhásló” (horspack) hídnak nevezik, mert csak gyalogosok vagy málhásállatok forgalmára alkalmasak. Európa-szerte viszonylag sok ilyen hídszerkezet maradt fenn a középkorból. A 18–21. ábrák ma is meglévő, középkori hidakat ábrázolnak Európa főleg nyugati feléből. Szerkezetüket a masszív pillérezés, boltíves áthidalás és a faragott kő vagy téglá használata jellemzi. A korszakra jellemző erődítményszerű kialakítás és néhány hídnál a kisebb precizitást igénylő csúcsíves boltozat is megfigyelhető (19. ábra).

A hadakozásoktól jobban megkímélt területeken a természetes faanyagból készült hidak használati élettartama jelentősen megnőtt. Ennek egy példája a Zürichi-tó – IV. Rudolf (1338–1365) Habsburg herceg által építtetett – cölöphídja (22. ábra). A közel ötszáz, tölgy cölöpre épített híd mintegy másfél kilométer hosszú és 4,8 m széles volt.

A Rapperswilben lévő híd 520 évig állta a történelem és az időjárás viharait. A svájci szövetségi parlament a Zürichi-tavon 1878-ban egy kőgátat építtetett. Bár ma sem tudni valójában miért, feltehetően a megváltozott hidrológia viszonyok miatt, a híd még az évben leszakadt.

Egy középkori híd sorsát a berni Aar folyón megépült Alsókapu híd (Untertorbrücke) metamorfózisán keresztül mutatnánk be. A teljesen fából készült első hidat IV. Hartman (1213–1264), a Kyburg-ház akkori vezetőjének felügyelete alatt építteték (23. ábra).

A tölgy cölöpökkel alátámasztott tartógerendákat durva palló járőfelülettel borították be. Történetek szerint a szerkezet egy része fedett volt, de erre nincs egyértelmű bizonyíték. Az 1460-as árvíz a hidat tönkretette, majd Bern város vezetése egy kőpilléres híddal helyettesítette, ami még mindig gerenda és palló tartószerkezettel rendelkezett (24. ábra).



16. ábra A „Chelsea/Battersea” híd a Temzén, ép. 1771–1772 (Forrás: Walter Greaves olajfestménye, 1874)

Figure 16 The Chelsea/Battersea Bridge over the Thames River, built:1771–1772 (Source: Oil on c. by Walter Greaves, 1874)



17. ábra A Tame hídja, avagy „cikkakk” híd Perry Barr-nál, Birmingham, Anglia, ép. 1711 (Forrás: Wikipedia.com)

Figure 17 The Zigzag Bridge of the Tame River at Perry Barr, Birmingham, England, built: 1711 (Source: Wikipedia.com)



18. ábra Vézère hídja Montignac-nál, Franciaország, ép. XI. sz. (Fotó: Manfred Heyde, 2008)

Figure 18 The Bridge of Vézère at Montignac, France, built: 11th century (Photo: Manfred Heyde, 2008)



19. ábra XII. századi híd Gartempe Saint-Savin mellett a Vienne folyón (Franciaország) (Fotó: Denis Helfer, 2006)

Figure 19 Bridge from the 12th century at Gartempe à Saint-Savin over the Vienne River (Photo: Denis Helfer, 2006)



20. ábra Téglaboltíves híd a Tarn felett, Albi, Franciaország, ép. cca. 1035 (Fotó: M. Schneider és C. Aistleitner, 2007)

Figure 20 Brick arches of the Tarn Bridge in Albi, France, built circa 1035 (Photo: M. Schneider és C. Aistleitner, 2007)



21. ábra A St. Martin híd Toledóban (Spanyolország) a Tajo folyón, ép. XIV. sz. (Forrás: Wikipedia.com)

Figure 21 The St. Martin Bridge in Toledo (Spain) over the River Tajo, built: 14th century (Source: Wikipedia.com)



22. ábra Rapperswil városa és a középkori fahíd a Zürichi-tavon (Forrás: metszet/etching by Rudolf Ringger, 1865)

Figure 22 Rapperswil and the mediaval wooden bridge on the Lake Zurich (Source: metszet/etching by Rudolf Ringger, 1865)



23. ábra Az Alsókapu híd építése Bernben, IV. Hartman felügyeletével (1256) (Forrás: Tschachtlan, 1470)

Figure 23 The Lower Gate Bridge under construction in Bern supervised by Hartman IV, (1256) (Source: Tschachtlan, 1470)

Ez az átépítés 1467-re készült el. Később a híd folyamatos átalakításokat élt meg. A fa építőelemek eltűntek és lőréssel ellátott, erődjellelű felépítményekkel valamint felvonóhíddal egészítették ki (25. ábra).

A XVIII. század derekára a híd elvesztette katonai jelentőségét és átépítették. A lőállásokat és a megerősített parapeteket elbontották. Ezáltal a híd szélessége megnőtt és a forgalma is felgyorsult. A XV. századi állapotából jóformán csak a tufa ívszerkezetek és a pillérek maradtak meg. A keleti hídfőhöz egy barokk stílusú diadalív épült (26. ábra). A homokkő pillérkapukat a XIX. század elején gránit lapokkal burkolták be és 1819-ben neogótikus, öntöttvas korlátokkal látták el.

A fentebb leírtakhoz hasonló átalakulásokon a középkori hidak többsége átesett. Ennek következtében a hidak építészeti stílusjegyeit nehéz be-

azonosítani. Jó példa erre a Károly híd Prágában, amelynek építését 1357-ben kezdték és 1402-ben fejezték be Peter Parler (1330?–1399) tervei alapján (27. ábra). A híd román és gótikus jellegű, szobrai viszont jórészt barokk alkotások.



24. ábra A berni Alsókapu híd az 1460-as években (Forrás: Tschachtlan, 1470)

Figure 24 The Lower Gate Bridge at Bern during the 1460s (Source: Tschachtlan, 1470)



25. ábra A híd a XV. sz.-i megerősítések után (Forrás: Gregorius Sicking, 1600, in Furrer, 1984)

Figure 25 The Bridge after the fortifications during the 15th century (Source: Gregorius Sicking, 1600, in Furrer, 1984)



26. ábra Gabriel Lory litográfiája: az Alsókapu híd 1819-ben (Forrás: H. Markwalder, 1941)

Figure 26 The Bridge after the fortifications during the 15th century (Source: H. Markwalder, 1941)



27. ábra A prágai Károly híd (Fotó: František Fridrich, 1870)

Figure 27 The Charles Bridge in Prague (Photo: František Fridrich, 1870)

A középkor európai hídépítészete gyakran a már meglévő, korábbi hidak át- vagy újraépítéséből állt. Természetesen, mint majd minden következtetés, ez sem egyetemes érvényű. A fejlődő folyam menti középkori városok megépítették saját, eleinte még kezdetleges hídjaikat. A háborúk és gazdasági megfontolások kényszerítette változtatások időrendisége mindig az adott terület földrajzi helyzetétől és a mindenkori politikai, katonai helyzettől függött.

Irodalomjegyzék

- Bibliothèque nationale de France Manuscript Français 2691 folio CCXLVI v. Chartier, Chronique
- Barbaro N. (1453): The Siege of Constantinople, according to the eyewitness
- Barbaro N. (1453): Diary of the Siege of Constantinople
- De Hamel C. (1986): A History of Illuminated Manuscripts, Boston, David R. Godine

- Deanesly M. (July 1969 ed.): A history of early medieval Europe, 476 to 911 Methuen young books, ISBN 0416299709 p636
- Ehsan Yar-Shater (ed. 1989–2007) „The History of al-Ṭabarī”, in 40 volumes, State University of New York press ISBN 0-88706-563-5
- Furrer B. (1984): Übergänge, Berner Aarebrücken, Geschichte und Gegenwart, Bern, Benteli, ISBN 3-7165-0492-0
- Gibbon E. (1998): Decline & Fall of the Roman Empire, Wordsworth Editions, ISBN 1853264997
- Graf B. (2002): Bridges that Changed the World, Prestel, Munich (Germany), ISBN 3791327011, 2002; pp. 34-35
- Guler A. , Freely J., Burrelli A. R. (1992): Sinan: Architect of Suleyman the Magnificent and the Ottoman Golden Age, London
- Hofer P. (1959): Die Stadt Bern., Kunstdenkmäler des Kantons Bern, 1, Basel: Gesellschaft für Schweizerische Kunstgeschichte / Verlag Birkhäuser, pp. 193-224, ISBN 3-90613-113-0.
- Küsnahter Jahrbuch (1991): S. 22 Rappersweil, Stahlstich von de: Rudolf Ringger aus dem „Album vom Zürichsee”, um 1865
- Lay M. G., James E. (1992): Ways of the World: A History of the World's Roads and of the Vehicles That Used Them, Vance, Rutgers University Press 1992, p199
- Leunclavius J. (1588): Annales Sultanorum Othmanidarum, Frankfurt
- Liptai E. szerk (1985): Magyarország hadtörténete, Zrínyi katonai kiadó, Budapest ISBN 9633263379.
- Markwalder, H. (1988): 750 Jahre Bern, Bern 1941. Beton-Verlag, pp. 162–167 ISBN 3-7640-0240-9.
- Morgan, W. (1904): Surveyed by: 1690 London Bridge, Published: London, London Topographical Society
- Norwich J. (1995): Byzantium, The Decline and Fall Penguin, London, pp. 446.
- Porizka L., Hojda Z., Pesek J. (1995): The Palaces of Prague, pp. 216
- Tschachtlanchronik (1984): Scanned from Furrer, Bernhard, Übergänge: Berner Aarebrücken, Geschichte und Gegenwart, Berne: Benteli, ISBN 3-7165-0492-0.
- www.wikipedia.com



Tudományos cikkek benyújtása a Faipar részére

Kiadványunkba örömmel várjuk tudományos igényű közleményeiket. Felhívjuk szíves figyelmüket, hogy a Faipar célja eredeti alkotások közlése, ezért csak olyan cikkeket várunk, amelyek más újságban még nem publikáltak. A folyóirat magas színvonala és a szerkesztői munka megkönnyítése érdekében kérjük az alábbiak betartását:

- A cikkeket egyszerű formátumban kérjük elkészíteni (12pt Times New Roman betűk, dupla sorköz, elválasztások nélkül.) A stílusok használatát kérjük mellőzni. Az ilyen formában elkészített cikkek terjedelme max. 10 oldal lehet, az ennél hosszabb munkákat kérjük több, külön publikálható részre bontani.
- A cikkekhez angol nyelvű címet, kulcsszavakat, és egy rövid (max. 100 szavas) angol összefoglalót kérünk mellékelni.
- A szerzőknél kérjük feltüntetni a tudományos fokozatot, a munkahelyet és beosztást.
- Az irodalomjegyzéket az első szerző neve szerint, ABC-sorrendben kérjük. Kérjük, ügyeljenek a hivatkozások pontos megadására (újságcikkek esetén év, évfolyam, szám, oldalak; könyvek esetén év, a kiadó neve, székhelye, oldalak száma.) Kérjük, a cikken belül a szerző és az évszám megadásával hivatkozzanak ezekre.
- Az ábrákat és táblázatokat a benyújtott anyag végén, külön lapokon kérjük megadni. A táblázatokat és ábrákat meg kell számozni, és címmel ellátni. A szövegben ezekre szám szerint kérünk hivatkozni (1. ábra, 2. táblázat, stb.)
- Az egyenleteket az MS Word egyenletszerkesztőjével kérjük elkészíteni (kivéve egészen egyszerű egyenletek esetében), és szögletes zárójelekkel beszámozni: [1]. Az állandóknál és változóknál dőlt betűformátum alkalmazását kérjük.

Felhívjuk szíves figyelmüket, hogy a Faiparhoz beérkező cikkek lektorálásra kerülnek, ami után azokat, ha szükséges, javításra / átdolgozásra visszaküldjük a szerzőknek. A szerzők javaslatait a lektor személyére vonatkozóan örömmel vesszük. A végleges, javított szöveget, elektronikus formában kérjük. A kéziratokat a következő címre várjuk:

Varga Dénes
NymE-ERFARET Nonprofit Kft.
9400 Sopron Bajcsy-Zsilinszky u. 4.
E-mail: vargadenes@nyme.hu
Tel.: 99/518 602, Fax: 99/518 601

FAIPAR

A FAIPAR TUDOMÁNYOS FOLYÓIRATA

Szerkesztőség:

Bejő László főszerkesztő
Varga Dénes szerkesztő
Farkas Péter tördelőszerkesztő
Kantó Ildikó olvasószerkesztő

Szerkesztőbizottság:

Molnár Sándor (elnök), Albert Levente,
Csóka Levente, Hargitai László,
Kovács Zsolt, Peszlen Ilona,
Szalai József, Tóth Sándor,
Varga Mihály, Winkler András

FAIPAR - a faipar tudományos folyóirata és a Nyugat-magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Karának alumni lapja. Megjelenik a Nyugat-magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Karának és a Faipari Tudományos Egyesületnek a közös gondozásában.

Kiadja a NymE-ERFARET Nonprofit Kft.

Design: Farkas Péter

A folyóirat célja tudományos igényű, lektorált cikkek megjelentetése és általános tájékoztatás a hazai és nemzetközi faipar híreiről, újdonságairól.

A cikkekben kifejtett nézetek a szerzők sajátjai, azokért a Faipari Tudományos Egyesület és a NymE Faipari Mérnöki Kar felelősséget nem vállal. A kiadványban található cikkeket, tanulmányokat a szerzők tudtával és beleegyezésével publikáljuk. A cikkek nem reprodukálhatók a kiadó és a szerzők engedélye nélkül, de felhasználhatók oktatási és kutatási célokra, illetve idézhetők más publikációkban, megfelelő hivatkozások megadása mellett.

Megjelenik negyedévente.

Megrendelhető a Faipari Tudományos Egyesületnél (1027 Budapest, Fő u. 68.) A kiadványt a FATE tagjai ingyen kapják. Az újságcikkeket, híreket, olvasói leveleket Varga Dénes részére kérjük elküldeni

A kiadvány elektronikus elérhető a <http://faipar.fmk.nyme.hu>, valamint a www.erfaret.hu weboldalon.

Készült a soproni ReproLan Kft. nyomdájában, 500 példányban.

HU ISSN: 0014-6897

Címlap:

Közönséges tiszafa (*Taxus baccata*) - 2011-ben az év fája
(Fotó: dr. Börcsök Zoltán)

