

A fa és a cement kapcsolatának javítása LbL nanobevonatokkal

BEJÓ László¹, MAJOR Balázs², CSÓKA Levente¹

¹ Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Faalapú Termékek és Technológiák Intézet

² Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Fizika-Elektrotechnika Intézet

Kivonat

A cementkötésű kompozitok a szerves kötőanyaggal készült termékeknel kevésbé éghetőek, és alacsonyabb az önsúlyuk, mint a hagyományos építőanyagoké (pl. vasbeton). Ennek ellenére, alacsony szilárdságuk miatt nem alkalmasak szerkezeti teherviselő építőelemek gyártására. A rétegenkénti (LbL: Layer-by-Layer) nanobevonat képzés segítségével a fa és a cement közötti kapcsolat jelentősen javítható.

Az ismertetésre kerülő kutatás a nyár fafurnér és a cement kapcsolatának javítását célozta Poli(Diallil-dimetil-ammonium klorid) (PDDA), Poli(Allilamin-hidroklorid) (PAH), illetve Poli(Nátrium 4-sztirénszulfonát) bevonatok segítségével. A különbségi spektroszkópiás vizsgálatok alapján a PDDA-PSS bevonat tökéletesen adszorbeálódott a felületen, egyre egyenletesebb rétegeket képezve, míg a PAH-PSS bevonat szintén jól megtapadt, azonban a rétegek kialakulása kevésbé volt egyenletes. Mindkét bevonatkombináció drámai módon javította a cement és a faanyag közötti kapcsolatot. A PDDA-PSS bevonattal a kihúzási ellenállás több mint tízszeresére, a PAH-PSS-sel pedig közel tízszeresére nőtt. A PDDA-PSS bevonat tíz réteg után, a PAH-PSS öt réteg után nem hozott további javulást. További vizsgálatok szükségesek annak megállapítására, hogy alkalmasak-e a nanobevonatok teherviselő cementkötésű kompozit gerendák készítésére.

Kulcsszavak: cementkötésű fakompozit, faalapú teherviselő anyagok, LbL nanobevonat, különbségi spektroszkópia, kihúzási ellenállás

Improving the wood-cement interface by LbL nano-coating

Abstract

Cement bonded composite materials are less flammable than their organic bonded counterparts, and they weigh less than traditional building materials (e.g. reinforced concrete).

Due to their low strength, however, they are not suitable for creating load-bearing building components. Layer-by-Layer (LbL) nanocoatings may be used to improve the connection between wood and cement.

The goal of this research project was improving the connection between hybrid poplar veneer and cement using Poly(Diallyl Dimethyl Ammonium Chloride) (PDDA), Poly(Allylamin Hydrochloride) (PAH), and Poly(Sodium 4-Styrenesulfonate) (PSS). Based on difference spectroscopy analysis, the PDDA-PSS coating was adsorbed to the surface very well, forming layers of increasing uniformity. PAH-PSS also bonded well, but layers were less uniform. Both combinations improved the connection between the wood and cement dramatically. PDDA-PSS improved the load-withdrawal resistance of wood from the cement matrix more than tenfold. Results were almost as good using PAH-PSS. There was no further improvement observed after 10 and 5 cycles of treatment by PDDA-PSS and PAH-PSS, respectively. Further experimentation is required to establish whether nanocoatings can improve the strength of cement bonded composites enough to be used as structural load bearing composite beams.

Keywords: cement bonded wood, structural wood composite, LbL nanocoating, difference absorbance spectra, withdrawal resistance

Bevezetés

A faalapú anyagok sok szempontból ideális megoldást jelentenek: könnyű, megújítható és újrahasznosítható anyagok, tulajdonságaik az adott alkalmazási területnek megfelelően alakíthatók. Többek között szerkezeti anyagokként is alkalmazást nyernek, például faalapú teherhordó gerendák formájában, melyek egyre elterjedtebbek Észak-Amerikában, de Európában is növekszik a népszerűségük (FPL 2010).

E termékek egyik jelentős hátránya az éghetőségük. A természetes faanyaghoz hasonlóan általában éghető, normál lobbanékonyaságú besorolást kapnak. Emiatt egyes régiókban – köztük hazánkban is – szigorú építési előírások vannak érvényben, amelyek korlátozzák a használatukat, kitűnő specifikus szilárdságuk és környezetbarát gyártástechnológiájuk ellenére.

Európában a vasbeton szerkezeti elemek alkalmazása a legelterjedtebb, különösen a nagyobb lakó- illetve közösségi épületek esetében. Ezek az építőanyagok jól beváltak, azonban nagy az önsúlyuk, nem megújuló alapanyagból készülnek, sok energia befektetésével, gyártásuk pedig jelentős szén-dioxid-kibocsátással jár. Környezeti szempontból előnyös, hogy az összetevők megfelelő odafigyeléssel bizonyos mértékig újrahasznosíthatók.

A faalapú teherhordó gerendák és a vasbeton szerkezetek kombinációja sok szempontból ideális megoldást jelenthetne. A meglévő cementkötésű faalapú anyagokkal kapcsolatos tapasztalatok, valamint a szerkezeti elemek előállítására vonatkozó előkísérletek (Bejó és tsai. 2005) eredményei azonban azt mutatják, hogy a cementkötésű termékek szilárdsága elégtelen teherhordó gerendák előállításához. Ennek az egyik oka a fa és a cement közötti kémiai összeférhetetlenség, amely megakadályozza a megfelelő kötési szilárdság létrejöttét (Takáts 2007).

Az LbL nanotechnológia (rétegenkénti nanobevonat képzés) egy viszonylag új eljárás, amelyet a '90-es években dolgoztak ki. A módszer lényege: az egyes anyagok felületkémiai tulajdonságainak megváltoztatása olyan módon, hogy az anyagot felváltva pozitív, illetve negatív töltésű polielektrolitokba mártjuk. A polielektrolit kolloid oldat a belemártott felületen megkötődve nanoréteget alkot, amelyhez a következő, ellentétes töltésű nanoréteg kapcsolódni tud. Ideális körülmények között a rétegek egyre folytonosabbá, a felületi töltés pedig egyre homogénabbá válik (Decher és tsai. 1994).

Az LbL nanotechnológia nagyon egyszerű, olcsó és hatékony eljárás. Sok különböző típusú polielektrolit, vagy akár egyéb anyag (pl. nanorészecskék) felhordható a kezelendő felületek széles választékára. De Villiers és tsai (2011) átfogó áttekintést tettek közzé a különböző tanulmányokban tárgyalt anyagokról, eljárásokról és alkalmazásokról. Az LbL nanobevonatok különösen hasznosnak bizonyultak az orvostudományban, ahol a felületkémiai változások drámaian javíthatják pl. az egyes gyógyszerek felszívódását. Az ipari alkalmazásokban szintén igen jól használhatók, pl. speciális kompozitok gyártásához, a festékek és felületkezelő szerek tapadásának a javításához, vagy a ragasztási technológia fejlesztésében.

A faanyag rétegenkénti nanobevonatos kezelésére vonatkozó első tanulmányok az ezredforduló környékén készültek (Froschberg és Wägberg 2000). Eleinte ezek a kísérletek tipikusan farostok kezelésére irányultak, főleg a papír tulajdonságainak, vagy a kompozitok kötésszilárdságának a javítása érdekében (Agarwal és tsai 2006, Zheng és tsai. 2006, Lu és tsai. 2007, Peng és tsai. 2008, Lin és Renneckar 2011, Lee és tsai. 2012, Halász 2013). Lingström és tsai. (2009) részletesen áttekintették a különböző tanulmányokat, bemutatva a polielektrolit nanobevonatok alkalmazási területeit a lignocellulóz rostok esetében.

Kevés tanulmány foglalkozik a nagyobb faelemek (pl. forgácsok, furnérok), vagy akár teljes fafelületek kezelésével. Renaccer és Zhou (2009) megállapította, hogy a nanofilmet a fafelület mikroszkopikus és makroszkopikus tulajdonságainak megváltoztatása nélkül fel lehet hordani a felületre. Zhou (2008) különböző polielektrolitokat és kezelési technikákat dolgozott ki, amelyeket sikeresen alkalmazott fenyő furnérok ragasztásához. Valent és tsai. (2015) nanoanyagok kezelést alkalmaztak a bükk faanyag hidrofobizálására.

Az LbL nanotechnológia a fa és a cement kapcsolatának javítására is használható. Egyetlen réteg montmorillonit nanoásvány és PDDA alkalmazásával 20%-kal lehet javítani az I-214-es olasznyár fagyapotból készülő lemezek hajlítószilárdságát (Alpár és tsai 2011, Alpár 2013). Tanulmányunk célja a polielektrolit kezelés alkalmasságának szisztematikus vizsgálata a fa és a cement kapcsolatának javítása céljából. A kutatás célkitűzései az alábbiak voltak:

- Furnérok különböző típusú és rétegszámú nano-polielektrolitos kezelése a felületi tulajdonságok megváltoztatása céljából;
- A nanoanyagok felvételének nyomon követése;
- A kezelés fa–cement kapcsolatra gyakorolt hatásának vizsgálata mechanikai vizsgálatok elvégzésével.

Anyagok és módszerek

A kezelések elvégzéséhez 2,5 mm vastagságú, I-214 olasznyárból készült (*Populus × euamericana* cv. I-214) hámozott furnért választottunk. A 25 mm széles csíkokra vágott, legalább 250 mm hosszú furnércsíkokat normál klímán tároltuk (21 °C, 65% rel. páratartalom), a kb. 12%-os egyensúlyi nedvességtartalom elérése érdekében. A furnérok véletlenszerűen kerültek kiválasztásra a kezeléshez.

A nanobevonatos kezelés az alábbi anyagok 0,1% koncentrációjú (m/m), desztillált vizes oldatában történt:

- Poli(Diallil-dimetil-ammonium klorid) (PDDA), molekulásúly: 400–500 kDa
- Poli(Allilamin-hidroklorid) (PAH), molekulásúly: 58 kDa
- Poli(Nátrium 4-sztirénszulfonát) (PSS), molekulásúly: 70 kDa

A fenti anyagokat gyakran használják LbL bevonatok készítéséhez. A PDDA és a PAH erős polikation, míg a PSS polianion. Az alábbi kezeléseket végeztük el a furnércsíkokon:

- PDDA + PSS, 5, 10, illetve 15 ismétlés,
- PAH + PSS, 5 illetve 10 ismétlés,
- desztillált víz kontroll, 30 ismétlés.

Minden esetben három furnércsík kezelése történt meg, a furnércsíkok 80 mm-es szakaszának az oldatba mártásával, 10 perces kezelési idővel. Az oldat mennyiségének a meghatározása a kezelt furnércszakasz becsült tömege alapján történt. A maradék oldatból minden kezelés után mintát vettünk, és spektrofotométerrel (WPA lightwave, diode array S2000 UV/Vis) elemeztük az abszorpciós változásokat. Mivel a kontrollmintákból várható volt a vizes kezelés hatására flavonoidok kioldódása, ezért ezt a kezelt vizet használtuk referenciának és a maradék polielektrolit koncentrációt ezzel a háttérrel vetettük össze a különbségi spektrum létrehozásához. Így a rétegszámnak megfelelő kontrollmintán mért spektrumok segítségével elkészültek a különbségi abszorbancia spektrumok és a Beer–Lambert-törvény segítségével megállapítható, hogy mennyi polielektrolit maradt az oldatban a kezelést követően. Az előbb említett törvény értelmében az elnyelés és koncentráció egyenes arányban vannak, ezért érzékenyen követhető a polielektrolit adszorpciója a fa mintatestek felületén.

Az LbL kezeléseket befejezése után a próbatesteket – a kontrollt is beleértve – 80 mm mélységben cement mátrixba ágyasztuk (ld. 1. ábra). Az alkalmazott cement CEM I 42.5 típusú, kereskedelmi forgalomban kapható Portland cement volt. A próbatestek vizsgálatát 28 napos cement hidratáció előzte meg.

A cement kikeményedése után megtörténtek a kihúzási vizsgálatok, a 2. ábrán látható elrendezés szerint. A vizsgálatokat egyenletes, 0,5 mm/perc keresztfej elmozdulással végeztük. A vizsgálat befejeztével a cement tapadását a furnérok felületén vizuálisan is ellenőriztük.

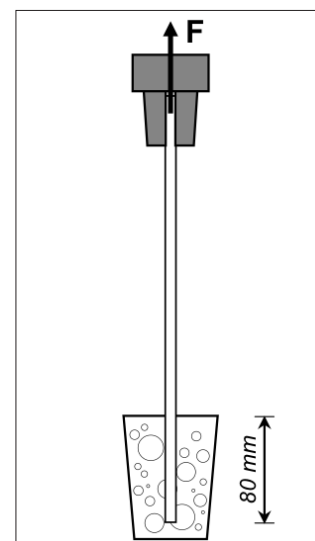
Eredmények és értékelés

A 3a és a 3b ábra mutatja a PDDA illetve a PSS különbségi abszorbancia spektrumait (a 15 ismétléses kezelés esetében). A diagramok függőleges tengelyén különbségi abszorbancia, a vízszintes tengelyén pedig a hullámhossz látható az UV-sugárzás tartománytól kezdődően a látható fény tartományon át 400 nm-ig. Az elnyelési tartomány 400 nm-ig tartalmazott a polielektrolit rendszerre jellemző különbségi csúcsokat. Ezek a diagramok mutatják, hogy az oldat visszamaradó polielektrolit koncentrációja többnyire csökkent a kezelések előrehaladtával. Ez megfelelt a várakozásoknak, ugyanis,



1. ábra Az LbL nanobevonatos, cement mátrixba ágyasztott nyár próbatestek

Figure 1 LbL treated poplar veneer samples encased in cement matrix



2. ábra A kihúzási vizsgálat mérési elrendezése

Figure 2 Schematic of the pullout test

ahogy a nagy molekulású (>400 kDa) nanorétegek száma növekszik a felületen, egyre egyenletesebb borítás érhető el, ami egyre jobban segíti a következő réteg tapadását. Kb. 5 PDDA-PSS kezelési ciklust követően a maradék koncentráció nullához közelít, azaz innentől kezdve gyakorlatilag az összes PDDA illetve PSS megkötődik a felületen.

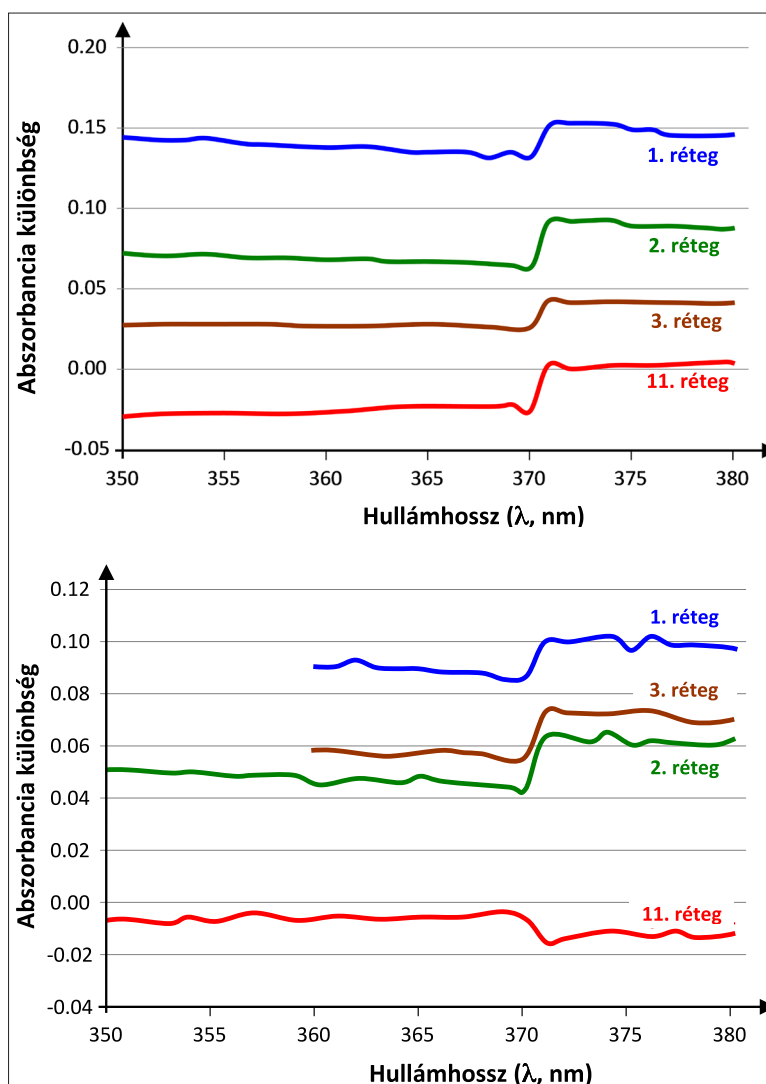
A PAH-PSS kezelés kevésbé egyértelmű eredményt hozott. Bár itt is általánosan csökkenő abszorpciós tendencia volt megfigyelhető, a maradék koncentrációk valamivel kevésbé szabályosan változtak. Ennek egyik lehetséges magyarázata a PAH alacsonyabb molekulásúja. A kis molekulamérettek egyes esetekben potenciálisan megakadályozhatták a folytonos nanoréteg kialakulását, és ezáltal csökkentették a következő réteg tapadásának hatékonyságát. Ettől függetlenül, az ötödik kezelési ciklust követően vélhetőleg itt is eléggé folytonos nanoréteg alakult ki. A tapasztalatok alapján elképzelhető, hogy a további kísérletek során érdemes emelni a PAH oldat koncentrációját.

A 4. ábra a kihúzási tesztek eredményeit mutatja. Általánosságban, minden kezelés drámai mértékben megnövekedett kihúzási erőt eredményezett. Az 5 és 10 réteges PDDA-PSS kezelés a kihúzási ellenállást ötszörösére, illetve tízszeresére emelte. Tíz kezelési ciklus után további javulás nem volt megfigyelhető. Hasonlóképpen, az 5 réteges PAH-PSS kezelés közel tízszeresére növelte a kihúzási ellenállást, ezt követően viszont nem jelentkezett további javulás. Az eredmények jelentős szórása a viszonylag alacsony mintaszámnak köszönhető, az eredmények azonban ettől függetlenül szignifikánsak. A vizuális értékelés megerősítette az LbL kezeléssel elérhető kitűnő cementtapadást.

Összefoglalás, következtetések

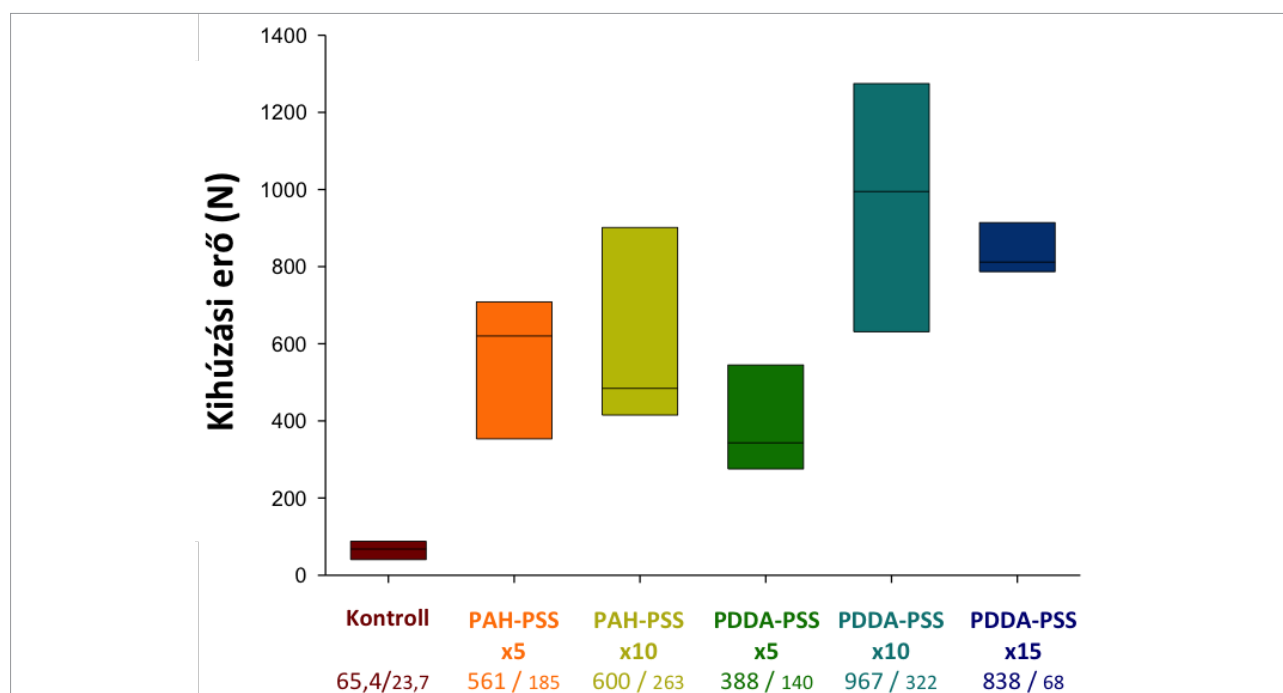
A tanulmányban ismertetett, a fa-cement kapcsolat LbL nano-polielektrolitos kezeléssel történő javítására irányuló kutatás az alábbi eredményekre vezetett:

- Az UV-Vis különbségi spektroszkópia eredmények alapján a PDDA-PSS kezelés az egymás után felvitt rétegek esetében egyre egyenletesebb nanorétegek kialakulásához vezetett. 5 kezelési ciklus után az oldatok maradék koncentrációja a nullához közelített.
- A PAH-PSS kezelés szintén viszonylag jól működött, azonban az eredmények kevésbé egyértelműek. A magasabb PAH koncentráció valószínűleg elősegítené az egyenletesebb rétegek képződését.
- Mindegyik kezelés drámaian megnövelte a kihúzási ellenállást, a legjobb esetben több mint tízszeresére. A kihúzási ellenállás nem növekedett tovább, PDDA-PSS kezelés esetében 10, PAH-PSS esetében 5 réteget követően.



3. ábra A PDDA (a) és a PSS (b) oldatok különbségi abszorbanca spektrumai az egyes polielektrolit kezelési lépéseket követően

Figure 3 Difference absorbance spectra of the PDDA (a) and PSS (b) solutions after the adsorption of the polyelectrolytes on the surface, measured in various stages of the LbL treatment



4. ábra A kihúzáshoz szükséges erő a különböző típusú és számú polielektrolit nanorétegekkel kezelt próbatestek esetében. Az átlag és szórásértékek a vízszintes tengelyen feltüntetve

Figure 4 Pullout force measurement results of veneer samples treated with various numbers of polyelectrolyte layers. The average and standard deviation values are indicated on the horizontal axis

Az eredmények jól mutatják az LbL nanotechnológiában rejlő kitűnő lehetőséget a cementkötésű faalapú termékek szilárdságának javítását illetően. Ugyanakkor további kísérletekre van szükség ahhoz, hogy megállapítsuk, alkalmas-e ez a technika cementkötésű szerkezeti termékek kifejlesztésére.

Köszönetnyilvánítás

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

A szerzők köszönetet mondanak Dr. Szabó Péternek a cikk elkészítésében nyújtott segítségéért.

Irodalomjegyzék

- Agarwal M., Y. M. Lvov, K. Varahramyan (2006) Conductive wood microfibres for smart paper through layer-by-layer nanocoating. *Nanotechnology* 17(21) 5319. doi:10.1088/0957-4484/17/21/006
- Alpar T. L., A. A. Pavlekovics, L. Csoka, L. Horvath (2011) Wood wool cement boards produced with nano minerals. In: *Proceedings 3rd Int. Scientific Conference on Hardwood Processing (ISCHP32011) I: Peer reviewed contributions*. October 16-18, 2011. Blacksburg, VA, USA. pp. 75-82. ISBN 978-0-9837700-0-8.
- Alpár T. (2013) Fa-cement rendszerek. *Doktori iskolai jegyzet*, Nyme Kiadó, 3-63. old. ISBN 978-963.359-017-1
- Bejo L., P. Takats, N. Vass. (2005) Development of Cement Bonded Composite Beams. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 1:111-119
- Decher G., Y. M. Lvov, J. Schmitt (1994) Proof of multilayer structural organization in self-assembled polycation-polyanion molecular films. *Thin Solid Films*. 244(1994):771-777. DOI: 10.1016/0040-6090(94)90569-X
- de Villiers M. M., D. P. Otto, S. J. Strydom, Y. M. Lvov (2011) Introduction to nanocoatings produced by layer-by-layer (LbL) self-assembly. *Advanced Drug Delivery Reviews* 63(2011):701-715 DOI: 10.1016/j.addr.2011.05.011.
- Forest Products Laboratory (2010) *Wood handbook – Wood as an engineering material*. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 pp.

- Forschberg S., L. Wågberg (2000) Production of Particles or Fibres having a Coating of Polyelectrolytes Interacting with Each Other and Paper or Nonwove Products with Improved Opacity Therefrom. SCA Hygiene Products AB. Sweden, 19 pp.
- Halász K. (2013) Politejsav alapú, montmorillonitot és cellulózt tartalmazó nanokompozitok. Doktori iskolai jegyzet, Nyme Kiadó, 64–151. old. ISBN 978-963.359-017-1
- Lee J., J. Ryu, H. J. Youn (2012) Conductive paper through LbL multilayering with conductive polymer: dominant factors to increase electrical conductivity. *Cellulose* 19(6): 2153–2164. DOI: 10.1007/s10570-012-9781-6
- Lingström R., E. Johansson, L. Wågberg (2009) Polyelectrolyte Multilayers for Fibre Engineering. In: L.A. Lucia and O.J. Rojas eds. *The Nanoscience and Technology of Renewable Biomaterials*. Wiley and Sons, Chichester, UK. pp. 123–148.
- Lin Z., S. Renneckar (2011) Nanocomposite-based lignocellulosic fibers 2: Layer-by-layer modification of wood fibers for reinforcement in thermoplastic composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 42(1):84–91. DOI: 10.1016/j.compositesa.2010.10.011
- Lu Z., S. Eadula, Z. Zheng, K. Xu, G. Grozdits, Y. Lvov (2007) Layer-by-layer nanoparticle coatings on lignocellulose wood microfibers. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 292(1):56–62.
- Peng C. Q., Y. S. Thio, R. A. Gerhardt (2008) Conductive paper fabricated by layer-by-layer assembly of polyelectrolytes and ITO nanoparticles. *Nanotechnology* 19(50): 505603. doi: 10.1088/0957-4484/19/50/505603
- Renneckar S., Y. Zhou (2009) Nanoscale coatings on wood: polyelectrolyte adsorption and layer-by-layer assembled film formation. *ACS Appl Mater Interfaces*. 1(3):559–566. doi: 10.1021/am800119q.
- Takáts P. (2007) Szervetlen kötésű kompozitok. Szaktudás Kiadó Ház, Bp. ISBN 978-963-9736-26-9
- Zheng Z., J. McDonald, R. Killan, Y. Su, T. Shutava, G. Grozdits, Y. M. Lvov (2006) Layer-by-Layer Nanocoating of Lignocellulose Fibers for Enhanced Paper Properties. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 6(3):624–632. DOI: 10.1166/jnn.2006.081
- Zhou Y. (2008) Nanoscale surface modification of wood veneers for adhesion. MS Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, USA. 80 pp.
- Valent J., Csiha Cs., Csóka L. (2015) Nanoanyaggal való telítés hatása a bükk faanyag vízfelvétele. *Faipar, publikálásra benyújtva*.

Keret-üveg arány befolyása az ablak hőtechnikai teljesítőképeségére

NÉMETH Dóra¹, ELEK László¹

¹ Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Faalapú Termékek és Technológiák Intézet

Kivonat

Az energiahatékonyság iránti igény gyorsan növekszik. Az épületek energetikai tulajdonságának javítását és a megtakarítási lehetőségek minél jobb kihasználását célzó energetikai direktívák, rendeletek közvetlenül hatnak az épületek homlokzatának szerves részét képező ablakszerkezetekre, hiszen egy épület energetikai mérlegében nagy szerepet töltenek be a különböző nyílászáró szerkezetek. Ablakok esetében a hőátbocsátási tényező számításával való meghatározására az EN ISO 10077-1:2005 és EN ISO 10077-2:2004 szabványok adnak útmutatást. A cikk egy adott ablaktípus esetében 15 különböző tok külméretnek megfelelő keret-üveg arány mellett meghatározott hőátbocsátási értékek vizsgálatával mutatja be, hogy ugyanazon ablakszerkezet különböző méretéből adódóan milyen eltérések adódnak. A hőátbocsátási tényezőket a vonatkozó szabványoknak megfelelően a THERM végeeselemes, és a WINDOW numerikus folyadékmechanika módszert alkalmazó szoftverrel határoztuk meg.

Megállapítottuk, hogy egy korszerű, háromrétegű üvegezéssel ellátott ablak esetében a gyakorlatban várható legkisebb és legnagyobb méret esetében érvényes eredő hőátbocsátási tényező értékei közötti eltérés 20%-os mértékű. Ekkora eltérést már figyelembe kell venni az ablak, mint építési célú termék teljesítményjellemzőinek CE jelölésen belüli deklarációjánál, valamint az ablak adott hőtechnikai teljesítményre való tervezésénél is.

Kulcsszavak: nyílászáró, hőátbocsátás, hőátbocsátási tényező, keret-üveg arány, számítógépes modellezés, végeeselem

The effect of frame-to-glazing ratio on the thermal efficiency of windows

Abstract

The demand for energy efficiency is continuously increasing. The directives and regulations concerning the improvement of the energy performance and economics of buildings are directly related to the window structures that constitute an integral part of the building façades. The thermal transmittance of windows can be determined by calculation as stipulated in the standards EN ISO 10077-1:2005 as well as EN ISO 10077-2:2004. The main objective of this research was to demonstrate the variations in the thermal transmittance due to varying size and format for a given window type of enhanced thermal performance. We analyzed 15 windows of different widths and heights. Software packages THERM and WINDOW based on Finite element method (FEM) as well as Computational Fluid Dynamics (CFD) were used to evaluate the overall thermal performance of the window configurations selected for analysis. The calculations showed that the difference of the thermal transmittance values in the case of the largest and smallest applicable sizes of the same window type can reach 20% on the basis of the lowest value. This deviation cannot be neglected when declaring the CE performance values, nor when a manufacturer is designing his products for a given level of thermal performance.

Keywords: windows, heat transfer, heat transfer coefficient, frame-glazing ratio, computer modelling, FEA

Bevezetés

Az Európai Unió irányelvekkel (pl. 91/2002/EK „Energy Performance of Buildings”) szabályozza az épületek energiafelhasználását. Az épületek tervezésekor nagy gondot kell fordítani arra, hogy azok energiahatékonysága a lehető legkedvezőbb legyen. Magyarországon az Európai Unióhoz való csatlakozást követően az épületek hőtechnikai jellemzőire vonatkozó előírásokban jelent meg az energiahatékonyságra irányuló kezdeményezés. Az épületek energetikai jellemzőinek meghatározására vonatkozóan jelenleg a 40/2012 BM rendelet van érvényben, amely az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról szóló 7/2006-os TNM rendelet módosítása. A hatályos rendelet az épületek nyílászáróira vonatkozó hőátbocsátási tényező értékét $1,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ -ben maximalizálja. Összességében épületeink energiahatékonysága rendkívül kedvezőtlen, az EU-15 országok átlagának kétszerese. Az új (háromszintű) energetikai szabályozás a korábbiakhoz képest hazánkban is szigorúbb feltételeket támasztott az épületekkel szemben (Zöld 2006, Prohászka 2007, Zámbó és Papp 2010).

A szigorodó előírások mellett a felhasználók anyagilag is érdekelték abban, hogy az üzemeltetés során – a lakáskomfort megtartása mellett – minimális energiát használjanak fel. A nyílászárók az épületek homlokzatának általában kis hányadát teszik ki, mégis azok okozzák a legnagyobb hővesztést, mivel még a hőszigetelt ablak hőtechnikai tulajdonsága is jelentősen elmarad a falszerkezetétől (Thomas 2006). Számunkra az lenne az ideális, ha az ablakok hőszigetelését a falazattal azonos értékig tudnánk fokozni.

Vizsgálatunk egyik célja annak megállapítása, hogy a Magyarországon jelenleg elterjedőben lévő 92 mm-es profilvastagságú tömörfa ablak eredő hőátbocsátási értéke (a filtrációs veszteségek figyelembe vétele nélkül) megfelel-e az előírásoknak, továbbá annak a vizsgálata, hogy az ablak méretének megváltoztatása milyen hatással van a hőátbocsátási értékre. Ennek megállapításához megvizsgáltuk a nyílászáró szerkezetekre vonatkozó szabványokat, az azokhoz tartozó számítási módszereket, illetve felvettünk 15 különböző ablak külméretet, amelyeknél tanulmányoztuk a keret-üveg arány megváltoztatásának hatását.

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 tömítetlenségeken keresztüli, nyomáskülönbség okozta légcseré (filtráció) hőáram egyenértékéből adódik össze (Kovács 2000). Néhány, légáteresztéssel foglalkozó kutatás rávilágított arra, hogy a filtrációs veszteség töredéke a szerkezet transzmissziós veszteségének (Emery 2006, Ridley 2012), azonban találhatunk olyan kutatási eredményt is, amely szerint a szabályozatlan légcseré megközelítheti, vagy akár meg is haladhatja azt (Bencsik et al 2013). A légzárasi teljesítmény nagyságát a környezeti tényezők (pl. nyomás, hőmérséklet) jelentősen befolyásolhatják (Bencsik et al 2012). Az ablakok működtetése nem képzelhető el ütközési hézagok és illesztési rések kialakítása nélkül. Az épületen belül és a környezetben uralkodó légnyomás- és hőmérséklet-különbségek 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).

Transzmissziós hőátbocsátás esetében a hő terjedése hővezetéssel, hőáramlással (konvekcióval) és hőszugárással történhet, de a valóságban jellemzően ezek kombinációjával találkozunk. Határoló szerkezeteknél – amilyenek az ablakok is – az egyik oldalon légnemű közegből konvekcióval, valamint a környező melegebb felületről sugárzásos úton belépő hőáram állandósult állapotban a szerkezeten keresztül haladva a másik oldalon lép ki. A hőterjedés ezen összetett módját nevezzük hőátbocsátásnak. Nagysága függ az ablakkeret 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 lég- vagy gázréteg vastagságával fokozódik. A sugárzásos hőátvitel intenzitását befolyásolja a felület emissziós tényezője (ϵ), ami a felületi hőmérsékletre jellemző sugárzási hullámhossz tartományban sugárzó hő elnyelését is befolyásolja. Az üvegfelület tulajdonságainak módosítása, így például fénoxid bevonat felvitele a sugárzásos energia áteresztést hatékonyan mérsékli.

A hőhidaknál távozó hő jelentősen növeli az épület fűtési energiafelhasználását. Hőhidak a különböző hővezetési tulajdonságú anyagok és eltérő geometriai formájú szerkezetek találkozásánál alakulnak ki. Ezek lehetnek pontszerűek, vonal mentiek és felületiek. A jobb hővezetésű szerkezeti részeknél erősebb lehűlés tapasztalható. A megnövekedett hőleadás következtében a belső felületek hőmérséklete lecsökken, ami rontja a lakótér kényelemérzetét.

További problémát jelenthet, hogy a lehűlt felületek környezetében páralecsapódás is kialakulhat, ami tartós fennállás esetén a penészképződést is elindíthatja (Zöld 1999).

A hőszigetelő üvegezések hazai megjelenésével előtérbe került az ablakszerkezetek energetikai vizsgálata. Megállapítást nyert, hogy „fa keret esetében a keretarány növelésével az ablakszerkezet hőátbocsátási tényezője csökken” (Fekete 1985). Megjegyzendő, hogy amikor ez a megállapítás született, az üvegezések hőátbocsátási tényezője fa és műanyag ablakok esetében még a keret hőátbocsátási tényezőjének mintegy kétszerese volt. Mára ez a viszony megváltozott, sőt inkább a tok és keret jelenti az ablakok hőszigetelésének gyenge pontját. Ugyanakkor még fokozottabb szerepet kapott az üvegbetét mentén jelentkező peremhatás. Éppen ezért érdekes megvizsgálni, hogy a mai korszerű ablakok esetében az ablak mérete és formátuma milyen mértékben változtatja adott típus esetében az ablak eredő hőátbocsátási tényezőjét.

Modellalkotás, anyag és módszer

A hőátbocsátási tényező vizsgálatát egy 1160×1460 mm-es tok külméretű bukó-nyíló ablakon végeztük. A 92 mm-es profilvastagságú, háromrétegű tömbösített erdeifenyőből (*Pinus sylvestris*) készült ablakban háromrétegű üvegezés kapott helyet. A nemesacél távtartóval ellátott üvegszerkezet rétegtrendje 4-18-4-18-4 mm. Az üvegtáblák közötti térbe argon gáztöltés, míg a két szélső üvegtábla gázréteg felőli felületeire alacsony emissziós bevonat került.

Az ablak hőtechnikai vizsgálatát a szabvány által előírt módon, az üvegezést és a keretszerkezetet együtt elemző szoftver segítségével végeztük, amelynél a modellalkotás grafikus módon történt. Az alkalmazott anyagok többségének anyagtulajdonságát anyagtárból választottuk ki, de a hővezetési és emissziós tényező ismeretében új anyagokat is definiáltunk. Az ablak jellemző és szükséges részéről AutoCad programmal készítettünk metszeteket. Hőáramlási vizsgálatunk során a kaliforniai Lawrence Berkeley Kutatóintézetben kifejlesztett végelem alapú THERM programot, valamint az üvegtáblák közötti kitöltőgáz hőszállításának számításához a folyadékmechanika numerikus módszerein (az impulzus-, tömeg- és hőtranszportot leíró Navier–Stokes-egyenletek diszkretizálásán) alapuló WINDOW szoftvert használtuk. Ez a kétdimenziós hő- és áramlási szimulációs programrendszer a pontszerű hőhidakat nem tudja figyelembe venni, valamint csak időben állandósult folyamatok vizsgálatát teszi lehetővé, de ez esetünkben nem bírt jelentőséggel.

Az egyes anyagtulajdonságok definiálása után a modellbe megfelelő irányultsággal illesztettük be a WINDOW programban összeállított kétrétegű üvegszerkezet függőleges szimmetriasíkkal elvágott felét. Az ablak külső és belső oldalán jellemző peremfeltételek megadását követően (1. táblázat) elvégeztük a szükséges számításokat.

A tok és keret hőátbocsátását az EN ISO 10077-2:2004, az egész ablak hőátbocsátását pedig az EN ISO 10077-1:2005 szabvány szerint határoztuk meg; a vonalmenti hőhid szakaszokat a szárny belső felülete mentén vettük fel.

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

ahol:

U_w – az ablak eredő hőátbocsátási tényezője [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

A_g – az üvegezett felület nagysága [m^2]

U_g – az üvegezés hőátbocsátási tényezője [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$],

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

U_f – a tok és szárnykeret átlagos hőátbocsátási tényezője [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]

l_g – az üvegezett keretkitöltés szegélyének hossza [m]

ψ_g – az üvegezett keretkitöltés vonalmenti hőátbocsátási tényezője [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

A részletes számítási mód előírásának megfelelően az üvegezést adott hővezetési tényezőjű panellal helyettesítettük. Ezután a keretre vonatkozó hőátbocsátási értéket a 2. képlet szerint határoztuk meg.

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

Table 1 Boundary conditions according to EN ISO 10077:1 and EN ISO 10077:2

Belső léghőmérséklet: Θ_i	20 °C
Külső léghőmérséklet: Θ_e	0 °C
Belső hőátadási ellenállás: R_{si}	0,13 $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
Külső hőátadási ellenállás: R_{se}	0,04 $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
Vonalmenti hőhidvesztési tényező: ψ_g	0,06 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$$U_f = \frac{L_f^{2D} - U_p \cdot b_p}{b_f} \quad [2]$$

ahol:

- U_f – a keret hőátbocsátási tényezője [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
- L_f^{2D} – a szelvény egységnyi hosszának hőátbocsátása helyettesítő panellel [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- U_p – a panel hőátbocsátási tényezője [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
- b_f – a keret vetületi szélessége [m]
- b_p – a panel látható szélessége [m]

A vizsgált modellnek – a szabvány által meghatározott panellel helyettesített üvegszerkezet kivételével – tartalmaznia kell minden felhasznált anyagot. A keretre vonatkozó U_f érték meghatározáshoz először a 3. képlet alapján ki kellett számolnunk a helyettesítő panelra vonatkozó hőátbocsátási értéket (U_p). A 3. képletben az EN ISO 10077 szabványjelöléseitől eltérően szándékosan nem a hőátadási tényezők reciprokával azonos átadási ellenállások betűjelét (R_{se} ill. R_{si}) alkalmaztuk, mivel az alkalmazott THERM program az átadási tényezők értékeit kéri inputként.

$$U_p = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + R + \frac{1}{\alpha_i}} \quad [3]$$

ahol:

- α_e – a külső ablakfelület hőátadási tényezője [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
- α_i – a belső ablakfelület hőátadási tényezője [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
- R – a panel hővezetési ellenállása [$\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$]

A vonal menti hőátbocsátási tényező meghatározásához a valós üvegezést és keretszerkezetet kellett figyelembe venni (4. képlet).

$$\psi = L_\psi^{2D} - U_f \cdot b_f - U_g \cdot b_g \quad [4]$$

ahol:

- Ψ – a vonal menti hőátbocsátási tényező [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- L_ψ^{2D} – a szelvény egységnyi hosszának hőátbocsátása üvegezéssel [$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]
- U_f – a keret hőátbocsátási tényezője [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
- U_g – az üvegezés központi részének hőátbocsátási tényezője [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
- b_f – a keret vetületi szélessége [m]
- b_g – az üvegezés látható szélessége [m]

A vonatkozó európai szabvány lényege, hogy a jellemző metszet elemzéséből az ablakkeretre meghatározott egyenértékű hőátbocsátási érték (U_f) az üvegezéstől és osztástól független. A numerikus eljárással meghatározott vonal menti hőátbocsátási tényező magába foglalja az üvegezés, a távtartó és a keret kölcsönhatásai miatti többlet hőáramokat, amely egy helyre koncentrálnak. Ebből következik, hogy egy adott típusú ablakkeret esetében annak hőátbocsátási tényezője mindig ugyanaz az érték lesz, függetlenül attól, hogy milyen üvegszerkezettel bír. Az üvegezés teljes látható felületére az üvegtábla központi részére érvényes hőátbocsátási tényezőt vettük figyelembe, amit a WINDOW programmal határoztunk meg.

A szerkezet két végén adiabatikus feltételt, míg a hőáramlás irányában a szerkezet két oldalán a szabvány által előírt peremfeltételeket definiáltunk. A számítógépes modellezés során, mint említettük, az európai szabványokat, illetve azok számítási módszerét a THERM végeselem program használatával alkalmaztuk.

A hivatkozott EN szabványok forrása ISO EN 15099-es szabvány, mely az üvegezés, a távtartó és a keret közötti kölcsönhatások miatti többlet hőáramok figyelembe vételére két lehetséges módot ír le. Megjegyzendő, hogy ezek közül az EN szabványok nem azt a változatot írják elő, mint amelyiken a THERM program használatának leírása alapul. Az EN szabvány szerinti számítási módszer esetében egy adott keretprofilra meghatározott hőátbocsátási érték független az üvegbetét típusától. Ez nem áll fenn a THERM program alkalmazására vonatkozó leírás követésével. A nemzetközi szabvány az üvegezés peremén egy adott szélességű szegélyszávot definiál, erre vetítve határozza meg az említett okok miatti többlet-hőáramokat. Így az ablakkeretre meghatá-

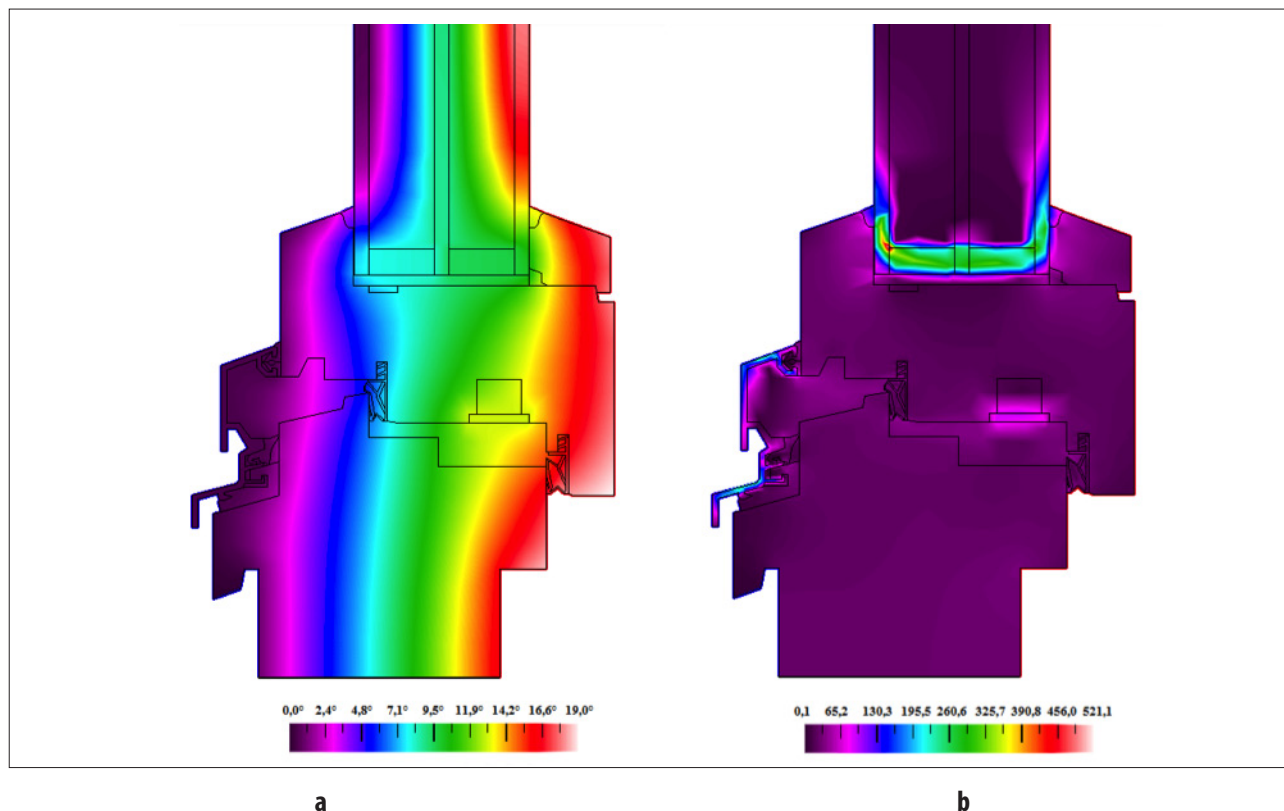
rozható hőátbocsátási érték nem lesz független az üvegszerkezet típusától, mivel a többlet-hőáramok egy, az üvegezés típusától és a távtartótól függő része a keret hőátbocsátási tényezőjében fog megjelenni (Elek 2012).

Munkánk második szakaszában az eddig leírtak ismétlésével meghatároztuk a 15 különböző méretű, de ugyanolyan szerkezetű ablak eredő hőátbocsátását. Arra voltunk kíváncsiak, hogy az ablak keret-üveg arányának megváltozása mennyire befolyásolja az ablak teljes hőátbocsátását. Az ablakok tok külméretét 560×560 mm-es mérettől 100 mm-es ugrásokkal (a könnyebb összehasonlíthatóság miatt a négyzetes alakot megtartva) egészen 1960×1960 mm-ig növeltük.

Eredmények, értékelés

A vizsgált 92 mm vastag 1160×1460 mm tok külméretű tömörfa ablak hőmérséklet és hőáramsűrűség színsáv ábrája (a függőleges alsó metszetet esetében) az 1. ábrán látható.

Ez alapján információt kaptunk arról, hogy a szabvány szerint beállított peremfeltételek teljesülése esetén a szerkezet egyes rétegeiben milyen hőmérsékletértékek alakultak ki, de az is megfigyelhető, hogy az eltérő hővezetésű szerkezeti részek következményeként az egyes hőmérsékleti zónák miként hajolnak, illetve tolódnak el. A hőáramsűrűség eloszlási kép segítségével a szerkezet azon területeit tudtuk azonosítani, ahol az átáramló hőenergia mennyisége jelentősebb. Ezeket, az 1.b ábrán kékes-zöldes színnel jelölt kritikus helyeken nagyobb hőveszteség alakul ki, így a szerkezeti részek, felületek fokozottabban át tudnak hűlni. Az ilyen helyeket nevezük hőhidaknak. Az ablakvizsgálatok során legnagyobb mértékben az üvegezés keretbe illesztésénél jelentkezett ez a hatás, amely számunkra a belső felület mentén a legkritikusabb, hiszen ezek a páralecsapódás tipikus helyei. Az üvegezések keretbe illesztésénél a függőlegeshez képest jelentősen elhajlanak a hőmérséklet szintvonalak. Ez a távtartó hatás a hőáramsűrűség színsáv ábrákon is jól kivehető. A szimulációs eredmények szerint a vizsgált hármás üvegezés az energetikai méretezési peremfeltételek mellett a távtartó mentén közel $200 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ intenzitású hőveszteséget mutat. Az EN ISO 10077 szabványcsomag alapján meghatározott részeredményeket, illetve eredő hőátbocsátási értéket a 2. táblázat tartalmazza. A vizsgált tömörfa ablak (160×1460 mm) eredő hőátbocsátási értéke ($U_w=0,6718 \text{ W m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$) a jelenleg érvényben lévő határérték ($U_w=1,6 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$) alatt van.



1. ábra A 92 mm-es profilvastagságú tömörfa ablak függőleges alsó metszetének hőmérséklet (a) és hőáramsűrűség (b) színsáv ábrája
Figure 1 Heat flow (a) and colour band (b) images of the bottom section of a solid wood frame window of 92 mm frame thickness

A vizsgálat másik része különböző tok külméretű ablakok összehasonlítására irányult. Ezeknél az ablakoknál a keret-üveg arányt a 2. ábra szemlélteti. A vizsgált tartományban a keret aránya 25–60% között változott, ami nem hagyható figyelmen kívül. A vizsgált 15 különböző méretű ablak eredő hőátbocsátási értékeit a 2. ábrán ábrázoltuk.

A kapott eredmények jól szemléltetik, hogy ugyanazon típusú ablakszerkezet esetében az ablak tok külméretének változása milyen hatással van az eredő hőátbocsátási értékre. Minél nagyobb az ablak mérete – ezzel együtt az üvegezés felületi aránya –, annál kisebb lesz az U_w érték. Az általunk vizsgált, háromrétegű üvegezéssel rendelkező ablak esetében a keret és üvegezés felületi arányának hatása ellentétes Fekete (1985) korábbi hőszigetelő ablak generációkra tett megállapításával. A vizsgált tartományon belül az U -érték változás közel 20%-os, ami jelentősnek mondható.

Esetünkben a keret-üveg arányát a 3. ábra szemlélteti. A vizsgált tartományban a keret aránya 25–60% között változott; az ilyen mértékű változás a beépítésre kerülő, eltérő méretű, formátumú és osztású ablakok esetében várhatóan előfordul.

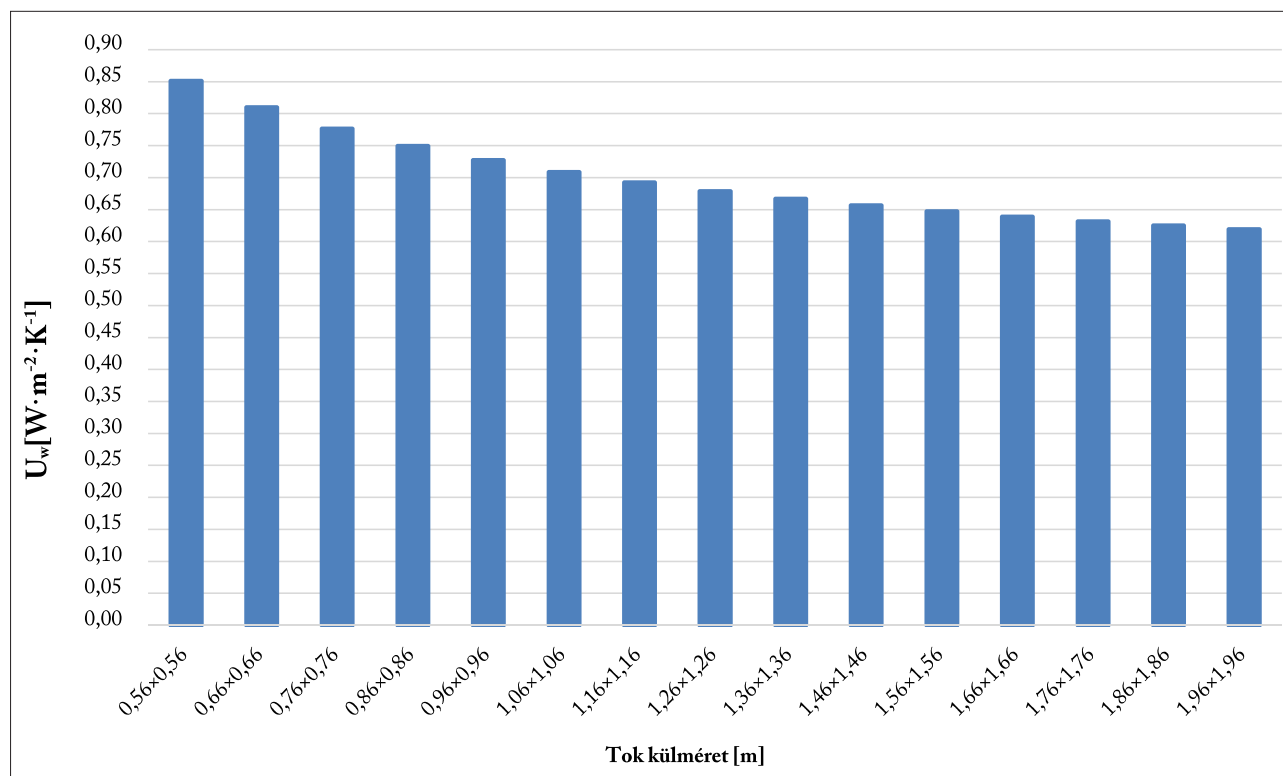
Összefoglalás

Kutatásaink során, a jelenleg érvényben lévő szabványok útmutatásai alapján végelem modellezéssel meghatároztuk egy korszerű háromrétegű üvegezéssel rendelkező tömörfa ablak eredő hőátbocsátási értékét, valamint az általunk meghatározott 15 különböző ablak külméret esetében megvizsgáltuk a keret-üveg arány befolyását az ablak eredő hőátbocsátására. Esetünkben – és a legtöbb korszerű ablakszerkezet esetében – már nem érvényes a bevezetőben idézett Fekete (1985) megállapítás.

2. táblázat Az 1160×1460 mm-es külméretű ablak jellemző értékei

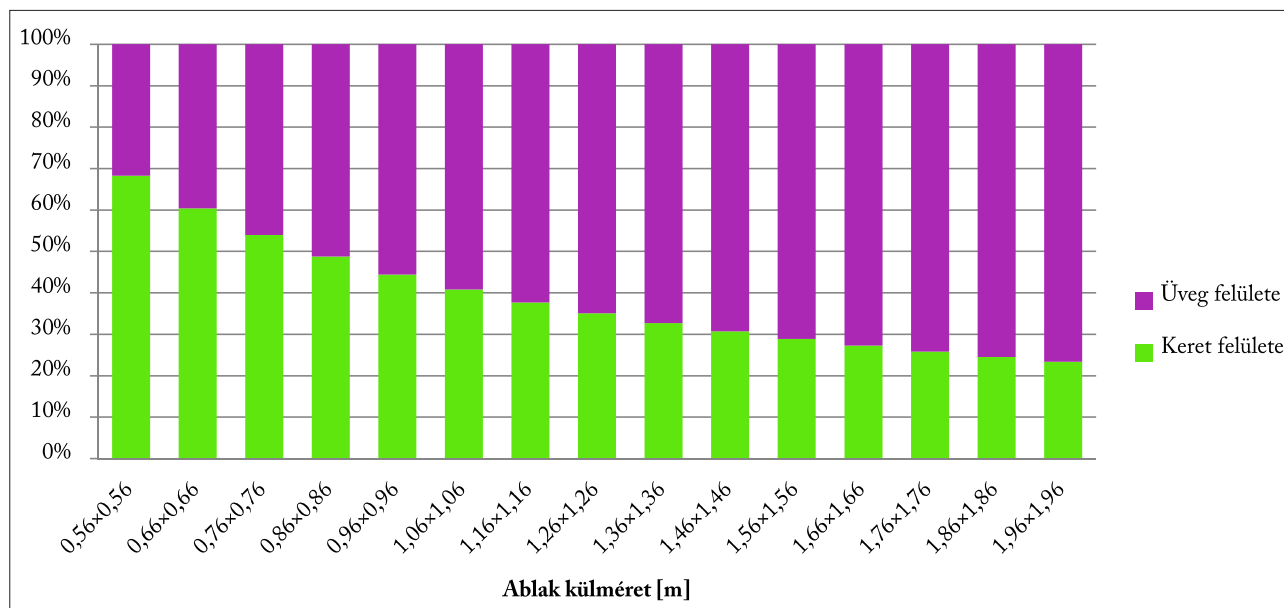
Table 2 Characteristic values of a 1160×1460 mm size window

	Vízszintes metszet	Függőleges felső metszet	Függőleges alsó metszet
L_e^{2D} [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	0,4130	0,5050	0,5458
U_p [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	0,6487	0,6487	0,6487
U_f [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	0,9664	0,9659	1,1671
$L\psi^{2D}$ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	0,3417	0,4125	0,4534
Ψ [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	---	---	---
U_w [W·m ⁻² ·K ⁻¹]	0,6718		



2. ábra A vizsgált ablakok eredő hőátbocsátási értékének változása a tok külméret változásának függvényében

Figure 2 Total heat transfer value of the examined windows as a function of window size



3. ábra A vizsgált ablakok keret-üveg aránya

Figure 3 The frame-to-glazing ratio of the analysed windows

Megállapítottuk, hogy egy korszerű, háromrétegű üvegezéssel ellátott ablak esetében a gyakorlatban várható legkisebb és legnagyobb méret esetében érvényes eredő hőátbocsátási tényező értékei közötti eltérés 20%-os mértékű.

A vizsgálatainkkal igazolt eltéréseket figyelembe kell venni az ablak, mint építési célú termék teljesítményjellemzőinek CE jelölésen belüli deklarációjánál, valamint az ablak adott hőtechnikai teljesítményre való tervezésénél is. Bár a CE (*Conformité Européenne*) jelölés nem megkülönböztető minőségi jel, hanem a termék megfelelőségét igazolja (Zámbó és Papp 2010), a vásárlók tájékoztatását az adott méretű termékekre vonatkozó hőátbocsátási érték jobban szolgálná.

Természetesen a szerkezeti jellemzőkön túl az eredő hőátbocsátást nem csak a méret, hanem az ablak formátuma is befolyásolja (négyzet, fekvő, vagy álló téglalap stb.), ugyanis azon túl, hogy a peremhosszak is változnak, az üvegezési arány a hasonló idomok méretváltozása esetében is változik, de változik ugyanolyan felületi méret esetén a különböző oldalarányokkal is!

Az általunk alkalmazott módszert követve, a keret-üveg arányát tervezési alapelvként lehetne figyelembe venni. Eddigi tapasztalataink szerint a kutatások jelentős része az ablakok hőszigetelésének fokozására irányul, de jelen vizsgálatunkkal rávilágítottunk arra, hogy az eredő hőátbocsátási értéket tekintve, az ablak külmérete is fontos tényező, ezért indokolt lenne az ablakforgalmazóknak a tényleges ablakméretet figyelembe vevő hőátbocsátási értékeket feltüntetni.

Irodalomjegyzék

- 40/2012. (VIII.13.) BM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról. in: Magyar Közlöny 2012/107. Magyar Hivatalos Közlönykiadó, Budapest, 2012
- 7/2006. (V.24.) TNM rendelet az épületek energetikai jellemzőinek meghatározásáról. in: Magyar Közlöny 2006/62. Magyar Hivatalos Közlönykiadó, Budapest, 2006
- Bencsik B., Kovács Zs., Dénes, L. (2013) A nyílászárók légzárási teljesítménycsökkenésének hatása a filtrációs hővesztésre. Faipar 61 (4)
- Bencsik B., Kovács Zs., Dénes L. (2012) Az ablakok légzárási teljesítményének változása a környezeti hőmérséklet függvényében. Faipar 60 (1)
- Elek L., Kovács Zs. (2012) Comparison of alternative calculation methods of thermal performance of windows; International Joint Conference on Environmental and Light Industry Technologies; 21-22 November 2012; Budapest, Hungary, Óbuda University
- Emery AF., Kippenhan CJ. (2006) A long term of residential home heating consumption and the effect of

- occupant behavior on homes in the Pacific Northwest constructed according to improved thermal standards, *Energy* 31:677e93
- EN ISO 10077-1:2005: 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, 91–110. old.
- Kovács Zs. (2000) *Épületfizikai alapfogalmak és követelmények*. Wittmann Gy. szerk. Mérnöki faszerkezetek I. Mezőgazdasági szaktudás Kiadó, Budapest, 160–197. old.
- Prohászka R.: Az épületenergetika helyzete hazánkban. In: *Magyar Építéstechnika, Az Építési Vállalkozók Országos Szövetségének lapja* 45/6
- Ridley I., Fox J., Oreszczyn T., Hong H. S. (2006) The Impact of Replacement Windows on Air Infiltration and Indoor Air Quality in Dwellings, *International Journal of Ventilation* Vol. 1 (3) 209–218 old.
- Thomas K. (2006) *Az energiatakarékos építkezés kézikönyve*. Z-Press Kiadó Kft., Miskolc
- 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
- Zámbó L., Papp I. (2010) Nyílászárók CE-jelölése és a forgalomba hozatal dokumentumai, *Magyar Asztalos és Faipar*, 2010/09, 103–105. old.
- Zöld A. (2006) *Az új épületenergetikai szabályozás*, Terc Kiadó, Pécsvárad

Lucfenyő fűrészáru szilárdsági vizsgálata lézer alapú roncsolásmentes optikai eljárással

SZALAI László¹, PÖDÖR Zoltán¹

¹ Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Informatikai és Gazdasági Intézet

Kivonat

Manapság a fűrészáru gyors és pontos szilárdsági osztályozása egyre fontosabbá válik. A tradicionális vizuális minősítő eljárások nem adnak elég pontos eredményt, és függenek az emberi tényezőtől, a faanyagok roncsolásos vizsgálata pedig nem alkalmazható minden fűrészárun. Fejlesztettünk egy komplett eljárást, amely képes meghatározni a fenyő fűrészáru hajlítoszilárdságát roncsolásmentes úton. A He-Ne lézer alapú eszköz képes előtölés közben pásztázni a fűrészáru felszínét kamerákkal, és az adatokat egy számítógépnek küldeni. A fa felszínére lézerpontok vannak rávetítve. A számítógépes szoftver meghatározza a göcs, korhadás elhelyezkedéseket, illetve szálfifutás anomáliákat a lézerpont alakjának változása alapján. A fűrészáru végleges hajlítoszilárdsága statisztikai módszerekkel elemzett vektorhalmazból becsülhető meg. A módszer valós idejű eredményt ad. Nagy előnye ennek az eljárásnak, hogy az eredmény nem függ a fafelszín színváltozásaitól, mert a színváltozás legtöbb esetben rossz eredményt ad a szín alapú optikai elemzőrendszereknél. A fűrészáru mindkét oldali elemzése még pontosabb 3D-s göcs elhelyezkedést és méretbecslést eredményez a fűrészárun belül.

Kulcsszavak: szilárdsági osztályozás, roncsolásmentes vizsgálat, lézer, statisztikai adatfeldolgozás

Laser based optical nondestructive method for evaluating spruce timber strength

Abstract

Nowadays the fast and reliable strength classification of the timber is becoming more important. The traditional visual methods can not provide sufficient accuracy and are dependent on human factors. Destructive processes are slow and can not be used on every sample. We developed a complete technology, which is capable of determining the bending strength of spruce timber nondestructively. The He-Ne laser-based tool is able to scan the surface of the timber using a camera while feeding and transmitting the data to the computer. Laser spots are projected onto the timber surface. The computer software determines the knot locations, decays and grain anomalies based on the change of the laser spot's shape. The final strength of the timber is calculated by analyzing the sets of numerical vectors by various statistical methods. The method is real time. The big advantage of this method is that the results do not depend on color changes on the surface. The color change deceives the color-based optical systems in many cases. The analysis on the upper and bottom surface results in a more accurate 3D representation of the knot size and position inside the timber.

Keywords: strength classification, nondestructive investigation, laser, statistical data analysis

Bevezetés

Több szabvány is létezik a faanyag szilárdsági minősítésére Európában. E szabványok (EN 408, EN 338) egyre jobban előtérbe kerülnek az egyes termelőcégeknél, ugyanis ezen szabványok használata nélkül nehéz az európai piacra betörni. Az egyes fűrészáruk szilárdsági osztályozása sok esetben még a hagyományos, emberi beavatkozást igénylő, vizuális eljárással történik, ami azt jelenti, hogy a minősítő munkás szemrevételezéssel dönti el, mennyi hibát tartalmaz a faanyag. E módszer hatékonysága nagymértékben függ az emberi tényezőtől, illetve a sebesség sem kielégítő a nagy mennyiségű faanyagot feldolgozó üzemekben. Viszonylag új megközelítés a roncsolásmentes fűrészáru-vizsgálat, amelynek a legnagyobb előnye, hogy a művelet során a faanyag nem roncsolódik.

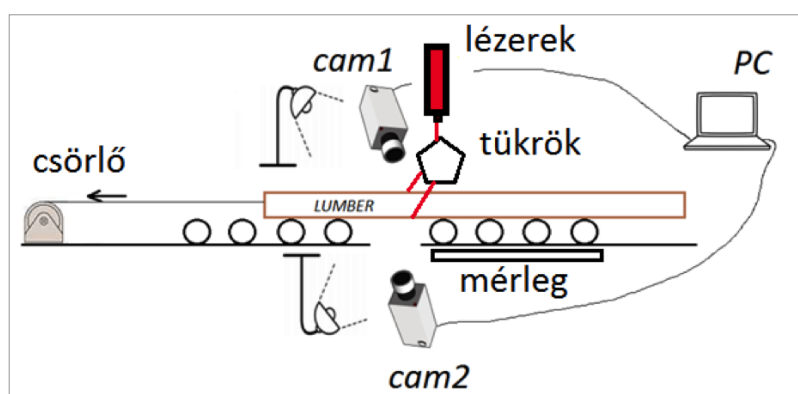
Tény, hogy a fűrészáru száliránya és a rostok kifutásának egyenetlenségei nagymértékben befolyásolják a szilárdságát (Tsoumis 1991). Korábbi kutatásaink (Szalai 2013) során már alkalmaztunk vizuális roncsolásmentes vizsgálatot. Ez a korábbi kutatás a felület színe alapján készített egy profilt a rajzolatról, majd osztályozta a fűrészáru szilárdságilag. Jó minőségű vágásfelületnél ez is megfelelő eredményt produkált, de ha elszíneződések, a vágásból adódó egyenetlenségek voltak a felszínen, akkor rossz eredményt adott. Ennek a kiküszöbölésére lézerrel lett bevilágítva a fűrészáru felszíne a rostirány meghatározásánál, majd a szóródás (scattering) elemzése alapján készült el az új profil. Ez sokkal pontosabb eredményt adott, mint az előző módszer. Több próbálkozás is volt már korábban a lézerpont besugárzásos módszerrel (Simonaho et al. 2004, Autolog 2015, Nieminen et al. 2012), illetve alkalmaztak már vonallézer-technológiát is (Åstrand 2014). A mi módszerünk valós időben, nagy sebességgel képes becsülni a szilárdsági minősítéshez szükséges paramétereit.

Anyagok és módszerek

Kutatásunk során 40 db gyalult oldalfelületű lucfenyő (*Picea abies*) pallót (10 cm x 5 cm x 2 m) használtunk alapanyagként, amelynek darabolása normál körfűrész technológiával történt. A fűrészáru átlagosan 18%-os nedvességtartalmú volt, ennek a meghatározása nedvességmérővel történt. A faanyag ránézésre aránylag egyenes volt, 5% alatt volt a csavarodása és a görbesége, így alkalmas volt arra, hogy vonszoló eszközzel precíziósan mozgassuk. A görbeséget az analízáló eszköz házának bemenete segítségével mértük. A laboratóriumi körülmények között elkészült szerkezet szimulálja a fűrészüzemben használatos előtoló eszközt. A rendszer alapfelépítése az 1. ábrán látható.

A fűrészáru egy rögzített görgősoron mozog hosszirányban, egy vonszoló eszköz segítségével. A csörlő egyenletes sebességgel húzza az anyagot. A görgősorba be van építve egy mérleg, amely méri a fűrészáru tömegét, illetve ismertek a méretei, ebből a szoftverünk képes kiszámolni a sűrűséget. A fűrészáru felszíne meg van világítva alulról és felülről is homogén lámpafénnyel. A felületre vörös színű He-Ne lézerek segítségével lézerpontokat vetítünk, amelyeket egy féligáteresztő tükörrendszer oszt el. A tükrök legyártása, összeállítása és a szórási intenzitások kimérése a kutatásunk feladata volt. Segítségükkel csökkenthető a rendszer alapanyagköltsége. Hasonló megoldást korábban is alkalmaztak már faanyag besugárzására (Jolma és Makynen 2008). A lézerek fényének hullámhossza 633 nm, az erőssége 2 mW volt. Ez a lézer spektrálisan nagyon tiszta. Meghatározott távolságra kerülnek egymás mellé a lézerpontok két vonalban a felületen. Teljesen homogén anyag esetében a He-Ne lézer kör alakú pontot rajzol a felületre, ennek átmérője kb. 6 mm. A fában lévő tracheidák torzítják a lézerpont alakját, aminek következtében egy ellipszis alak rajzolódik ki (Hu és tsai. 2004, de Oliveira Faria és tsai. 2008). Ez látszik a 2. ábrán.

Két kamera pásztázza a vágott felületet alulról és felülről, a kamerák képe pedig egy számítógéphez továbbítódik, amely elemzi azt. A kamerák jobb minőségű webkamerák, kereskedelmi forgalomban egyszerűen vásárolhatók. Specifikációjukban megjelenik a HD felvételi minőség, és a 15 frame/sec felvételi sebesség. A kamerák felbontása 960x720 HD pixel volt



1. ábra Lézer alapú szilárdsági osztályozógép alapfelépítése

Figure 1 The setup of the laser based lumber surface analyzer



2. ábra Rávilágított és szórt lézerpontok a felületen

Figure 2 Scattered laser dots on the surface

és átlagban 2700 Kbps bitráta sebességgel dolgoztak. A felvett stream-eket egy négymagos processzorral szerelt számítógép rögzítette, és a kiértékelést is ez végezte. Természetesen ez egy laboratóriumi hardver összeállítás, ipari körülmények között professzionális eszközök felhasználásával történhet az elemzés.

Szilárdsági osztályba sorolás, minősítés

A lézeres vizsgálatot követően EN408-as szabványnak megfelelő hajlítószilárdsági vizsgálatot hajtottunk végre minden próbatestenen. Meghatároztuk a maximális törőerőt (f_{max}), a rostirányú rugalmassági moduluszt (E_{mg}), a hajlítószilárdságot (f_m) és sűrűséget (ρ). Az EN338-as szabványban az utóbbi három paraméter segítségével a szilárdsági osztályokba sorolás megtörtént, azaz a három paraméter alapján besorolt osztályok közül a legkisebb érték adta a fűrészáru végleges szilárdsági osztályát. Megállapítottuk, hogy a sűrűség az esetek 67%-ában minősít, 23%-ban a rugalmassági modulus alapján felülminősíthetők az egyedek, és 10%-ban alulminősíthetők. A hajlítószilárdság az esetek 0,2%-ában minősített. Az adatokból látszik, hogy az esetek 33%-ában szükség van a két szilárdsági paraméter (f_m , E_{mg}) becslésére is, ez nagyobb mennyiségű fűrészárúnál jelentős költséget jelenthet.

Feldolgozás valós időben

Kizárólag lucfenyő faanyagban teszteltük a rendszert, mivel ennek az anyagnak a rajzolata felel meg leginkább a követelményeknek. A tesztelt palló 70%-a sugármetszet, 30%-a húrmetszet volt, jól látszó rajzollal. A vágásfelületen jelentkező göcsök rajzolatra gyakorolt hatása jelentős. A hibamentes faanyagban, normális szálfifutás esetében jellemzően párhuzamos vonalakat látunk a felületen. A göcsös, illetve szabálytalan szálfifutású faanyagban megjelennek a párhuzamostól eltérő rajzolat minták is, többnyire jól lokalizálhatóan. Mint már említettük, az előtolás alatt lévő fűrészáru felszínét pásztázó kamerák elkészítik mindkét oldalról a videofelvételt, amit majd az általunk fejlesztett számítógépes szoftver feldolgoz.

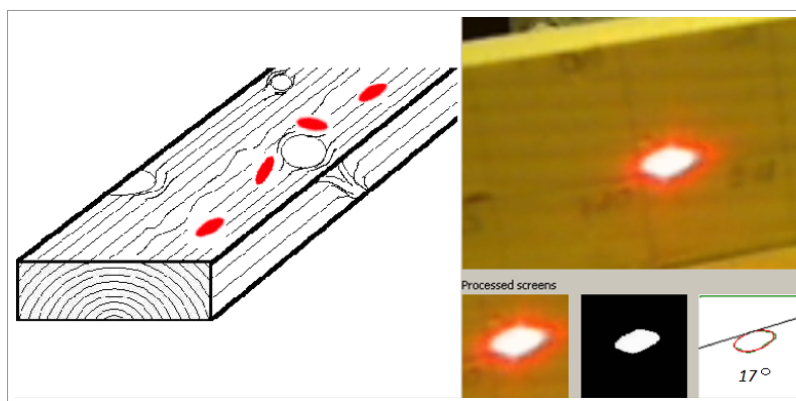
A 3. ábrán látható, hogy az adatsorosítás a felületre vetített ellipszis nagytengelyének változására épül. A szórt ellipszis nagytengelyének a fűrészáru rostirányához viszonyított szöge pontosan jelzi a fűrészáru adott szeletének szálfifutás irányát. Emellett figyelembe vesszük az ellipszis nagytengely (E_b) és kistengely (E_s) nagyságának arányát (r , ratio) is.

$$r = \frac{E_b}{E_s} \cdot 10 \quad [1]$$

Ha a 2. ábrán látható összes pontra meghatározzuk ezt, jó felbontással átfogó képet és adatsort kapunk a teljes fűrészáruról. Ahhoz, hogy képesek legyünk az anomáliák mindkét oldalon történő pontos detektálására, a fűrészáruk mindkét oldalára elvégeztük a folyamatot. Ez szükséges ahhoz is, hogy a deszkán átmenő göcsök helyét és méretét is képesek legyünk meghatározni. A feldolgozó szoftver első lépésben színszűréssel pontosítja az ellipszisek formáját, majd illesztéssel a szögüket és a nagytengely hosszakat. A 15 fps-es mintavételezés miatt nagyszámú méréspont keletkezik mindkét oldalon, összesen 16 sorban, amelyek feldolgozása a kulcsa a hajlítószilárdság becslésének.

Adatfeldolgozás és paraméterek becslése

Mint már említettük, az EN338-as szabványban a szilárdsági osztályba sorolás több paramétertől függ. A sűrűséget az általunk fejlesztett eszköz mérleggel történő tömegmérés segítségével meghatározza, a másik két paramétert pedig az adathalmazok feldolgozása becsli. Így az adatfeldolgozási folyamat célja a rostirányú rugalmassági modulus (E_{mg}) és a hajlítószilárdság (f_m), mint függő paraméterek meghatározása a közvetlenül mért és az ezekből generált további jellemzők, mint független adatok alapján.



3. ábra Göcsök hatása a lézerpontra és a szórt ellipszis „szöge”
Figure 3 The scattered laser dot and the "angle" of the ellipse

A 4. ábra mutatja a tényleges elemzési folyamatot. Két szoftver végzi a tényleges adatfeldolgozást. Az első szoftver a lézerekép adatsorosítását végzi, a második pedig az adatsorok feldolgozását és kiértékelését. Mindenképpen olyan módszert kerestünk, amely képes megfelelően kezelni az érvénytelen adatokat, amelyek a mérési hibákból következnek.

Az adatfeldolgozás első lépéseként az adatsorokat előkészítettük az elemző folyamat számára. Ez egyrészt az egyértelműen hibás adatok (99999-es értékek) adathiánnyá (NA) konvertálását jelentette, másrészt simítást alkalmaztunk a nyers mérési adatokon. A simítást mozgóátlagolással valósítottuk meg, melynek rendjét $n=5$ -ben határoztuk meg a feladat célja és a mérési adatsorok struktúrája alapján.

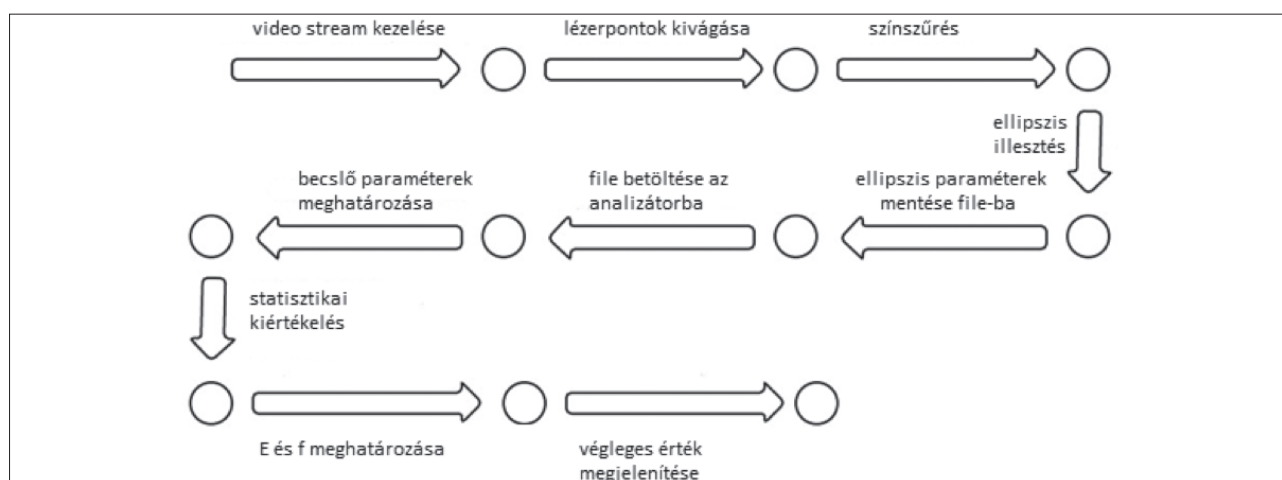
A korábban említett ratio (r , ld. [1]) értékek nagysága utal arra, hogy a hozzájuk tartozó egyéb mért értékek esetében mekkora lehet a hibás mérési adat valószínűsége. A mérési adatok áttekintése során azt tapasztaltuk, hogy a 10-11-es ratio értékek esetében gyakran tapasztalható, hogy a további mért értékek nem reálisak, ezért a detektáló folyamatban definiáltunk egy, a ratio-ra vonatkozó küszöbértéket, mely alatti r értékek esetében az adott rekord adatait nem vesszük figyelembe az elemző folyamatban.

Végeztünk egy előkészítő elemzést, melynek során azt vizsgáltuk, hogy a négy mért paraméter (ellipszis szélesség, magasság, ratio és szög), mint egyszerű független változók, kapcsolatba hozhatóak-e a vizsgálni kívánt jellemzőkkel (E_{mg}, f_m), mint függő paraméterekkel. Ehhez képeztük minden egyes deszkára a mért paraméterek adott elemre jellemző átlagértékét. Így minden egyes deszkára $2 \cdot 4 = 8$ átlagérték adódott, négy-négy a vizsgált deszka egy-egy oldalára. Ezt a nyolc paramétert – mint független változókat – vetettük össze a két vizsgált jellemzővel, mint függő paraméterrel. Ehhez lépésenkénti többváltozós regressziót alkalmaztunk (Montgomery et al. 2012). A kapott modellek ugyan statisztikai értelemben szignifikáns kapcsolatot mutatnak, azonban a kialakított modellek mögé nehéz fizikai magyarázatot tenni, és a modellbe bevont paraméterek száma is magas statisztikai értelemben a vizsgált adatsor mintaszámához (40) képest.

Azt feltételezzük, hogy a deszkákon tapasztalható anomáliák alapján jobb paraméterek definiálhatóak a vizsgált jellemzők modellezése vonatkozásában. A deszkákban található anomáliák detektálására a rendszer által mért négy ellipszis paraméter közül (ellipszisek nagy- és kistengelyének hossza, ezek aránya és a nagytengely szöge) a szöget választottuk ki. Minden deszkára elkészítettük a szögértékek alapján az 5. ábrán látható profilt, amelyen megjelenítjük a mért szögekhez tartozó, szálirányt jelző vektorokat (a szög alapadatait is ötödrendű mozgóátlagolással simítottuk). Figyelembe véve a mérési adatsűrűséget, és az eredmény vizuális áttekinthetőségét, a szögadatokat hármasával átlagolva jelenítettük meg az ábrákon (5. ábra).

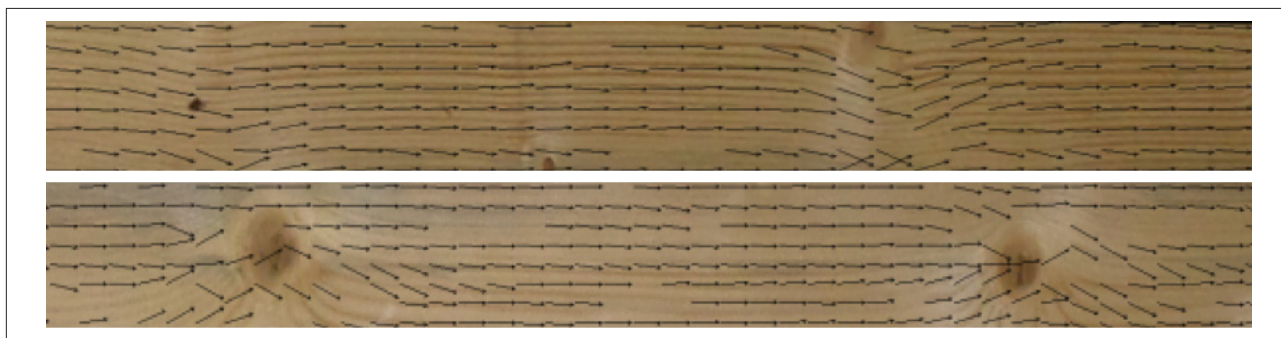
A vizsgált próbatestekre kapott ábrák vizuális áttekintése alapján megállapítottuk, hogy a szögértékek jól mutatják az anomáliák előfordulását.

Anomália ott fordul elő a deszkában, ahol az aktuális szög értéke egy adott küszöbnél nagyobb értékkel tér el a szögadatok középértéktől. A küszöbértéket a kiugró adatok definiálásában ismert módszer alapján értelmeztük (Ramachandran and Tsokos 2009). Minden egyes deszka esetében minden szögadatsorra (deszkánként négy-négy) számítottuk az átlagot és a szórást, majd küszöbértékként az átlagtól a szórás megfe-



4. ábra A szilárdsági osztályba sorolás folyamata

Figure 4 Strength classification process



5. ábra Számított rostirány vektorok a próbatesteken

Figure 5 Calculated grain orientation vectors of the timber's surface

lelő konstansszorosával (ezt 1,5-nek választottuk, mint a statisztikában szokásos alapérték) való eltérés értékét határoztuk meg. Így azokat a szögadatokat tekintettük anomáliát jelzőnek egy adott deszka adott oldalán, amelyekhez tartozó ratio érték legalább 12, és melynek nagysága abszolút értékben meghaladja a fenti módon definiált küszöböt. Az így kinyert releváns szögadatok alapján képesek vagyunk az anomáliák detektálására, illetve azok bizonyos jellemzőinek meghatározására minden egyes deszka esetében.

Az anomáliákra az alábbi jellemzőket állítottuk elő: az anomáliák darabszáma, horizontális és vertikális pozíciója a deszkán, hosszúság és szélesség értékek, átéri-e a deszkát az anomália, vagy sem (3D tulajdonság), illetve egyedi deszka jellemző érték. A paramétereket cm-ben kifejezve állítottuk elő a deszka hosszának ismeretében, majd ahol ez értelmezhető volt, ott ezekből %-os formában is előállítottuk az adott jellemzőt. A függőleges pozíció esetében csak azt tartottuk relevánsnak, hogy a deszka szélén vagy közepén helyezkedik-e el a göcs (1. táblázat). Mivel a deszkák mindkét oldalára előállítottuk ezeket a paramétereket, így az anomáliák pozíciója alapján meghatározhatóvá vált, hogy az anomália keresztülmegy-e a deszkán, azaz hasonló pozícióban van-e mindkét oldalon.

Figyelembe kell ugyanakkor venni, hogy egy-egy egyedülálló releváns szögadat jellemzően nem anomáliára utal, hanem inkább a mérés technikából fakadó hibára, vagy a folyamat meglehetősen összetett felparaméterezéséből adódó hibás anomáliajelzésre. Ennek kezelésére jelen verzióban a felhasználó által definiálható, hogy mekkora legyen az a minimális, egymással szomszédos anomáliát jelző szög darabszám, amit anomáliaként detektálunk. Ez a megoldás a további változatokban fejlesztést, javítást igényel.

Az így kapott értékeket felhasználva további anomália jellemzőket is előállítottunk, mint a teljes göcsterület arány, illetve koncentrált göcsátmérő arány. Fontosnak ítéltük meg annak figyelembe vételét is, hogy az adott anomália a deszka szélén, vagy közepén helyezkedik-e el. Ennek figyelembe vételéhez horizontálisan három részre osztottuk a deszkát: a középső 50%, és a szélső 25–25%. Ennek megfelelően a teljes deszkára jellemző paraméterek mellett (1. táblázat) képeztük azoknak a deszka közepére, illetve periferiájára vonatkozó értékeit is (a felfedett anomáliák horizontális pozíciója alapján). Így összességében a deszkák egy-egy oldalára több mint 20 jellemző paraméter áll rendelkezésre.

Eredmények

A feltárt anomáliák megjelenítése leegyszerűsítve egy-egy téglalappal történik, melyek méretét, elhelyezkedését a kapott anomáliajellemzők definiálják (6. ábra). A detektáló folyamat eredményeinek ellenőrzése vizuális módon történt meg, és ez alapján megállapítottuk, hogy az anomáliák feltárás pontossága megfelelő.

A detektáló folyamat során előállított jellemzők, mint prediktor paraméterek kerülnek bevonásra a végső elemző folyamatba, amelynek célja a rugalmassági modulus és hajlító szilárdság értékek megfelelő becslése (mint függő jellemzők). Ehhez

1. táblázat Az 1. sz. deszkán detektált anomáliák

Table 1 Anomalies detected on Lumber #1

Deszka 1/a oldal					
Anomáliák	1	2	3	4	5
Vízszintes pozíció	56	114	178	231	280
Vízszintes pozíció [%]	17%	36%	55%	72%	89%
Függőleges pozíció	közép	oldal	oldal	közép	oldal
Hossz	18	14	6	5	12
Szélesség	7	5	2	3	4
3D	igen	igen	igen	nem	nem

az előfeldolgozás során már említett többváltozós lineáris regressziót alkalmaztuk, azonban tervezzük az elemző modulnak az adatbányászatban ilyen feladatokra gyakran alkalmazott osztályozással (Han and Camber 2006) történő bővítését. Az eddig elvégzett elemzések alapján megállapítottuk, hogy a többváltozós lineáris regresszió alapuló megközelítés 80% feletti pontossággal képes becsülni a függő paramétereket a vizsgálatba bevont adathalmaz vonatkozásában (1. ábra).

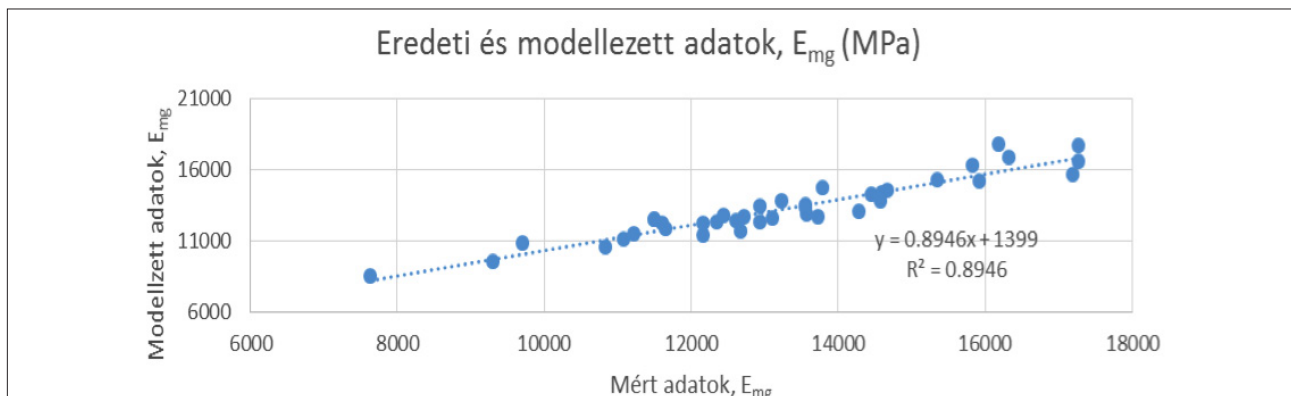
A 7. ábra a rostirányú rugalmassági modulus mért és modellezett értékeit jeleníti meg. Az ezekre illesztett regressziós egyenest jellemző determinációs együttható, az R^2 értéke azt mutatja, hogy a modellezett értékek statisztikailag is igazolhatóan, jól becslik az eredeti mérési adatokat.

A kapott többváltozós modellek meglehetősen magas független paraméterszámmal bírnak, ami statisztikai értelemben felveti a túltanulás problémáját: a modell a tanuló adathalmazra jól illeszkedik, azonban egy ettől független validáló halmazon már gyengébb eredményeket ad. Így fontos rögzíteni, hogy az anomáliákat detektáló folyamat által generált paramétereket felhasználó elemző folyamat még fejlesztés alatt áll, illetve az anomáliákat jellemző paraméterek köre is további vizsgálatok tárgyát képezheti (paraméterek finomítása, újabb paraméterek bevonása). A detektáló és elemző folyamat megvalósítására a szabadon hozzáférhető, nyílt statisztikai R szoftvert használtuk fel.



6. ábra Statisztikailag felderített göcsök a fűrészáru felszínén

Figure 6 Statistically detected knots on the lumber surface



7. ábra Anyagvizsgálógépen mért és a modellezett E_{mg} adatok

Figure 7 Measured vs. modeled E_{mg} data

Összefoglalás

A komplex rendszer, amit fejlesztettünk a fenyő fűrészáru szilárdsági osztályának meghatározására objektív információt ad aránylag olcsó áron. Az osztályozás pontossága, illetve a használt eljárások hatékonysága még javítható ugyan, de egyértelműen ígéretes megoldásnak mutatkozik. A fűrészáru 3D-s kezelése – azaz valósidejű kétoldali elemzése – egyértelműen javítja a minősítés szempontjából fontos rostirányú rugalmassági modulus becslését.

Irodalomjegyzék

- Tsoumis G. (1991) Science and technology of wood: structure, properties, utilization. New York: Chapman & Hall
- Szalai L. (2013) Camera based real time wood evaluation software in application. In: Proc. 18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, 24–27th Sep. 2013, Madison, USA
- Simonaho S., Palviainen J., Tolonen Y., Silvennoine R. (2004) Determination of wood grain direction from laser light scattering pattern, Optics and Lasers in Engineering 41:95–103
- Åstrand E. (2014) Building a High Performance Camera for Wood Inspection Using the VITA1300 Image Sensor and the XEM5010 FPGA Integration Module, Vanserum, Sweden, <https://www.opalkelly.com/customers/vanserum/>, [megtekintve: 2015.06.17]

- Autolog Sawmill Automation (2015) New tracheid sensor double laser technology, <http://www.autolog.com/>, [megtekintve: 2015.06.17]
- Nieminen S., Heikkinen J., Lassila E., Alahautala T (2012) Application note – Industrial monitoring solutions - Process industry - Transillumination of wood, Cavitar Ltd. Finland
- Jolma I. P., Makynen A. J. (2008) The detection of knots in wood materials using the tracheid effect, Proceedings of SPIE – Vol 7022
- Hu Cs., Tanaka C., Ohtani T. (2004) On-line determination of the grain angle using ellipse analysis of the laser light scattering pattern image, *J Wood Sci* 50:321–326
- de Oliveira Faria R., Alves Braga Jr. a, R., Elizeu da Rocha Neto A., Trindade N., Akira Mori F., Horgan G. W. (2008) Reliability of wood grain orientation measurements using laser illumination, *Biosystems engineering* 100:47–483
- Divós F., Sismándy-Kiss F. (2010) Strength Grading of Structural Lumber by Portable Lumber Grading – effect of knots. In: Proc. Quality control for wood & wood products 4-7th May 2010., Edinburgh, Scotland
- Ramachandran K. M., Tsokos C. P. (2009) *Mathematical Statistics with Applications*. Elsevier Academic Press, pp. 803.
- Montgomery D. C., Peck A. E., Vining G. G. (2012) *Introduction to linear regression analysis* (fifth edition). John Wiley & Sons, pp. 672.
- Han J., Camber M. (2006) *Data Mining, Concepts and Techniques - second edition*. Morgan Kaufmann Publishers, pp. 772.
- EN 338:2010. Structural timber. Strength classes.
- EN 408:2003. Timber structures. Structural and glued laminated timber. Determination of some physical and mechanical properties.
-

Nyár faanyagok anyagtudományi vizsgálataihoz szükséges hazai szakirodalom áttekintése, értékelése

PAPP Éva Annamária¹, HORVÁTH Norbert¹

¹ Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Faanyagtudományi Intézet

Kivonat

A Nyugat-magyarországi Egyetem „Alacsony sűrűségű faanyag fiziko-mechanikai és felületfizikai tulajdonságainak komplex elemzése” címmel (azonosító: K116-216), Országos Tudományos Kutatási Alapprogram pályázatot nyert, melynek keretein belül a hazai nyárfa és különös tekintettel a Pannónia nyár (*Populus x euramericana* cv. Pannónia) állományok felmérésére és sokrétű vizsgálatára kerül sor. A pályázat fő célja a hazai, különböző termőhelyekről származó, ültetvényes nyár faanyag szerkezeti felhasználásának előkészítésére elvégzett anatómiai, mechanikai és felületfizikai vizsgálatok elvégzése. A pályázat első fél évében a hazai releváns irodalmak feltárására koncentráltunk annak érdekében, hogy a terepi munkák megkezdéséhez szükséges információkkal rendelkezünk. A publikációk feltárásakor a hazai releváns publikációk megismerése volt a cél, amely során a szaporítóanyag aktuális helyzete, az erdőművelési szempontok, a nyártermesztés, valamint az anatómiai és szerkezeti tulajdonságok tekintetében közölt publikációk, felmérések, kutatási eredmények feldolgozását végeztük el.

Kulcsszavak: Pannónia nyár, ültetvényes nyár, anatómiai jellemzők, mechanikai tulajdonságok, *Populus x euramericana* cv. Pannónia

An overview and evaluation of Hungarian publications required for material science examinations of poplar wood species

Abstract

The University of West Hungary won a Hungarian Scientific Research Fund tender, titled „Complex analysis of the physico-mechanical and surface-physical properties of wood with low density” (identification number: K116-216), to assess and investigate the Hungarian poplar stands with special emphasis on Pannónia poplar (*Populus x euramericana* cv. Pannónia) wood. The primary aim of research is the investigation of the anatomical, mechanical and surface-physical properties of plantation-poplar wood from different regions to establish the possible use of poplar wood as structural material. The initial phase started with the research of relevant Hungarian publications, to have the needed information to start the field investigations, concerning the current situation of propagation material, forest cover aspects, cultivation and research studies in respect of anatomical and structural properties of poplar wood, which is presented in this study.

Keywords: Pannónia poplar, plantation-poplar wood, anatomical parameters, mechanical properties, *Populus x euramericana* cv. Pannónia

Bevezetés

Mivel a korábbi hazai, nyár faanyaggal kapcsolatos kutatások főként juvenilis törzsek vizsgálatára fókuszáltak, ezért kutatásunk célja a nagyobb átmérővel rendelkező, érett fatest alaptulajdonságainak – sűrűség, zsugorodás-dagadás, egyensúlyi fanedvesség, szöveti szerkezet, statikus szilárdsági jellemzők, ütő-törő munka – és a rheológiai viselkedés meghatározása, megismerése. A kutatás első fázisában a mintatörzsek kiválasztása terepi munkák keretében roncsolásmentes faanyagvizsgálatokkal történik. Ezt követően a laboratóriumi vizsgálatok során kívánjuk meghatározni a fent említett alaptulajdonságokat.

Az irodalmi adatok és a terepi felmérések eredményeinek tükrében kerülnek megnevezésre a Pannónia nyár törzseken kívül vizsgálatba vont egyéb fajtatípusok is, melyek vonatkozásában a különböző termőhelyről származó fatestek felületi energiáját, nedvesíthetőségi tulajdonságait kiemelt jelentőséggel vizsgáljuk. Jelen publikációnkban a faipari szempontból fontosnak ítélt releváns irodalmi adatok összegzését és elemzését tesszük közzé, amely a pályázat további célkitűzéseinek megvalósításához elengedhetetlen.

Faipari szempontok a nyárfa alapanyagok hazai kutatásában

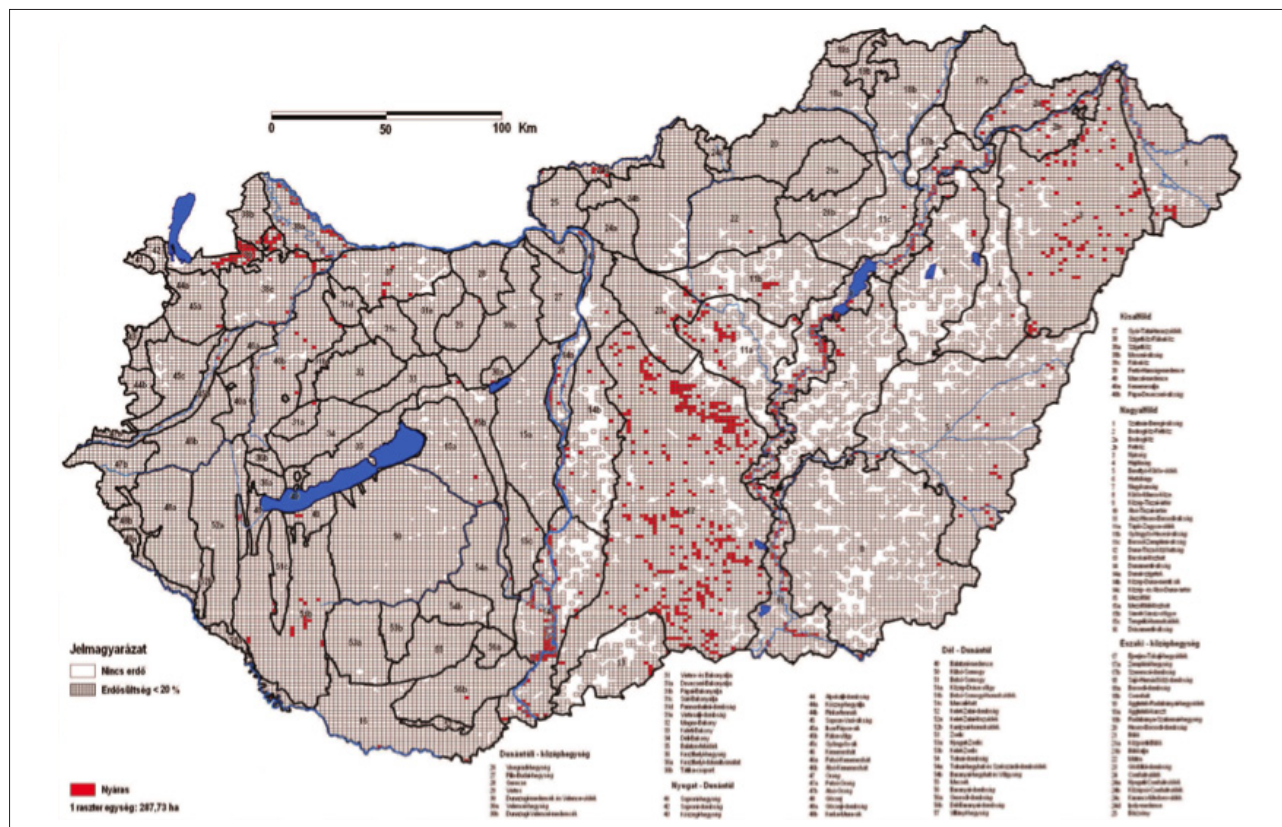
Nyárfatermesztés Magyarországon

Hazánk erdőterületeinek mintegy 10,5%-át borítják hazai vagy nemesnyár ültetvények. Az erdőterületi felosztást tekintve a tölgyesek, a cseresek és az akácok után a nyárasok foglalják el a negyedik helyet. Az élőfakészletet a 2000–2014 közti időszakban tekintve, az akácok mellett a nyárasok gyarapodtak a legdinamikusabban [MTM]. Az 1991–2003-ig terjedő időszakban, az Erdészeti Tudományos Intézet által közölt felmérések alapján szembevetendő, hogy a 'Pannónia' nyárfajta jelentős, az összes nemesnyár csemetetermelés közel felét teszi ki, amelyre magyarázatot jelenthetnek a termesztésében szerzett kedvező tapasztalatok (kedvező alaki tulajdonságok, jó gyökeresedési képesség, a leggyakoribb nyárfa betegségekkel szembeni jó tűrőképesség) (Toth 2006).

Az 1. ábra alapján jól kivehető, hogy Magyarország területén elsősorban a Fertő–Hanság-medencében, a Nyírségben, illetve a Duna–Tisza közti hátságban, emellett Belső-Somogyban, illetve Nógrád megye szlovák határhoz közeli részén található nagyobb kiterjedésű nyárral borított terület.

Fakitermelés különös tekintettel nyár fajokra

Ábrahám és Németh (2012) publikációjukban megemlítik, hogy napjainkban a nyár fajok részesedése az erdőtelepítésekben 30% körül mozog, a kitermelés pedig megközelíti az 1 millió m³-t. A Központi Statisztikai Hivatal által közölt felmérés alapján 1996 és 2014 között a nyár fajok kitermelése több alkalommal is 1 millió m³ felett volt, ezen adatok alapján elmondható, hogy hazánkban jelentős mértékben áll rendelkezésre nyár faanyag.



1. ábra Nyárasok területi eloszlása hazánkban (MgSzH, Komán (2012) nyomán)

Figure 1 Regional distribution of poplar stands in Hungary (MgSzH, following Komán, 2012)

Növekedési sajátosságok

A hazai fehér és szürke nyárasok (Leuce-nyárasok) növekedési sajátosságainak kutatásával Keserű és Rédei számos publikációban foglalkoznak (1997, 2012/a, 2012/c, 2014, 2015). Kutatásaik alapján összefoglalva a hazai erdőterületek mintegy 3–3,2%-át borító, kiváló alaki és fatermési tulajdonságokkal bíró Leuce-nyárasok egyre kedveltebbek hazánkban, főleg a Duna-Tisza közti, erősen szélsőséges klimatikus viszonyairól ismert, száraz homokos talajjal rendelkező vidéken. Ezek a területeken a fafeldolgozás számára értékes alapanyagot szolgáltató klónok, fajták jelenthetnek megoldást az erdőgazdálkodók számára.

A hazai erdőterületek mintegy 6%-át borítják nemesnyárasok, melyek esetében a területi adottságoknak megfelelő fajtakiválasztás, valamint a termelés közbeni nevelési folyamatok kivitelezése mellett a kitermelés időpontjának meghatározása is kiemelt fontosságú. Bárány értekezésében (2011) kiemeli, hogy a nemesnyárasok esetében kimondottan fontos tényező a termelési folyamat minél sikeresebb zárása, mivel a faanyag ültetvényeken történő termelésével a természetes erdők kihasználtságát csökkenthetjük. Dolgozatában kitér a termelés időszakában elvégzendő metszési folyamatok fontosságára is.

Juhos és társai kutatásukban kifejtik, hogy a nyár fajok termőhelyi igényei sokrétűbbek, mint a fűzeké vagy az akácé. A nyárasok elsősorban a melegebb tájakat kedvelik, emiatt a kedvezőbb fekvésű síksági területeken termesztethetők, magasabb nedvességigényük miatt az ártéri területek fáit is. Kutatásuk alapján megállapítják továbbá, hogy bár a nemesnyár fajok sokféle termőhelyen termesztethetők, azonban azok legoptimálisabb területei a tápanyagban gazdag, felszárak talajok (Juhos et al. 2011, Juhos et al. 2012).

A kutatások alapján megállapítható, hogy a megfelelő alapanyag előállításának számos tényezője van, amelyek elsősorban erdőnevelési és erdőgazdálkodási feladatok.

Nyár faanyagok anatómiai felépítése, sűrűsége és szilárdsági jellemzői

Kutatásunk alappillérei között szerepel a nyár faanyagok szerkezeti felhasználásához szükséges ismeretanyag létrehozása.

Molnár és társai (1990) hazánkban termesztett fekete nyár hibridek sűrűségértékeit vizsgálták. Megállapítják, hogy a hibridek közt e tekintetben jelentős különbségek találhatók, amelyek a szilárdsági tulajdonságokon túl a felhasználhatóságra is hatással vannak. Az általuk vizsgált fafajták esetében a fajták korának sűrűsége gyakorolt hatása nincs, a szijács és geszt közt sűrűségkülönbség nem tapasztalható a mérési eredmények alapján. Jelentős sűrűségkülönbséget a különböző ültetvényekről származó egyedek közt sem találtak, arra azonban felhívják a figyelmet, hogy a különböző sűrűségű fajták szeparált feldolgozása és kiválasztása a fafeldolgozás szempontjából fontos.

Publikációjukban Mátyás és Peszlen (1997) három *Populus x euramericana* hibrid klón ('I-214', 'Kopecky' és 'Koltay') – 10 és 15 éves magyarországi ültetvény – vizsgálatáról írnak. A törzsfák metszetei alapján anatómiai és szerkezeti különbsé-

1. táblázat Lágylombos és fenyő fafajok területi hányada hazánk erdeiben (2004–2014) (MTM)

Table 1 Proportion area of pine and softwood species in Hungarian forests (2004–2014) (MTM)

Év	Nyár	Egyéb lágylombos	Fenyő
	%		
2004.01.01.	10,3	5,6	13,3
2005.01.01.	10,3	5,6	12,9
2006.01.01.	10,4	5,6	12,6
2006.12.31.	10,5	5,5	12,4
2007.12.31.	10,6	5,4	12,1
2008.12.31.	10,6	5,4	11,9
2009.12.31.	10,7	5,4	11,6
2010.12.31.	10,6	5,4	11,4
2012.01.01.	10,5	5,4	11,2
2013.01.01.	10,5	5,3	11,1
2014.01.01.	10,5	5,3	11,0

2. táblázat Fakitermelés fafajcsoportok szerint (1996–2014) [1000 m³] (KSH adat)

Table 2 Quantity of timber production according to groups of wood species (1996–2014) [1000 m³]

Év	Kitermelt faanyag [1000 m ³]	
	Nemesnyár	Hazai nyár
1996	1 252	203
1997	1188	200
1998	1207	188
1999	1170	196
2000	1069	206
2001	1090	180
2002	976	207
2003	921	206
2004	933	206
2005	883	189
2006	898	184
2007	875	201
2008	921	183
2009	699	164
2010	980	171
2011	1212	242
2012	1113	225
2013	1115	243
2014	1100	251

geket állapítottak meg, illetve kimutatták, hogy a juvenilis és az érett faanyag tulajdonságai korhoz és élőhelyhez köthetők, illetve klónonként is eltérhetnek.

Molnár és társai (2002) elvégzett vizsgálataik alapján a következő megállapításokat teszik:

- Az egészséges fehér nyár faanyag átlagosan hasonló tulajdonságokkal rendelkezik, mint a sűrűbb szövetű nemes nyár fajták.
- Rendkívül fontos, hogy a fehér nyár állományok még a bélkorhadás kezdete előtt (kb. 30 év) kitermelésre kerüljenek.
- A fehér nyár hibridek fateste a természetes kereszteződésnek megfelelően nagy morfológiai és fizikai változékonyságot mutat, emiatt a viszonylag jó minőségű faanyag csak szelekciós nemesítéssel biztosítható.
- Az egészséges geszt és a szijács fizikai tulajdonságai között nincs jelentős különbség.

Babos és Zsombor (2002) cikkükben megállapítják, hogy a különböző termőhelyekről származó nyár faanyagok mechanikai (hajlítószilárdság) és növekedési tulajdonságaiban jelentős eltérések észlelhetők. Megállapítják továbbá, hogy a fajtakiválasztás telepítés esetén a termőhelyi adottságoktól erősen befolyásolt.

A nyár faanyagok szerkezeti felhasználásához szükséges ismeretanyaghoz kiváló alapot képez Bejó és társai, több mint négyezer mérési eredménnyel, sikeresen létrehozott, a szakirodalomban eddig fel nem lelhető adatbázisa. Adatbázisuk alapján az öt vizsgált fafaj: rezgő nyár (*Populus tremuloides*), vörös tölgy (*Quercus rubra*), tulipánfa (*Liriodendron tulipiferis*), Pannónia nyár (*Populus x euramericana* cv. Pannónia) és csertölgy (*Quercus cerris*) ortotróp szilárdsági és rugalmassági jellemzőinek feltárásával lehetőség nyílik ezen alacsony értékű és alulhasznosított fafajok értéknövelésére (Bejó et al. 2003).

Egyetemünkön végzett kutatások igazolták, hogy a „juvenilisfa” szakasz nyárok esetében kitolódhat egészen a vágásérettségi korig (20–22 év), azonban ez nyárok esetében nem társul negatív tulajdonságokkal (pl. alacsonyabb sűrűség) (Komán 2012). Komán és társai (2013) három fafaj összehasonlításakor (*Populus x euramericana* cv. 'I-214', *Populus x euramericana* cv. 'Pannónia', *Pinus sylvestris* L.) a nemesnyár faanyagok kihasználtságának fő akadályát jelentő göcsök hatását vizsgálták, rugalmasság és szilárdság tekintetében. Vizsgálataik eredményeként kijelentik, hogy a fenyők esetében gyakori problémát okozó göcs menti repedések fő oka a göcs és a faanyag közti átmeneti zóna hiánya, amely azonban nyárok (I-214, Pannónia) esetében nem jelentkezik, mivel az átmeneti zóna megfelelő.

A különböző nyár faanyagokat érintő anatómiai, sűrűségi, szilárdsági és rugalmassági vizsgálatokkal kapcsolatos eredmények arra engednek következtetni, hogy ezek az alacsony, de vágásérett korig tartóan homogén sűrűségű anyagok – 30 éves kor előtti kitermelés mellett, valamint bizonyos szeparáció/szelekció betartásával – a faipar számára értékesebb területeken is alkalmazhatók lennének.

Felhasználási lehetőségek

Alpár és Rácz (2009) nyár és erdeifenyő forgácsból képzett cementkötésű forgácslapot, ezek összehasonlítása alapján a nyár faanyag ez irányú felhasználását ugyanolyan mértékben javasolják, mint az erdeifenyő alapanyagot.

Molnár és társai szerint a 'Pannónia' nyár faanyag, sűrűségi értékeit, valamint szilárdsági jellemzőit tekintve, értékesebb faipari területekre, akár szerkezeti célú felhasználásra is ajánlható (Molnár et al., 2008). Schlosser és társai (2012) kifejtik, hogy a szakirodalom alapján egyes nyár fajok alkalmasak szerkezeti felhasználásra. Mindezek mellett kitérnek arra is, hogy a Pannónia nyár (*Populus x euramericana* cv. Pannónia) alapanyag szerkezeti célú felhasználása részletes vizsgálatokat igényel, melyek függvényében lehetséges a Pannónia nyár besorolása a szerkezeti felhasználásra alkalmas lombos faanyagok közé.

A NymE Faanyagtudományi Intézetének munkatársai a Pannónia nyár energetikai hasznosítási, termo-mechanikai nemesítési, valamint szerkezeti felhasználhatósági, illetve anyagtudományi vonatkozásáról számolnak be. Az energetikai hasznosítás mellett kitérnek az egyre szélesebb körben történő felhasználására, amely tendencia napjainkra eljutott az építészeti felhasználásig. Publikációjukban felhívják a figyelmet a különböző termőhelyekről származó különböző fajták közti mechanikai eltérésekre, amelyek alapján alapos szelekciónak kell megelőznie a felhasználást. A Pannónia nyár termo-mechanikai nemesítési kísérleteiről szólva megjegyzik, hogy a vizsgálatok alapján sikeresen javították az – egyébként alacsony testsűrűségű és vékony sejtfalú – nyár faanyag keménységi értékeit, illetve megjelenését. Az intézetben rétegelt-ragasztott nyárfa tartó prototípusok kialakítására is sor került, melyek pozitív eredményei további vizsgálatokra adhatnak okot (Németh et al. 2015).

Markó és társai célja a hazai I-214 olasz nyár, CLT (többrétegű, keresztirányú, ragasztott tömörfa szerkezeti panel) gyártására való felhasználhatóságának vizsgálata volt. A kutatás során háromrétegű panel gyártására és hajlítószilárdsági vizsgálatára került sor. A vizsgálati eredmények alapján az olasz nyár faanyagból készült CLT szilárdsági tulajdonságai megfelelnek az alacsonyabb szilárdsági kategóriájú fenyő faanyagoknak, azonban a rugalmassági modulus értékei elmaradnak a várt értéktől (Markó et al. 2015).

Sipos (2015) diplomamunkájában I-214 olasz nyár faanyagból állított elő kísérleti RR-tartókat, 1K PUR ragasztóanyag alkalmazásával. Munkájával a Nyugat-magyarországi Egyetemen létrehozott kutatócsoport munkájához kapcsolódott, melynek célja, hogy a hazai építőiparban gyakran alkalmazott, de kis mennyiségben természetű fenyő faanyagot hazai, hasonló tulajdonságokkal rendelkező faanyaggal helyettesítsék. Vizsgálatai alapján kijelenti, hogy az I-214 olasz nyár faanyag alkalmas RR egyenes tartó létrehozására, az eredmények ígéretesnek mondhatók, mind a tartók hajlítószilárdsági, mind pedig a hajlító rugalmassági modulus értékeit illetően.

Az elmúlt években számos kutatás foglalkozott a nyár faanyag *modifikálási* lehetőségeivel. A modifikációs vizsgálatok célja a nyár faanyag bizonyos tulajdonságának javítása, a nyár faanyag felhasználási lehetőségeinek kibővítése érdekében.

Horváth (2008) munkájában különböző fafajok termikus hőkezelését végezte el, különböző menetredek szerint. Pannónia nyár (*Populus x euramericana* cv. Pannónia) esetében megállapította, hogy a 200 °C-os hőkezelés hatására – amely a faanyagban lévő farontó organizmusok pusztulását is okozza – a lepkeapló enzimatis bontásával szembeni ellenálló képesség 40% ponttal növelhető, valamint a légszáraz fanedvesség 4–5% ponttal csökkenthető. Ugyanezen kezelés vonatkozásában kijelenti, hogy a dimenzióstabilitás 30% feletti mértékben javítható, illetve hatására a faanyag keresztmetszeti kontrakciója 5%-ot meghaladó mértékű. A hajlítószilárdság 200 °C-os kezelése hatására Pannónia nyár esetében 34%-kal csökkent, azonban a rostirányú nyomószilárdsága hőkezelés hatására szignifikánsan nő, amely jelenséget a keresztmetszeti kontrakció hatásának tulajdonít.

Ábrahám és Németh (2012) publikációjában leírt kutatásukban, nyár faanyag termo-mechanikus tömörítését végezték el különböző hőmérsékleten (160 °C, 180 °C, 200 °C), különböző tömörítési fokozatokkal (20%, 30%, 40%), illetve különböző időtartamokon (15 perc, 30 perc, 45 perc). A legjelentősebb pozitív eredmény a felületi keménység növekedése volt, amely akár a 60–130 százalékpontot is elérte. A termo-mechanikus tömörítés mellett olajban hőkezelt nyárfa minták vizsgálatára is sor került, melynek keretein belül Bak és Németh (2012) Pannónia nyár faanyagot kezeltek különböző növényi olajokban. Vizsgálataik során megállapították, hogy a kezelt faanyag egyensúlyi fanedvessége alacsonyabb, mint a kezeletlen mintáké, valamint a nyár (*Populus x euramericana* cv. Pannónia) méretállandósága jelentős mértékben növelhető forró olajban (160 °C, illetve 200 °C) való kezeléssel. A kezeléseket dimenzióstabilitási hatása tangenciális és radiális irányokban különböző mértékű volt, a tangenciális irányú dagadás nagyobb mértékű csökkenését tapasztalták, a radiális irányban észlelhetőhöz képest.

A nyár faanyag *parkettagyártás*ban való felhasználásával Katona és Fehér (2012) foglalkozott. Kutatásuk alapján és a mechanikai tulajdonságok elemzése nyomán egyértelmű, hogy a gőzölt Pannónia nyár további nagyobb mértékű modifikálás nélkül nem alkalmas a felső járóréteg gyártásához, mivel a vizsgálatok alapján keménysége nem kielégítő ilyen célú alkalmazásra.

A felhasználási lehetőségek mellett a *használatból eredő problémák* feltárásával is számos publikáció foglalkozott a korábbi években. Molnár és társai (2013) kutatásának célja a különböző fafajokra kifejlesztett fotodegradációs hatás számszerűsített mérése. Vizsgálataik során az UV-kezelés hatására a lucfenyő és a nyár próbatestek felületén nem jelentek meg felületi repedések, a többi vizsgált fafaj felületén azonban tapasztalható volt ilyen irányú változás.

Tolvaj és Preklet a faanyagok felszínének nedvesítés hatására történő színváltozását vizsgálta tíz fafaj esetében. A legkisebb mértékű sötétedést a nyár (2,3%) és a hárs (3%) produkálta, amelynek magyarázata, hogy a vizsgált fafajok közül ez a két faanyag tartalmazza a legkevesebb extraktanyagot. A nedvesítés hatására történt sötétedés fő okaként azt a magyarázatot adják, hogy a jelenlévő víz mélyebb rétegekbe is bevezeti a fényt, mint amilyen mélységbe a száraz faanyag beengedi azt, így az intenzív fényabszorpciós képességgel rendelkező extraktanyagok hiánya miatt a nyár és a hárs csupán kismértékű sötétedést szenvedett el (Tolvaj és Preklet 2015).

A széles körű (forgácslap, CLT, RR-tartó, modifikáció, parkettagyártás, stb.) vizsgálatoknak köszönhetően jelentős ismeretanyag áll rendelkezésre különböző nyár faanyagok felhasználási lehetőségeivel kapcsolatban. A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a hazai nyár faanyag bizonyos termékek gyártása esetében ok nélkül mellőzött, illetve szilárdsági és rugalmassági tulajdonságai alapján több célú alkalmazása javasolható.

Összefoglalás és kitekintés

A sokrétű hazai szakirodalmat tekintve látható, hogy a nyár faanyag kutatása előrehaladott fázisban van, tekintve a nagyszámú fakitermeléssel, növekedési habitussal, anatómiai felépítéssel, mechanikai tulajdonságokkal, felhasználási lehetőségekkel és a felhasználás során keletkező problémákkal foglalkozó publikációt, azonban a termőhely-specifikus vizsgálatok száma ezek közt elenyésző. Mivel a korábbi kutatások közt számos olyan munka található, amely a különböző nyárfajták pozitív tulajdonságai mellett a szerkezeti kihasználatlanságot említi, a további kutatást a nyár faanyag minél értékesebb felhasználásának érdekében folytatjuk.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal OTKA K 116226 azonosítójú „Alacsony sűrűségű faanyag fiziko-mechanikai és felületfizikai tulajdonságainak komplex elemzése” című projekt keretében nyújtott támogatásáért.

Irodalomjegyzék

- Ábrahám J., Németh R. (2012) Physical and Mechanical Properties of Thermomechanically Densified Poplar. International Scientific Conference on Sustainable Development & Ecological Footprint. March 26–27 2012 Sopron, Hungary. http://palyazat.nyme.hu/fileadmin/dokumentumok/palyazat/tamop421b/IntConference/Papers/Articles/PDF/AbrahamNemeth_PhysicalAndMechanicalPropertiesOfThermomechanicallyDensifiedPoplar.pdf (megtekintés dátuma: 2016.03.07.)
- Alpár T., Rác I. (2009) Production of cement-bonded particleboards from poplar (*Populus euramericana* cv. „I 214”). *Drvna Industrija* 60(3):155-160. <http://drvnaindustrija.sumfak.hr/pdf/Drv%20Ind%20Vol%2060%203%20Alpar.pdf> (megtekintés dátuma: 2016.03.16.)
- Babos K., Zsombor F. (2002) Néhány nyárfajta faanyag-tulajdonságának összefoglaló jellegű ismertetése, 1. rész. FAIPAR 50(4):4-7. http://epa.oszk.hu/02300/02321/00004/pdf/EPA02321_Faipar_2002_04_04-07.pdf (megtekintés dátuma: 2016.01.19.)
- Bak M., Németh R. (2012) Heating and swelling poplar. *BioResources* 7(4):5128-5137. http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_07_4_5128_Bak_Nemeth_Swelling_Properties_Moisture_Oil_Heat_Treated_Poplar (megtekintés dátuma: 2016.03.14.)
- Bárány G. (2011) A nemesnyár-termesztés fejlesztésének újabb eredményei. Doktori disszertáció. NymE-EMK Sopron, <http://ilex.efc.hu/PhD/emk/baranygabor/disszertacio.pdf> (megtekintés dátuma: 2016.03.16.)
- Bejó L., Láng E., Szalai J., Kovács Zs., Divós F. (2003) Lombos fafajok ortotróp szilárdsága és rugalmassága. I. rész: Elméleti alapok, kísérleti módszerek. FAIPAR 51(2):19-25. http://real.mtak.hu/18139/1/EPA02321_Faipar_2003_02_19-25.pdf (megtekintés dátuma: 2016.03.15.)
- Juhos K., Nádosy F., Juhász Á., Sepsi P., Magyar L., Tőkei L. (2012) Energetikai célú fafajták termőhelyi alkalmazása Soroksáron. Fenntartható fejlődés, élhető régió, élhető települési táj 3. BCE, Budapest, pp. 67-73. (ISBN 978-963-503-506-2). http://unipub.lib.uni-corvinus.hu/985/1/fenn2012_Juhos_Katalin_etal.pdf (megtekintés dátuma: 2016.03.16.)
- Juhos K., Magyar L., Gurály A., Szabó V., Búcsi A., Nádosy F. (2011) Az energetikai faültetvények fajta- és technológiai kérdései. Környezettudatos Energiatermelés és Felhasználás – Környezet és Energia Konferencia (ISBN 978-963-7064-27-2) Budapest, 2011. 11. 25–26. <http://geo.science.unideb.hu/taj/dokument/energiakonfII/KeKonyv.pdf> (megtekintés dátuma: 2016.04.18.)
- Horváth N. (2008) A termikus kezelés hatása a faanyag tulajdonságaira, különös tekintettel a gombaállóságra. Doktori disszertáció. Sopron, NymE-FMK. <http://doktori.nyme.hu/240/1/disszertacio.pdf> (megtekintés dátuma: 2016.05.12.)
- Katona G., Fehér S. (2012) Utilization possibilities of poplar species in parquet production in aspect of wood science. *WOOD RESEARCH* 57(4):631-638. http://www.woodresearch.sk/articles/6-24-164059_12katona.pdf (megtekintés dátuma: 2016.02.12.)
- Keserű Zs., Balla I., Antal B., Rédei K. (2015) Micropropagation of Leuce-poplars and evaluation of their development under sandy site conditions in Hungary. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 11(2):139–152., DOI: 10.1515/aslh-2015-0011, http://aslh.nyme.hu/fileadmin/dokumentumok/fmk/acta_silvatica/cikkek/Vol11-2015/11_keseru_et_al_p.pdf (megtekintés dátuma: 2016.01.13.)

- Keserű Zs., Rédei K. (2012/a) Homoki Leuce-nyárak termesztési és technológiai modelljei. Erdészettudományi Közlemények 2(1):61-71. http://www.erdtudkoz.hu/fileadmin/dokumentumok/emk/erfaved/ErdTudKozl/Szamok/2012/06_Keseru_es_Redei_2012.pdf (megtekintés dátuma: 2016.01.13.)
- Keserű Zs., Rédei K. (2014) Fehér nyár klónok teljesítményvizsgálata alföldi száraz, homoki termőhelyen. Alföldi Erdőkért Egyesület XXI. Kutatói Nap (ISBN 978-963-08-7830-2) Lakitelek, 2013. november 15. http://aee.hu/downloads/2013/Kutato_i_Nap_Kiadvany_2013.pdf (megtekintés dátuma: 2016.01.20.)
- Komán Sz. (2012) Nemesnyár-fajták korszerű ipari és energetikai hasznosítását befolyásoló faanatómiai és fizikai jellemzők. Doktori disszertáció, NymE–FMK <http://doktori.nyme.hu/410/1/disszertacio.pdf> (megtekintés dátuma: 2016.02.11.)
- Komán Sz., Fehér S., Ábrahám J., Taschner R. (2013) Effect of knots on the bending strength and the modulus of elasticity of wood. Wood Research 58(4):617-626. http://www.woodresearch.sk/articles/7-43-102735_11_Koman.pdf (megtekintés dátuma: 2016.02.26.)
- Markó G., Bejő L., Takáts P. (2015) CLT hazai I-214 olasz nyár faanyagból. FAIPAR 63(2):36-41., DOI:10.14602/WOODSCI.2015.2.42, http://real.mtak.hu/30179/1/42_364_1_PB_u.pdf (megtekintés dátuma: 2016.02.16.)
- Mátyás Cs., Peszlen I. (1997) Effect of age on selected wood quality traits of poplar clones. Silvae Genetica Sauerländer 46(2-3):64-72., http://www.sauerlaender-verlag.com/fileadmin/content/dokument/archiv/silvaegenetica/46_1997/46-2-3-64.pdf (megtekintés dátuma: 2016.02.23.)
- Molnár S., Führer E., Tóth B. (2008) Az ültetvényes fagazdálkodás fejlesztése, Hillebrand Nyomda, Sopron
- Molnár S., Fehér S., Pápay L. (1990) Newer data on the variability of the density of wood of poplar plantations. FAIPAR 1990(7):208-209.
- Molnár S., Németh R., Paukó A., Göbölös P. (2002) A fehérsnyár hibridek faanyagminőségének javítási lehetőségei. FAIPAR 50(2):24-26., http://real.mtak.hu/18166/1/EPA02321_Faipar_2002_02_24-26.pdf (megtekintés dátuma: 2016.02.23.)
- Molnár Zs., Magoss E., Tolvaj L. (2013) A fotodegradáció okozta felületérdesedés vizsgálata. FAIPAR 61(2):26-32., http://real.mtak.hu/17855/1/EPA02321_faipar_2013_02_026-032.pdf (megtekintés dátuma: 2016.01.18.)
- Németh R., Fehér S., Ábrahám J., Bak M., Horváth N., Komán Sz., Szeles P. (2015) Nyár faanyaggal kapcsolatos aktuális kutatási eredmények a Faanyagtudományi Intézetben. Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap – Tudományos eredmények a gyakorlatban (ISBN 978-963-12-3841-9).
- Rédei K., Keserű Zs., Rásó J. (2012/c) Practice-Oriented Yield Table for White Poplar Stands Growing under Sandy Soil Conditions in Hungary. SEFOR – South-East European Forestry 3(1):33-40. <http://hrca.srce.hr/95528> (DOI:10.15177/seefor.12-04) (megtekintés dátuma: 2016.01.18.)
- Rédei K. (1997) Fehér nyár klónok fiatalkori értékelése a Duna–Tisza közti homokháton. Erdészeti Lapok 132(7-8):228-229., http://erdeszetilapok.oszk.hu/01391/pdf/EL_132_1997_07-08_226-231.pdf (megtekintés dátuma: 2016.01.25.)
- Schlosser M., Horváth N., Bejő L. (2012) RR-tartók hazai alapanyagokból. Hallgatói Tudományos Konferencia 2012 – Tanulmánykötet (TÁMOP - 4.2.2. B-10/1-2012_0018, ISBN: 978-963-9883-96-3). pp. 162-171., http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop422b/2010-0018_kotet_20_faipari_konferencia/faipari_konferencia.pdf (megtekintés dátuma: 2016.02.19.)
- Sipos László (2015) Egyenes vonalú rétegelt-ragasztott tartó kísérleti előállítás és vizsgálata nyár faanyag és 1 K PUR szerkezeti ragasztó vonatkozásában. Diplomamunka, NymE–SKK Faanyagtudományi Intézet. <http://diploma.nyme.hu/311/1/Diplomamunka.pdf> (megtekintés dátuma: 2016.02.02.)
- Tolvaj L., Preklet E. (2015) A faanyag színváltozása nedvesítés hatására. FAIPAR 63(1):41-46., DOI:10.14602/WOODSCI.2015.1.39, http://real.mtak.hu/24477/1/39_274_1_PB_u.pdf (megtekintés dátuma: 2016.02.02.)
- Toth Béla (szerk.) (2006) Nemesnyár-fajták ismertetője – Irányelvek a nemesnyár-fajták kiválasztásához. Agroinform Kiadó. ISBN 963-502-855-5.
- [KSH adat]: NÉBIH Erdészeti Igazgatóság, Erdőtervi mérlegbeszámolók országos összesítői, https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_ome002a.html (megtekintés dátuma: 2016.03.04.)
- [MTM]: Miniszteri tájékoztató Magyarország erdőállományának főbb adatairól, 2014, http://www.fataj.hu/2014/10/132/EVgF-98-Miniszteri_taj_2013rol_10-02.pdf (megtekintés dátuma: 2016.02.12.)

A fűrészüzemi hatékonyság néhány lényeges eleme

PÁSZTORY Zoltán¹, CZIMONDOR Dániel¹, BARISKA Mihály²

¹ Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Innovációs Központ

² Wood Science and Technology, ETH Zürich

Kivonat

A fűrészipar – mint a legtöbb üzleti vállalkozás – nyereségorientált piaci szektor, amelynek a célja a rendelkezésre álló nyersanyag hatékony feldolgozása a lehető legjobb minőségű és értékű terméké, illetve annak értékesítése partnerek számára. Céljai eléréséhez erőforrásait úgy kell optimalizálni, hogy a rendelkezésre álló eszközeit a legjobban kihasználja. Munkánk során összegyűjtöttük azokat a fő tényezőket, amelyeket megvizsgálva és szükség esetén újraszervezve hatékonyabb működés érhető el. Hazai és nemzetközi példákon szemléltetjük a tőke, a teljesítőképesség, a kihasználtság, az alapanyag, a termék és az energia szerepét a fafeldolgozás sikerességében. Az eredmények rámutatnak, hogy a termelősorok kihasználtsága, a fajlagos költség meghatározása, a szárítási folyamat veszteségei és a szűk keresztmetszetek területén történő optimalizálás jelentős gazdasági előnyökhez juttathatják a vállalkozást.

Kulcsszavak: üzemi hatékonyság, termelési kapacitás, optimalizálás, költséganalízis

Important elements of sawmill efficiency

Abstract

Sawmilling industries – as most business enterprises – are profit-oriented actors of the market. Their purpose is to sell their raw material in the best possible quality and quantity to their partners, and making a profit. To reach this goal, the use of resources has to be optimized, and assets should be used in the most effective way. This paper lists the main factors that can help achieving a more efficient operation. We illustrate through national and international examples the role of the capital, the capability, the utilization, the primary commodity, the product and the energy in sawmilling industries. The results show that the optimization of the production lines, specific cost determination, minimizing the losses of the drying process and eliminating bottlenecks can lead to a significant competitive advantage for the company.

Keywords: production efficiency, production capacity, optimization, cost analysis

Bevezetés

Minden vállalkozás sikeres működéséhez a rendelkezésre álló alapanyagokat, humán erőforrást és szellemi tudást hatékonyan kell felhasználni. A nagyobb nyereség elérése nem minden esetben csak költséges beruházások útján érhető el. Az ideális működés eléréséhez legtöbbször elegendő a már meglévő javak felhasználásának átszervezése, esetleg egy innovatív folyamat bevezetése.

Ahhoz, hogy a fafeldolgozó üzemek hatékonyságát mérni tudjunk, meg kell vizsgálnunk először, hogy milyen adottságok határozzák meg az üzem teljesítőképességét. Ezeket az adottságokat lehet a vizsgáló szemszögéből nézve határoknak, korlátoknak, kényszereknek, avagy szűk keresztmetszeteknek nevezni. Sorrendjük nem meghatározott, bizonyos esetekben helyet cserélnek pillanatnyi fontosságuk folytán, de az is előfordulhat, hogy nem mindegyik van jelen a folyamatokban. Kiküszöbölésük bizonyos esetekben nem lehetséges, mert akkor az egész üzem jellege megváltozna. Ilyen adottságok a likviditás, az üzem felszerelése és annak termelőképesége, az alkalmazottak képzettsége, az alapanyag valamint a termékek minősége és mennyisége, energia, esetleg további összetevők, mint logisztika, piac, előírások vagy stratégia.

A befektetett tőke és forgótőke határozza meg, hogy mi az üzem létezési célja és mit engedhet meg magának egy adott helyzetben. E célnak csak előrelátó menedzseléssel és jó pénzügyi gazdálkodással lehet megfelelni.

Nyereségnövelés a stratégia változtatása nélkül napjainkban eladási árak növekedésével már alig érhető el, inkább csak az előállítási költségek csökkentésével, vagyis költségoptimalizálással. A mindennapi gyakorlatban a termékek előállítási költségei állnak tehát az előtérben, melyeknek meghatározása komplex matematikai-könyvviteli művelet. A hatékonyságvizsgálat ehhez nyújt segítséget (Bariska és Pásztor, 2015).

A tőkével egy szinten kell említeni az üzem berendezéseit és teljesítőképességét. Az épületek, gépek, infrastruktúrák összessége teljesen behatárolja egy vállalkozás lehetőségeit. Ugyanakkor a felszerelés lehet vegyes, egy része modern, más része elavult, ami a kihasználhatóságukat jelentősen befolyásolja. Ha a termelőeszközök elvárás szerint működnek, teljesítőképességükben akkor is különbözhetnek. Egyes gépek a termelősorban a többihez viszonyítva fékezhetik a termékáramot, egyes épületek idővel túl kicsinek bizonyulhatnak, egyes utak túlterhelte válhatnak. Így, bár egy modernebb berendezés jobb teljesítményre is képes lenne, a termelési szintje az elavultéhoz hasonló. Egy üzem életében a felszerelés többszörös javításokon, lecseréléseken, kiegészítéseken megy át, ezért termelőkapacitásának kiegyenlítetttsége aligha tökéletes, ha egyáltalán ismert. Időnként az egész üzemben szükségessé válik a termelékenység-vizsgálat, különösen akkor, ha a menedzsment nagyobb vonalú fejlesztést, paradigmaváltást irányoz elő.

Az üzem legfontosabb értéke a munkatársak. Hogy milyen technológiával képes az üzem megbirkózni, az egyrészt attól függ, hogy milyen az embereinek a felkészültsége és a motiváltsága. Amit ők egy műszak alatt fennakadás nélkül el tudnak végezni, az a teljesítmény mércéje. A maximális teljesítmény – időegységre vonatkoztatott termékmennyiség – az a keresett érték, amelyből az üzem kihasználtságát lehet meghatározni.

Alapanyag nélkül nincs termék. Az üzem gazdaságos működését meghatározzák, hogy milyen mennyiségben és minőségben áll az üzem rendelkezésére rönk alapanyag, valamint milyen termékválasztékot lehet abból előállítani, mennyi idő áll a rendelkezésre, milyen a kihozatal értékét és mennyiségét tekintve, és milyen sikeres a termékek szereplése a piacon. Ismeretük a menedzsment döntéseiben meghatározó szerepet játszanak.

A fűrészárak ára az észak-európai régióban folyamatosan növekszik, Svédországban és Finnországban az export mennyisége a 2008 óta mért legmagasabb értéket érte el. Oroszország elsősorban a gyengülő valuta miatt áll kiemelkedő helyen a vásárlók számára. Az orosz fűrészipari export elsősorban Kína, amely évente 11 százalékkal növeli az Oroszországból érkező faimportjának mennyiségét. Ebből összességében 5 százalékkal növelte a fenyő fűrészáru importját, a fenyő fűrészárak folyamatosan növekedő behozatali ára 2014 harmadik negyedévében érte el a maximumot. (woodbusinessportal.com)

Egy üzem energiamenedzselése Magyarországon a mai időkben csak a távlati tervekben szerepel, de egyes nyugati országokban (Németország és Svájc) már mindennapi szempont. Egyrészt az energia ára fő trendeket tekintve növekszik és vele együtt az üzemen belül, költségének aránya is. Másrészt a környezetben tapasztalt előnytelen változások néhány országban már politikai akciókat váltottak ki. Az alternatív energiák felhasználását serkentik, pályázati forrásokkal kívánják ösztönözni a vállalatokat az alternatív energiaforrások felhasználására. Bár 2012 óta folyamatosan csökkennek (8,5%, 11,7%, 2,9%) az energiaárak Magyarországon (KSH), a kormány nagy hangsúlyt fektet az energiahatékony felhasználására. Az energiamenedzsment Magyarországon belül is hamarosan az egyik mérvadó feladattá válhat.

A hatékonyságvizsgálat elsősorban a fent említett szűk keresztmetszetekkel és kényszerekkel foglalkozik. A vizsgálatok fő célja az, hogy – amennyiben ez lehetséges – nagyszabású befektetések nélkül emelje az üzem kapacitását és nyereségességét, hogy megtalálja a kiaknázatlan lehetőségeket, és azokat mozgósítsa. Ha kisebb beruházások elkerülhetetlenné is válnak, ezek gyakran még a folyó éven belül megtérülnek. A legnagyobb változásokat a régi, korszerűtlen gyártósorokon lehet elérni, ahol a folyamatok optimalizálását az üzem elindítása óta nem, vagy nem korszerűen végezték el.

Azt a kívánságot gyakran hallani, hogy üzemvezetők optimalizáló számításokkal szeretnék előnyös termelési körülményeket meghatározni. A gyakorlat azonban azt mutatja, hogy az üzemek folyamatait először rendezni és rendszerezni kell, mivel szervezési lépések, gépjavítások és kis beruházások sokszor a többszörösét eredményezik annak, amit számításokkal el lehet érni. Optimalizálásnak akkor van létjogosultsága, ha az üzem harmonikusan és zökkenőmentesen működik és minden más termelékenységnövelési lehetőség már ki lett aknázva. Jól alkalmazott optimalizáló számítások ilyen esetben, további 5–8% nyereségtöbbletet, illetve költségmegtakarítást jelenthetnek (Bariska 1993, 1995, 2002). Szoros piaci versenyben és nagyobb üzemeknél ez a hatékonyságnövelés döntő jelentőségű lehet.

A fűrészipar helyzetét, a kutatásokra fordítható összegek nagyságát, az innovatív megoldásokat és végül, de nem utolsósorban az üzemek hatékonyságának mértékét nagyban befolyásolja az, hogy mekkora az adott régióban az erdőterületek aránya és a technológiai fejlettség, valamint hogy milyen az üzemek stratégiája.

Ahhoz hogy egy régió fel tudja használni a fát, mint alapanyagot, két módon tudja beszerezni. A legegyszerűbb és a régiónak a legelőnyösebb, ha a helyben kitermelt faanyagot használja fel. Amennyiben ez nem áll rendelkezésre, úgy importra szorul. Európában az erdőterületek aránya alapján három kategóriát különböztünk meg. A fában szegény, alacsony erdősültségű országok erdőterületeinek aránya 19% alatt van. Ilyen ország Anglia és Görögország, ahol a fafeldolgozás jelentősége is alacsony. A közepes erdősültségű országok közé tartozik Románia, Svájc, Szlovákia és az európai országok többsége. Ezen országok esetében az erdőterületek aránya 20–34%, az erdő- és faipar mérsékelt nemzetgazdasági jelentőségű. A kiemelkedően magas erdősültségű országok területét 35%-nál nagyobb mértékben borítják erdők. Ilyenek Ausztria, Észtország, Finnország, Oroszország, Svédország és Németország északi része. Ezeknek az országoknak a faipara már a kitermelt fa mennyiségének legalább a felét a nemzetközi piacon értékesíti félkész- vagy késztermék formájában. A kutatások és a szakemberek képzése magas szinten zajlik, az ipar támogatottsága magas, és szakembereik nemzetközileg keresettek. Magyarország az említett kritériumok alapján a közepes erdősültségű országok csoportjába sorolható. Erdőterületeink aránya ~21%, jelentős a lombosfa feldolgozóipar, viszont fenyő fűrészáruból jelentős mennyiségű importra szorulunk.

Az iparilag nem világszintű üzemekkel rendelkező országok a hazai gazdaság keresletét elégítik ki, az ott érvényes minőségi elvárásoknak megfelelően. A technológia fejlesztését, a bővítést és a modernizálást semmi sem követeli meg, így könnyen megragadhatnak egy adott szinten, vagy akár az évek múlásával csökkenhet is a technológiai színvonal. Az iparilag fejlett és magas erdősültségű országokban viszont modern technológiákkal dolgozzák fel a fát. A gépek magas technológiai színvonala magasan képzett kezelőket kíván, így a szakképzés, és az iparág támogatottsága erős. Az üzemek alkalmazottainak száma jóval a nem világszintű és a fejletlen ipari színvonalú országok alatt van, mivel a nagyfokú automatizáció lehetővé teszi kevesebb alkalmazottal történő működést. A termelékenység szintén magasabb 1–3 m³ rönkfa/óra/fő helyett 50–100 m³ rönkfa/óra/fő. A technológiaváltás gyors – 5–7 év –, azaz átlagosan ennyi idő alatt cserélik a fejlett üzemek a technológiáikat. A gyakori technológiaváltás jelentős beruházási terhet jelent az üzem számára, azonban a magas termelékenység biztosítani tudja a piacvezető szerep fenntartását.

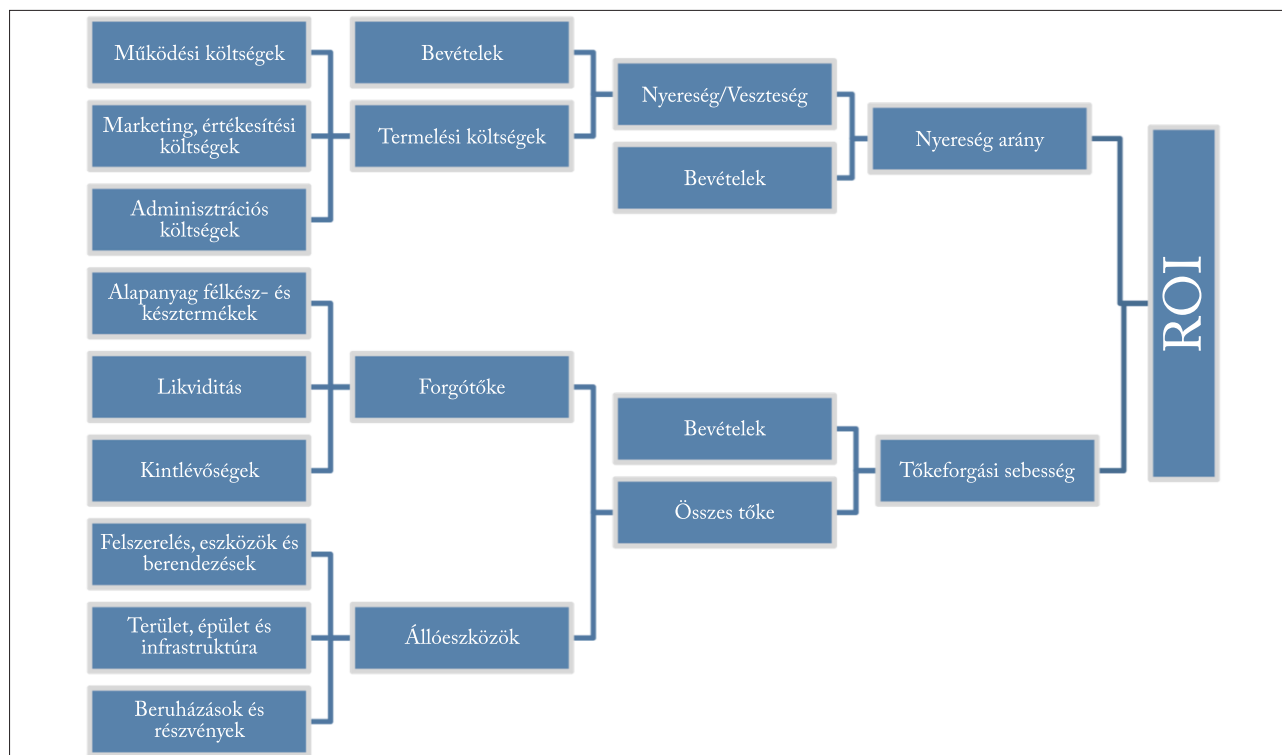
Egy üzem stratégiájának meghatározásakor figyelembe kell venni, hogy mekkora mennyiségű fát dolgoz fel évente, és mekkora az ország erdőterületeinek aránya. Ugyanakkor ez az érték összehasonlítások esetén ahhoz vezethet, hogy egy 100.000 m³ hengeresfát feldolgozó svájci üzem nagy, míg ugyanez az üzem Finnországban közepesnek számít.

A kisüzemek jellemzően a környező területekről származó faanyaggal elégítik ki alapanyag-szükségleteiket. Alkalmazottaik szakképzettsége nem jelentős, és többnyire az üzemhez közeli településen élnek, így az üzem szociális elismertsége magas. A változó igényekhez könnyen tudnak alkalmazkodni, egyedi és jó minőségű termékeket gyártanak. A közepes nagyságú üzemek nem képesek alacsony előállítási költséggel dolgozni, ez az üzemméret krízis esetén a legveszélyeztetettebb. A kis- és közép méretű fűrészüzemek általában nem nyereségesek, ezért az értéknövelő tovább feldolgozás képes plusz bevételeket biztosítani. A nagyüzemekre jellemző, hogy tömegárut termelnek. A közepes nagyságú üzemekhez hasonlóan társulásokból is állhatnak – ez Magyarországon sajnos nem jellemző –, viszont a nagyobb méretű, regionálisan elszórtan elhelyezkedő üzemek nagyobb területet képesek lefedni és ebből előnyt tudnak kovácsolni. Az egy helyre összpontosuló nagyüzemek áttekinthetőbbek, lapos a menedzsment-struktúrájuk és az értéknövelő technológiák alkalmazása is központilag megoldható (Bariska és Pásztory 2015a).

A tőke – nyereségszámítás

Minden fafeldolgozó üzem egyben profitorientált vállalkozás is, amely termékeivel pénzt kíván produkálni. A rendelkezésre álló összes tőkének három összetevője van: állóeszközök, forgótőke és előállítási költségek (1. ábra). Ezekből az adatokból lehet a legfontosabb üzemi jellemzőt levezetni, amelyet angolul Return on Investment (ROI = beruházások megtérülése) néven ismernek.

A nyereség vagy veszteség mértékét a bevételek és a termelési költségek különbözetéből kapjuk meg, az összes tőkét pedig a forgótőke és az állóeszközök összegéből. A nyereségarányt a nyereség/veszteség és



1. ábra Du-Pont költség séma

Figure 1 Du-Pont cost structure

a bevételek hányadosaként, a tőkeforgási sebességet pedig a bevételeket elosztva az összes tőkével számíthatjuk ki. Végül a beruházások megtérülését a nyereség arány és a tőke forgási sebességének szorzatából kapjuk meg. A nyereségarány 0,8–1,8; a tőkeforgási sebesség 1,06–1,18; a beruházások megtérülése 0,9–2,2 közötti értékeket szokott felvenni.

Az 1. ábrán bemutatott sémát a Du-Pont Company – egykor robbanóanyagokat gyártó vállalkozás – könyvelői dolgozták ki mintegy 100 évvel ezelőtt, de ez a séma oly sikeresnek bizonyult, hogy a nyereség kimutatására kisebb-nagyobb módosításokkal ma is használják. Előnye, hogy az üzemen belül keletkező összes pénzügyi tételt összefoglalja és a termékekhez köti, illetve az üzem nyereségességével hozza kapcsolatba. A Du-Pont egy jól ismert arányelemzés, amely eszközarányosan taglalja a megtérülést, a nyereséget és a felhasznált eszközök mértékét. A séma már a korai 1900-as években nagy népszerűsége tett szert. A következő nagyobb fordulatot a General Motors 1920-as Du-Pont-sémával történő sikeres felülvizsgálata jelentette. A Du-Pont-elemzés továbbra is központi eleme az arányossági vizsgálatoknak, és módszerét a mai napig pénzügyi tankönyvekben oktatják (Curtis et al 2015).

Az üzemeknek javasolt, általunk használt hatékonyságvizsgálat is erre a sémára támaszkodik, jöhetnek további részletek felmutatását igényli, amennyiben az üzemet kisebb egységekre – költséghelyekre – bontja. Ilyen költséghelyek egy tipikus fűrészüzemen belül: szállítás, rönktér, termelősorok egyenként, termékkezelés, szárítás, értéknövelő továbbfeldolgozás, tárolás és az általános költségek. Az üzemen belül bevezetett könyvviteli rendszert e részletezés nem bontja meg, csupán az abból szerzett információkat csoportosítja át. Előnye azonban az, hogy egyrészt pontosan mutatja a költségek növekedését költséghelyről költséghelyre, s ezzel a menedzsmentnek döntési lehetőséget ad esetleges beavatkozásokra, másrészt megengedi a termékek előállítási költségének egzakt meghatározását, amely a költségkalkulációt és általános költségek felállítását biztos alapra helyezi.

A költségkalkuláció sok esetben régi adatokra támaszkodik (pl. milyenek voltak a költségek és árak tavaly) ahelyett, hogy a jelen tevékenységekből és kötelezettségekből számítaná ki a termékeinek előállítási költségét és javasolt árát. A hatékonyságvizsgálat annyival pontosítja a költségkalkulációt, hogy termékek tömege helyett a megmunkált felületek méretét veszi figyelembe. Ez realisabb kalkulációs számítás, mert az eszközök és a gépeken eltöltött idő a felületek nagyságával jobban korrelálható. A változó költségek mértéke azon költséghelyeken, ahol a termékek megmunkálás alá kerülnek, a termékfelület nagysága mérvadó.

Mivel minden üzem egyedülálló, részleteiben ezt a költséganalízist üzemre szabva lehet csak alkalmazni. A 2. ábra mutatja az ilyen költségszámítás előnyeit.

Az ábráról leolvasható, hogy egy svájci üzemből hogyan nő egy termék előállításának költsége – az általános költségeket is beleértve – egyik költséghelyről a másikra. Jól látható, hogy mely költséghelyek a „drágák”, hol lehetne technológiai javításokkal kiadásokat csökkenteni, de az is jól látható, hogy hol lehetne az időráfordítás rövidítésével pénzt spórolni. Leolvasható az is, hogy az esetleges átadási árak milyen arányban oszthatók fel a költséghelyek között. (Az ideiglenes tároláson erdei tárolást értünk. Svájcban a nagy mennyiségű alapanyag rönktéri tárolása a magas telekárak miatt túl drága lenne.) (Lähtinen és Toppinen 2008).

Az üzem felszerelése és termelőképesége

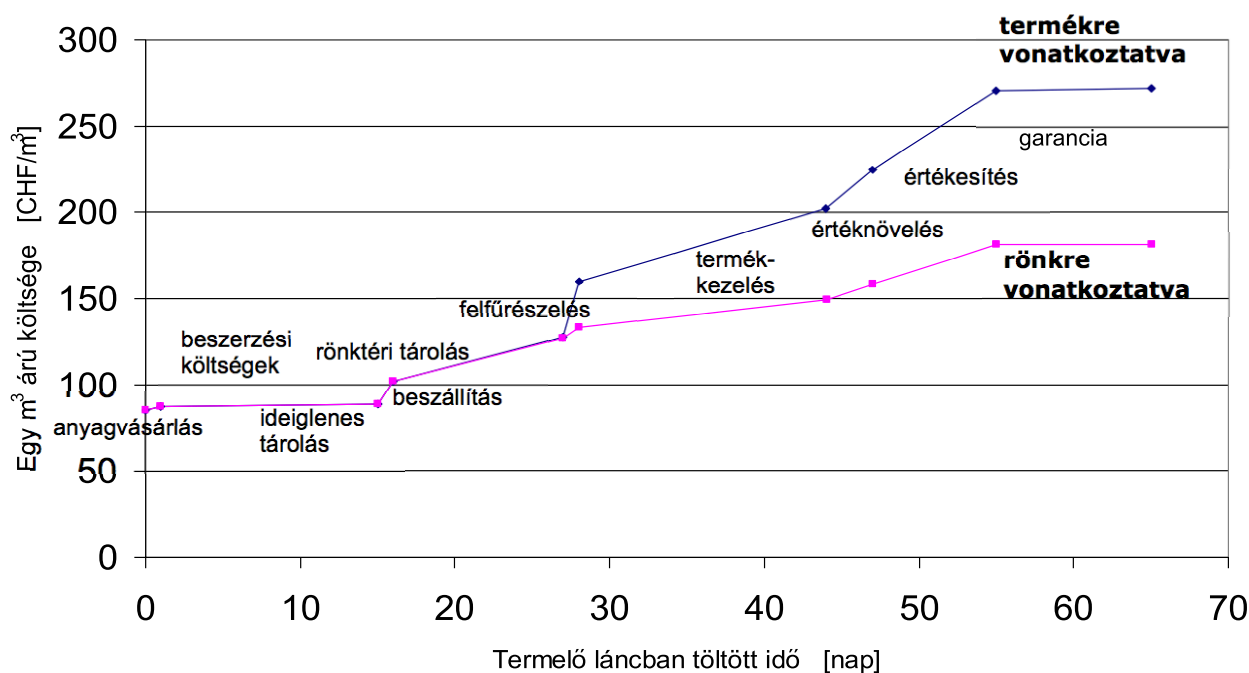
Az üzemen belül a felszerelést, a termelősorok felépítését és elrendezését, az anyag mozgását gondosan kell jellemezni. A technológiai adottságok közt központi fontosságú a termelősor. Egy tipikus fűrészüzemben a hatékonyságvizsgálat a következő részletekre tér ki:

Az alapgép (szalag/keret/körfűrész) *fűrészlapjának teljesítőképessége* döntő jelentőségű. Ezen azt értjük, hogy egy fűrészfog milyen mennyiségű tömörfát alakít át forgáccsá a rönkön való áthaladása folytán. A fogüreg csak egy bizonyos mennyiségű fűrészport képes befogadni. A lapprofil fizikai adottságaiból tehát le lehet vezetni egy határértéket, amelyet a fűrészelés folyamán nem lehet túllépni. Ez a határérték nagyban függ a fafajtától, annak sűrűségétől, de attól is, hogy a fűrészpor a ható erők folytán milyen tömören sűrűsödik össze a fogrésben.

A fűrészpor sűrűségének meghatározása nem egyszerű. Az irodalomban ugyan találhatók erre nézve becslések, de az értékek szórása elég nagy (Okai et al. 2005). A fűrészpor/tömörfa térfogat viszonyszám a forrástól függően 1,1 és 3 között mozog. Kísérleteink folyamán sikerült egy eléggé megbízható eljárást kidolgozni, amellyel az ún. fűrészpor tömörödési hányados pontosan meghatározható (Bariska és Pásztory 2015b) ().

A fűrészelési folyamatok során a felvágandó anyag fűrészelési energiaigényének kisebbnek kell lenni, mint a gép motor teljesítőképességének az adott előtolási sebesség mellett. Amikor az egyenlőség vagy ahhoz közeli állapot fellép az előtolás, és értelemszerűen a felvágási teljesítmény korlátja, a meghajtó motor teljesítménye lesz.

Az alapgép teljesítőképessége egyrészt a gép hajtómotorjának fordulatszámából, másrészt a rönk méreteiből kiszámítható. Ami emellett ismeretlen marad, az az előtolási sebesség. Szalag- és körfűrészre nézve a rönk előtolási sebessége jó közelítéssel a fenti adatokból vezethető le (fűrészpor tömörödési hányadosból, hajtómotor fordulatszámából, rönk méreteiből). Mivel a vágásmagasság a rönk szélétől a közepéig nő, majd megint csök-



2. ábra A költségek növekedése a termelői lánc mentén (saját felmérési eredmény)

Figure 2 Additional cost along the production line (own results)

ken, a maximális előtolási sebesség ennek megfelelően változhat. Ugyan léteznek modern gépek, amelyek az előtolási sebességet a vágásmagassághoz automatikusan igazítják, azonban a hazai technológia erre még nincs felkészítve. A rutinos gépkezelők tapasztalatból tudják, hogy a széldeszakát más előtolással lehet vágni, mint a rönk közepét, de a legtöbb gépen hiányzik a megfelelő mérőműszer, amelyhez a kezelő igazodhatna.

Keretfűrészre nézve a fenti megoldás csak bizonyos levonásokkal alkalmazható, amennyiben az előtolási sebességre a maximális vágásmagasság (=rönkátmérő) válik mérvadóvá. Ezáltal azok a fűrészlapok, amelyek a széleken dolgoznak, kisebb hatékonysággal fognak dolgozni. Hosszútávon azonban az előtolás hasonló megoldású szabályozása kifizetődik, amennyiben a rönk kocsi mindig a megengedett maximális előtolási sebességgel mozog.

A félkész termék a főgépet elhagyva még több gépen mehet át, míg eljut a termelősor végére. A gépek egymáshoz hangoltsága fontos tényező. Minden gépnek képesnek kell lennie az előző gépről beérkező anyagmennyiséget feldolgozni, sőt, valamivel többet, azért, hogy kis torlódások ne okozzanak leállást, hogy minden gép képes legyen megbirkózni a mennyiségében hullámzó anyagárammal. Amennyiben valamelyik berendezés nem lenne képes feldolgozni legalább azt a mennyiséget, amit az előtte lévő, úgy az válna a termelésben a szűk keresztmetszetté. A következő berendezések sem lennének képesek optimális hatékonysággal ellátni feladataikat.

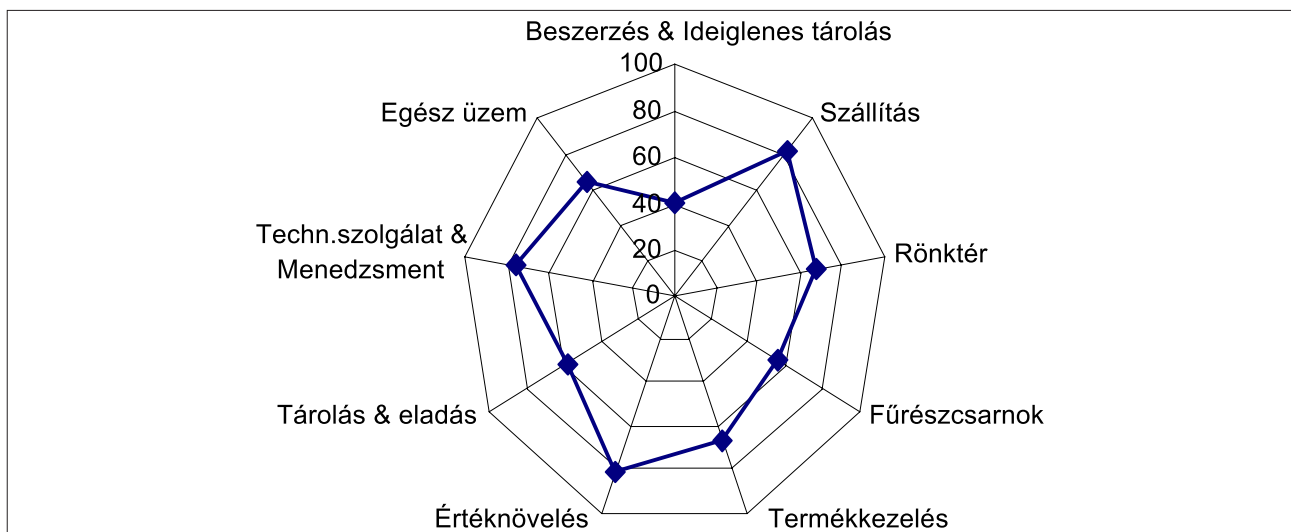
Egy kezdetben jól méretezett termelősor kiegyenlített anyagfeldolgozó kapacitással rendelkezett, de ez idővel megbomolhat, főleg akkor, ha egy gép meghibásodás vagy kopás folytán elveszíti eredeti áteresztő képességét. Az ismételt gépcserék, a kapacitás-egyenlőtlenségek oda vezetnek, hogy a leglassúbb gép a termelést fékezi, szűk keresztmetszetté válik, s végeredményben az egész üzem nyereségességét csökkenti. A termelősor kapacitás-kiegyenlítetttségének biztosítása, ill. helyreállítása az üzem vezetőségének egyik legfontosabb feladata.

Ha több termelősor működik egy üzemben, kihasználtságuk biztosításának előfeltétele az, hogy kapacitásjellemzőik ismertek legyenek. Így a vezetőség a beérkező megrendeléseket és termelési terveket célszerűen tudja szervezni, ehhez pedig megfelelő adatfelvételezés szükséges. Az ellenőrzés és nyomon követés szintén elmulaszthatatlan. Ezek legjobb módszere az adatgyűjtés.

Ha az üzem hatékonyságát vizsgáljuk, az első feladatok egyike azt tisztázni, hogy milyen adatokkal rendelkezik az üzem. A helyes adatok birtokában az egész üzemre vonatkozó kérdésekre kaphatunk választ:

- Milyen az egyes költséghelyek kihasználtsága?
- Milyen az üzem kihasználtsága?
- Mennyi kihasználatlan lehetőség rejlik az üzemben, amit beruházás nélkül ki tudnánk használni?

A 3. ábra képet ad a hatékonyságelemzés eredményéről. Az ábrán szereplő példa mutatja, hogy a fűrészcsarnok – amelynek tulajdonképpen az üzem szűk keresztmetszetének kellene lennie, s amelynek a kapacitás felső határa közelében kellene működnie – elég gyenge kihasználtsággal dolgozik. Ennek többféle oka lehet: kevés alapanyag áll rendelkezésre, egy gép a termelősorban túl alacsony kapacitású, a termelősor túl nagy kapacitással lett működésbe helyezve, kevés munkaerő áll rendelkezésre, stb. Ez rámutat arra, hogy hol kell elsősorban változtatásokat eszközölni.



3. ábra Teljesítmény és potenciál (saját mérési eredmény)

Figure 3 Production and potential (own result)

Jól dolgoznak a szállítás, értéknövelő és technikai költség helyek, a vezetőséget is beleértve. Mégis, az egész üzemre nézve a termelékenység alacsony szintű, ami nyereségvesztéssel egyenértékű. A felmutatott hiányosságok orvoslása folytán a termelékenység rövid időn belül lényegesen növekedhet. A költségek, amelyek magukba foglalják a tanácsadást, beruházások megvalósítását és a termelés ideiglenesen elkerülhetetlen redukcióját, 3,5 hónap alatt megtérülhetnek, és 7%-os állandó jellegű nyereségnövekedést eredményezhetnek (Månsson 2004).

Ember-óra kihasználtság

Egy műszak termelékenységét az összes termék mennyiségével mérjük. A mérés alapja az üzem szűk keresztmetszetének, jellemzően a fűrészcsernok termelősorainak teljesítménye. Ha a termelő sor megállásmentesen, optimálisan működik, akkor a leszedők határozzák meg az anyagáram sebességét, amennyiben – a hazánkban megszokott módon – az elszedés kézzel történik. A leszedőknek ugyanis időre van szükségük ahhoz, hogy a terméket kézbe vegyék, osztályozzák, rakatokba szétrakják, feljegyezzék, a kész rakatokat pántolják és elszállíttassák, s új rakatokat kezdjenek. A mérés alapja a termék darabszám, amelyet egy munkás időegységre nézve kezelni tud, valamint a termék rakatok mennyisége műszakonként. Ezekből az adatokból ki lehet számolni, hogy mekkora egy termelő sor maximális teljesítőképessége. Ezt az értéket csökkenteni kell a termelő sor szükséges megállási időivel (szerszámcsere, karbantartás, biztonsági lépések, stb.), és a meghibásodás állásidőivel (anyaghiány, géphibák, rönk/deszka okozta leállások, stb.). Az alábbi egyenletek érzékeltetik a számítás módját és mondanivalóját:

$$K_T = 100 \cdot \sum \frac{T_i}{\left(\sum T_{\max} - \sum T_{kjsl}\right)} \quad [\%] \quad [1]$$

ahol,

$\sum T_i$ –	effektív termelés idő	≈ 796 [ó/év]
$\sum T_{\max}$ –	maximálisan rendelkezésre álló idő	$\approx 1\,995$ [ó/év]
$\sum T_{kjsl}$ –	karbantartás, javítás, szerszámcsere, leállások ideje	≈ 575 [ó/év]
K_T –	a termelő sor kihasználtsága	$\approx 100 \cdot 796$ [ó/év] / $(1995-575)$ [ó/év] $\approx 56,1$ [%]

Ennek az adatnak a segítségével ki lehet számítani a termelő sor valószínű vágáskapacitását:

$$V_K = \frac{\sum V_{\text{rönk}} \cdot \left(\sum T_{\max} - \sum T_{kjsl}\right)}{\sum T_i} \quad \left[\frac{m^3}{\text{év}}\right] \quad [2]$$

ahol,

V_K –	vágáskapacitás	
A termelő sor vágáskapacitása [V_K]		$\approx 15\,330$ [$m^3/\text{év}$] * $(1\,995-575)$ [ó/év] / 796 [ó/év]
		$\approx 27\,350$ [$m^3/\text{év}$] ami annyit jelent, hogy a termelő sor évente $12\,000$ m^3 -rel több rönköt tudna felfűrészelni.
$\sum V_{\text{rönk}}$ –	ténylegesen felvágott rönk mennyiség	$\approx 15\,330$ [$m^3/\text{év}$]

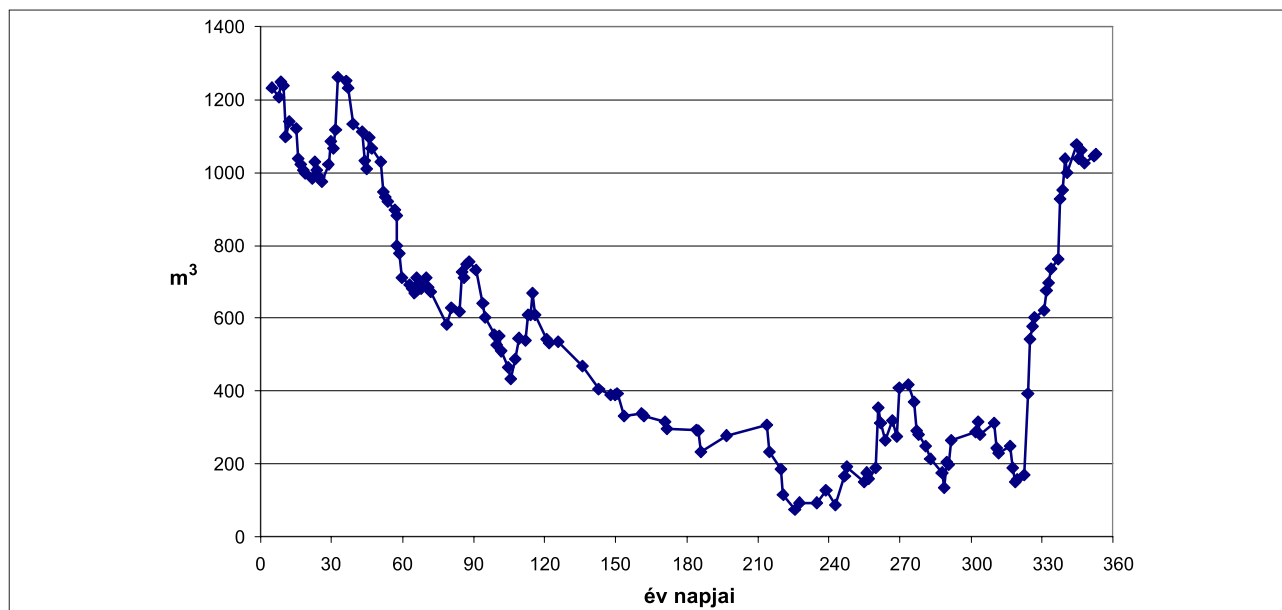
A fenti példa egy dél-afrikai üzem vizsgálatának az eredménye. Az üzem vezetősége az alábbi kérdések megválaszolásával tovább pozícionálhatná helyzetüket a piacon:

- Beszerezhető lenne-e több alapanyag?
- Elegendőek-e a rendelkezésre álló termelő eszközök az alapanyag többlet feldolgozásához?
- Lenne-e piac a többlet termékre?
- Túltőkésített-e a cég? Ha igen, akkor hogyan használható ki a kiaknázatlan kapacitást?

A fenti probléma megoldása értéknövelő technológia létesítése volt. Az üzem kölcsönrel további alapanyagot biztosított és egy táblásított anyaggyártó-egységet létesített a fűrészcsernok közelében – Dél-Afrikának oly fontos új munkahelyekkel (Olufemi et al 2012).

Alapanyag és termékek

A rönktéren tárolt anyagmennyiség biztosítja az üzem zavartalan működését. Sok üzem bőséges tartalékkal kezd az év elején, mert az erdőgazdaságok télen termelnek ki fát. Ennek következtében nyáron beállhat az a helyzet, hogy rönk szűkében fékezni kell a napi termelést azért, hogy az embereket foglalkoztathassák. A 4. ábra mutat egy ilyen helyzetet.



4. ábra Rönktéri alapanyag készlet (saját mérés)

Figure 4 Log yard stock (own result)

Előfordulhatnak egyéb befolyásoló szituációk is. Ártéri területekről az egész évi anyag egyszerre érkezik be. Ha nagy tömegű rönkanyag sok ideig fekszik feldolgozatlanul, akkor az anyag nyárra befűlhet, rovartámadásnak lehet kitéve. Más a helyzet sűrűn lakott területen, ahol a rönktéri tárolás drága, ezért a felfűrészelendő anyagot naponta szállítják be az üzembe. A problémák szinte maguktól keletkeznek, amennyiben az időjárás és közlekedési zavarok befolyásolják a napi termelt mennyiséget. Előfordult, hogy egy alkalommal darázsfészket is szállítottak a fával együtt a telepre és fél napig szünetelt a munka, mert a munkások elmenekültek az üzemből.

Az elegendő alapanyag-tartalék az érem egyik oldala. A másik természetesen a termékkihozatal. A kihozatal-számításnak több aspektusa van. Egyrészt ismernünk kell a fűrészcarnokba beérkező hengeresfa mennyiségét ahhoz, hogy a műszak, egy fafaj, avagy egy technológiai beállítás kihozatali értékét megállapíthassuk. Ezenkívül az sem mindegy, hogy a kívánt termékmennyiséget 100 vagy 200 rönkből vágjuk, tehát az egyes rönkkihozatali érték ismerete is kívánatos. Sajnos olyan számítási módszer rögződött be az üzemi gyakorlatba, amely sokszor bizonyíthatóan hamis értéket eredményez. Ha egy műszakra nézve az előállított termékek köbtartalmát elosztjuk a felvágott rönk mennyiség köbtartalmával, akkor az 10%-os eltérést is mutathat az egyes rönkökből számolt kihozattal szemben – ami a helyes számítási eljárás. Modern üzemekben a beérkező rönkök jellemzőiből állapítják meg nemcsak az előnyös vágásképeket, hanem az egyedi kihozatal értékét is.

A kihozatal értékének nagy jelentősége van a termék előállítási költségének számításánál. A költségek legtöbbször ismeretlenek, különösen akkor, ha több terméket állítunk elő egy rönkből.

A termékek egyedi költsége erősen eltérő lehet. Kijelenthető, hogy a kis térfogatú termékek előállítási költségei jóval magasabbak, mint a nagy térfogatú termékeké. Ez könnyen belátható, ha a szerszámkopást és az időszükségletet, valamint az egységnyi termékre eső vágásrés-veszteségeket összehasonlítjuk. Egy köbméter kis térfogatú termék sokkal nagyobb vágásfelületet hordoz, mint egy köbméter nagy térfogatú. Ugyanakkor egy ötször terjedelmesebb termék ugyanannyi időt tölt el a gépen és ugyanannyi leszedési időt igényel, mint egy ötször kisebb termék. A piac viszont fordítva honorál: a nagyobb térfogatú termék köbméterét drágábban tudjuk értékesíteni, mint a kisebbét. A kihozatal tehát erősen befolyásolja az előállítási költségeket. Ugyanakkor a nagyobb keresztmetszetű termékek általában nagyobb átmérőjű rönkből állíthatóak elő, mely rönk választék általában magasabb költségen szerezhető be. A kalkulációnak ezen területén már célravezető technikákkal találkozhatunk.

Energia

A felhasznált rönkök minél hatékonyabb felhasználása és kedvező kihozatala feltétlenül szükséges a meglévő alapanyagok legjobb felhasználása érdekében. Egy üzemben a telepre érkező rönkök mindössze 47 százaléka válik félkész vagy késztermékké, vagyis fűrészárúvá. A fennmaradó 53%-ot a fűrészpor (8%), a kéreg

(19%) és a forgács, illetve egyéb kisméretű eselék (26%) teszi ki. Az így keletkezett melléktermékek hasznosításának jelentős szerepe van az üzem nyereségességében. Általános hasznosítási mód az energiatermelés.

A felhasznált energia jelentős részét a szárítás teszi ki, amennyiben nem természetes úton szárítunk. 47%-os kihozatal feltételezve, 2,12 kg-os rönkből 1 kg tömegű fűrészáru keletkezik. Ennek 75 °C-on történő szárítása 2645 kJ energiát igényel, továbbá 353 kJ szükséges részarányosan az épület fűtéséhez és 680 kJ energia felhasználásával távolították el a kérget, fűrészelték fel a rönköt, gyalultak és osztályoztak.

A melléktermékek energetikai felhasználása szempontjából a kéreg a legkevésbé jelentős, mivel magas a nedvességtartalma, alacsony a térfogatra vetített fűtőértéke, és magas a hamutartalma. A fűrészüzemi melléktermékek (forgács, kéreg, fűrészpor) felhasználásával nyerhető energiát a fűrészüzemhez minél közelebb javasolt felhasználni. A fűrészipari biomasszát általában pelletgyárakban, hőerőművekben és CHP (Combinated Heat and Power) hő- és villamos erőművekben használják fel. Az üzemben keletkező biomassza kb. 10%-a elegendő a szükséges energia biztosításához, a fennmaradó mennyiség tovább értékesíthető (Anderson és Toffolo 2013).

A szárítási folyamattal megelőzhető a nem kívánt penész, repedések és vetemedések kialakulása. A szárítási idő meghatározása a hatékonyan működő üzem egyik legfontosabb tényezője. A minőségi alapos szárítási folyamat idő- és energiaigényes, a beérkezett, de el még nem készült félkész- vagy késztermék pedig költségként jelentkezik. A csökkentett átfutási idő elérése érdekében mesterséges szárítási technikákat alkalmaznak. A gyorsított szárítás során használt szárítók két csoportba sorolhatóak. Az alagútszárítók és a szakaszos szárítók között a legfőbb különbség, hogy a szakaszos szárítókban időről időre változik a levegő összetétele a különböző szárítási fázisok szerint. Az alagútszárítókban viszont a fűrészáru különböző zónákon halad keresztül, amelyekben a levegő hőmérséklete változtatható, így akár különböző energiaforrásokkal is fűthetőek az egyes zónák. (Magyarországon az alagútszárítók nem terjedtek el.) Amennyiben a szárítási folyamatot gyorsítani szeretnénk, fennáll a veszélye, hogy a fa sejteiben található kötött víz a párolgás közben repedéseket és deformációt eredményezhet, ami szárítási hibákhoz vezethet.

A szárítók veszteségei abból adódnak, hogy a felfűtött kamrák nem tudják megtartani a hőmérsékletüket. Ezt okozhatja szivárgás, illetve az is, amikor a szárítóban lévő nedves levegő helyére hideg levegőt juttatnak. Másrészt veszteség keletkezhet akkor is, amikor a felfűtött szárító berendezésbe ki- és berakodják a fűrészárut. A szárítók veszteségei a következő egységekből tevődnek össze (nem teljes lista):

- ki- és berakodás (78%),
- látens vagy a víz fázisváltásához szükséges hő (7%),
- fűrészáru felmelegítése (6%),
- hőátadás (5%),
- hőveszteség (4%).

A hatékonyság növelése érdekében a szárítás során a kamrából kiengedett levegő hőtartalmának egy része visszanyerhető, így 4–10%-kal növelhető a berendezés hatékonysága.

A szárítás során az energia jelentős része a víz elpárologtatására fordítódik. A szárítóba beépített hűtőbordákkal egyrészt szabályozni lehet a kamra hőmérsékletét, másrészt a felesleges hőt el tudja vezetni, így más ipari folyamatoknak tud segíteni (Anderson és Westerlund 2014).

Összefoglalás

A fentiekben igyekeztünk a fűrészüzemi hatékonyság főbb befolyásoló tényezőit áttekinteni. A gazdasági verseny erősödésével a termékek árát egyre inkább a piac határozza meg, és a termelőknek igazodniuk kell a piac szabta árakhoz. Az üzemi mozgástér így az előállítási költségekre korlátozódik, vagyis az elsődleges cél ezen költségek csökkentése. Ennek lehetséges területeiről és eszközeiről adtunk áttekintést, tudva természetesen, hogy a piaci és a regionális peremfeltételek azonossága mellett az egyes üzemeknek vannak komparatív, kapcsolati és egyéb előnyeik is, melyeket ki tudnak használni, de hátrányaik is, melyet kompenzálni vagy eliminálni szükséges.

Az üzem sikerességét elsősorban a menedzsment tevékenységének hatékonysága határozza meg, melynek egyik szegmense a külső kapcsolatok menedzselésében rejlik. Másik szegmense az üzem gyártási versenyképességének fejlesztése és karbantartása. Egy esetleges piaci krízis vagy árverseny kialakulása esetén az üzem versenyképességét a gyártási folyamatok költségeinek alacsony volta határozza meg.

Megjegyezzük, hogy „békeidőben”, amikor az üzem nem kényszerül árának csökkentésére, a versenyképesebb üzem nagyobb haszonnal termel, így egy ilyen üzem a technológiai fejlesztésbe is több pénzt tud visszaforgatni, mellyel a versenyképessége tovább növekszik.

A világgazdaság az elmúlt évtizedekben egyre nagyobb instabilitási kockázatot hordoz, részben a politikai, részben a termelési és főként a pénzügyi szektor kiélezett állapota miatt. Ilyen prognózis mellett a következő – a famegmunkáló szektort és a fűrészüzemeket is érintő – válság bekövetkezése sajnos csak idő kérdése, ezért bölcs dolog időben felkészülni a várható problémák elkerülésére vagy hatásuk minimalizálására.

Irodalomjegyzék

- Anderson J-O, Toffolo A. (2013) Improving energy efficiency of sawmill industrial sites by integration with pellet and CHP plants, *Applied Energy* 111:791–800. DOI:10.1016/j.apenergy.2013.05.066
- Anderson J-O, Westerlund L. (2014) Improved energy efficiency in sawmill drying system, *Applied Energy*, DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.08.041
- Bariska M., Pásztor Z. (2015a) Hatékonyság vizsgálat és önköltségszámítás fűrészüzemekben, Palatina Nyomda és Kiadó Kft., Sopron
- Bariska M., Pásztor Z. (2015b) The optimum log feed speed with bandsaw, *Eur. J. Wood Prod.* 73:245–250, DOI 10.1007/s00107-015-0883-3)
- Bariska M. (2002) „Leistungsanalyse in Sägereibetrieben. I: Methodensammlung”. Monographia, ETH, Zürich, 133 pp.
- Bariska M. (1995) Mill Performance Analysis (MPA). Part I: A guideline for mill managers. University Press, Stellenbosch, 37 pp.
- Bariska M. (1993) Production optimisation of sawn timber – POST. University Press, Stellenbosch, 39 pp.
- Curtis A., Lewis-Western M. F., Toynbee S. (2015) Historical cost measurement and the use of DuPont analysis by market participants, *Business Media*, New York
- Lähtinen K., Toppinen A. (2008) Financial performance in Finnish large- and medium-sized sawmills: The effects of value-added creation and cost-efficiency seeking, *Journal of Forest Economics* – 14:289-305
KSH: https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_aves/i_qsf001.html
- Månsson J. (2004) Vertical Integration and Efficiency: Ownership in the Swedish Sawmill Industry, Kluwer Academic Publisher, Netherlands
- Okai R., Tanaka C., Iwasaki Y., Ohtani T. (2005) Application of a novel technique for band sawing using a tip-inserted saw regarding surface profile, *Holz als Roh- und Werkstoff* 63:256–265, DOI: 10.1007/s00107-005-0023-6
- Olufemi B., Akindeni J. O., Olaniran S. O. (2012) Lumber Recovery Efficiency among Selected Sawmills in Akure, Nigeria, UDK:630*832.15 DOI: 10.5552/drind.2012.1111
http://www.woodbusinessportal.com/en/news/news_continut.php/Softwood_lumber_prices_have_trended_downward_in_the_US_Russia_and_Japan_this_fall_while_they_have_gone_up_in_China_and_the_Nordic_countries_reports_the_Wood_Resource_Quarterly/id_news__1722 kiadva: 2014. december 8. (megtekintés dátuma: 2016. április 13.)

Sarangolt fa nedvességtartalmának mérési lehetősége elektromágneses hullámokkal

MAJOR Balázs¹, DIVÓS Ferenc¹

¹ Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Fizikai és Elektrotechnika Intézet

Kivonat

A faanyag átvétele során visszatérő probléma, hogy a teherautókon szállított tűzifának illetve rostfának csak a tömegét tudják gyorsan és pontosan megmérni, a felhasználót viszont a szárazanyag-tartalom érdekli, az alapján kíván fizetni. Ez különösen igaz a fatüzelésű erőművekre, forgácslap-gyárakra. A mai nedvességtartalom mérési módszerek nem elég gyorsak, pontosak, megbízhatóak. Kutatásunk során egy rönttéren álló sarang vizsgálata történt, az erre a célra fejlesztett, 868 MHz-en működő eszközzel. Ezzel az eszközzel – reményeink szerint – a nedvességtartalom mérések gyorsabban, pontosabban, és már a teherautón is elvégezhetőek. Célunk volt megtudni, hogy az amplitúdó mérési módszer alkalmas-e sarangok nedvességtartalmának meghatározására. Az általunk vizsgált legszélesebb, 1 m-es sarangnál és egy 1,85 m-es rönknél is jó eredményeket kaptunk.

Kulcsszavak: nedvességmérés, sarang, faanyag-átvétel, roncsolásmentes faanyagvizsgálat, NDT

Moisture content measurement of stacked wood with electro-magnetic waves

Abstract

The determination of the quantity of firewood and industrial wood is often challenging when receiving shipments. The weight of the shipment can be measured quickly and accurately, but the oven dry weight determination requires the moisture content as well. This is especially critical for biomass power plants and fibreboard factories. Currently available moisture content determination methods are not fast, accurate and reliable enough.

We have investigated stacked wood in a log yard using an ultra-high frequency instrument, operating at 868 MHz. The employed method offers a way to determine the moisture content quickly and accurately while the wood is still on the truck. Our main goal was to find out, whether the measurement method is suitable for the non-destructive moisture measurement of stacked wood. We got good results when measuring 1 m wide stacks of wood as well as for a 1.85 m long log.

Keywords: moisture measurement, stacked wood, receiving logs, non-destructive testing of wood, NDT

Bevezetés

A faanyag átvétele során visszatérő probléma, hogy a teherautókon szállított tűzifának illetve rostfának csak a tömegét tudják gyorsan és pontosan megmérni, a felhasználót viszont a szárazanyag-tartalom érdekli, az alapján kíván fizetni. A jelenleg elfogadott gyakorlat szerint a beszállított mennyiségből fűrással vagy fűrészeléssel (kézi láncfűrész) mintát vesznek, a törzs csúcs felőli végétől kb. 50 cm távolságban. Ez történhet még a teherautón lévő alapanyagból, vagy a már lerakodott anyagból. Ennek a mintának a nedvességtartalmát laboratóriumban mérik meg (Hargitai 2008). Ezeket a méréseket szigorú leírást követve kell elvégezni, több helyről mintát véve, a mintavétel saját döntése alapján. A mintavételezés esetlegessége, a rakat nedvességtartalmának inhomogén eloszlása a leggondosabb labormérés mellett is óhatatlanul mérési hibát, bizonytalanságot okoz. Egy teherautó rakomány faanyag esetén már 1% nedvességtartalom-eltérés is nagy anyagi veszteséget okozhat – mintegy 20 000 Ft, a tévedés irányától függően vagy az eladónak vagy a vevőnek, a TAEG ZRt. 2016. 09. 12-i adatai alapján, 6 tonnás teherautóval számolva – a fizetendő szárazanyag-tartalom számításakor.

Emellett a jelenleg használatos nedvességmérési módszerek idő- és élőmunka-igényesek és az általunk felvázolt roncsolásmentes mérési elvhez képest kevésbé automatizáltak. Továbbá a jelenleg használatban lévő nedvességtartalom mérések a beszállítás során nagyobb kieső időt eredményeznek, így negatív hatással vannak a fatüzelésű erőművek és forgácsológyárak termelésének menetére. Az általunk fejlesztett mikrohullámú, 868 MHz-en működő eszközzel ezek a mérések feltételezésünk szerint gyorsabban, pontosabban – és már a teherautón is elvégezhetőek.

Elektromágneses hullámokkal sugároztuk át a sarangot és a hullámok elnyelését vizsgáltuk a másik oldalra megérkező jel nagyságának mérésével. Célunk volt megtudni, hogy a mérési módszer alkalmas-e sarang nedvességtartalmának meghatározására bükk, tölgy és erdeifenyő faanyag, továbbá egy nagy átmérőjű mamutfenyő rönk esetén. A bükk, tölgy és erdeifenyő faanyagot azért választottunk, mert gyakran alkalmazzák őket tüzelőanyagként vagy rost előállítására, a mamutfenyő pedig a nagy átmérő miatt megfelelő a teljes tömör felületen történő, reflexiómentes méréshez. A mérések alapján javaslatot kívánunk tenni egy iparban alkalmazható mérési módszer kifejlesztésére.

A hagyományos nedvességtartalom mérési módszerek sarang esetén többfélék lehetnek. Az ipari gyakorlatban bevett módszerek közé tartozik a teherautó beérkezése után a mérlegeléssel egybekötött nedvességtartalom mérés. Emellett a mintákat az intézménytől és az előírásoktól függően, hosszabb-rövidebb ideig tárolni kell. A vételezett minták abszolút száraz tömegre történő szárítása precíz munkavégzés esetén hosszadalmas lehet. Bár ma már léteznek magas hőmérsékletű gyors szárítók, a mintavétel ideje így is hosszú marad. Továbbá a mintavételezés pontszerű, nem lehet minden egyes rönkből, sarangból mintát venni, a több helyről vett mintákat keverik – azonos fafaj esetén – így képzik a raktéren lévő anyag átlag nedvességét a számítások során. Az általunk felvázolt mérési rendszer lényegesen lecsökkentheti a nedvességtartalom-meghatározás idejét, továbbá az antenna méretétől függően nagy felület, nagy anyagmennyiség vizsgálható vele.

Hasonló elektromágneses hullámokkal történő mérésekre, valamint az ilyen hullámoknak a faanyagra gyakorolt hatására vonatkozó leírást találhatunk Torgovnikov (1993), Sakkar (1988) és Bucur (2003) műveiben. A legelterjedtebb ezen a téren a mikrohullámmal történő nedvességmérés. Míg Torgovnikov és Sakkar kutatásaik során kisméretű mintákat használnak, mi nagy mintákon (sarangokon) végeztünk méréseket, továbbá 868 MHz-et használunk, aminek az előnye, hogy nagyobb áthatoló képességgel bír.

A mérések elméleti háttere

Az elektromágneses sík hullámok vákuumban csillapítás nélkül fénysebességgel terjednek, míg adott anyagban az anyaghoz tartozó dielektromos állandók határozzák meg a terjedésüket. A befolyásoló tényezők lehetnek: a fafaj, mely csak a sűrűség szempontjából befolyásol, a sarangban elhelyezkedő faanyag száliránya (rostirányú vagy rostra merőleges hullám terjedés), a hőmérséklet és a nedvességtartalom. A dielektromos állandók érzékenyek még a hőmérsékletre és az alkalmazott frekvenciára is. Az amplitudó méréseket befolyásolja még az alkalmazott geometria is (Tolvaj 1994).

Az áthaladó elektromágneses hullám kölcsönhatásba lép a vizsgált faanyaggal. A jel gyengülését az anyag dielektromos tulajdonságai, a dielektromos állandó (ϵ') és a veszteségi tangens ($\tan \delta$) határozzák meg az [1] képlet szerint. A dielektromos állandók változása nagyon érzékeny a nedvességtartalomra (1. táblázat), ez teremti lehetőséget a nedvességtartalom meghatározására. A csillapítási állandót (Torgovnikov 1993) a következő formula adja meg:

$$\alpha = \left(\frac{2\pi}{\lambda_0}\right) \cdot \left[\left(\frac{\epsilon'}{2}\right) \cdot \left(\sqrt{1 + \tan^2 \delta} - 1\right)\right]^{\frac{1}{2}} \quad [1]$$

ahol:

- λ_0 – hullámhossz levegőben, m-ben (esetünkben 0,3456 m),
- ϵ' – a vákuumhoz viszonyított relatív dielektromos állandó,
- $\tan \delta$ – a veszteségi tangens (Tolvaj 1994).

Az adott d vastagságú anyag átsugárzása után mérhető energia:

$$W' = W'_0 \exp(-2\alpha d) \quad [2]$$

ahol:

- W'_0 – az anyag felületére bocsájtott energia,
- d – a rétegvastagság m-ben.

A csillapítást dB-ben a következő formula adja meg:

$$A = 10 \lg \left(\frac{W'}{W'_0} \right) \quad [3]$$

Alkalmazott módszer és anyagok

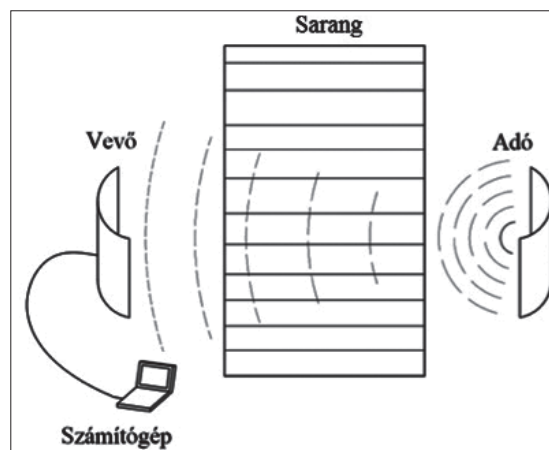
A mérésekhez egy Ther István villamosmérnök által kifejlesztett 868 MHz-en működő adó-vevő párt alkalmaztunk. Ez a frekvenciasáv a lakosság körében szabadon használható a 2/2014 (I.7.) NMHH rendelet értelmében. Az eszköz egy jeladó, valamint egy vevő antennából áll, utóbbi a vett jel amplitúdóját jelzi. A logaritmikus erősítőnek köszönhetően nagy dinamikával rendelkezik a berendezés, és 91 dB átfogására képes. Dipól antennákkal és parabola tükrökkel működik a műszer; ezek a tükrök a nem kívánt reflexiókat küszöbölik ki, és egy irányba irányítják a hullámokat (1. ábra). A parabola tükrök alkalmazásával jelentősen lecsökkenthető a környezetben levő tereptárgyakról történő reflexió következtében kialakuló zavaró jelek aránya. Az általunk elkészített antennák hasznos felülete 0,34 m x 0,32 m, azaz 0,1088 m².

Kísérletünkben egy rakat vizsgálatára került sor, melyet rostiránnyal párhuzamosan sugároztunk át. A jelszint az anyagban a rétegvastagság növekedésével exponenciálisan csökken. A csökkenés mértékét a dielektromos tulajdonságok is befolyásolják.

A berendezés adója teleppel működik, a vevő a mért adatokat USB porton keresztül a számítógépre továbbítja, ahol a külön erre a célra kifejlesztett program az idő függvényében megjeleníti a vett jel nagyságát. Ez a jel érzékeny az adó és a vevő egymáshoz viszonyított helyzetére, továbbá az antennák pozícionálására. Mivel az antennákat kézzel pozícionáltuk, ez bizonytalanságot vihetett a rendszerbe.

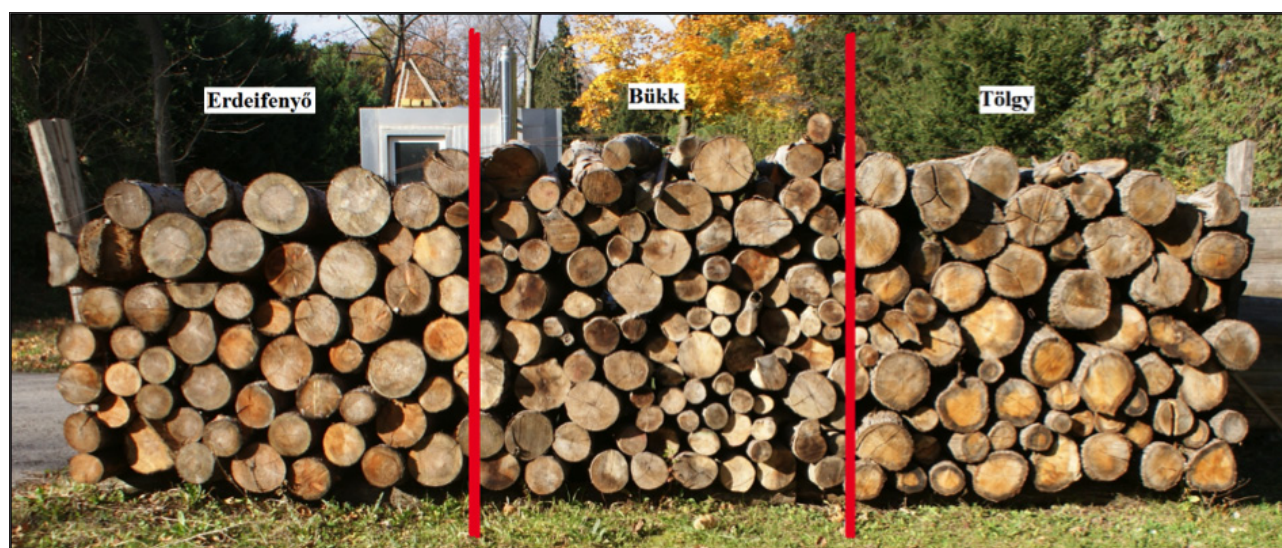
A tesztek során átsugároztunk közönséges erdeifenyő (*Pinus sylvestris*), bükk (*Fagus sylvatica*) és tölgy (*Quercus*) összetételű sarangot (2. ábra), valamint egy nagy átmérőjű óriás mamutfenyő rönköt (*Sequoiadendron giganteum*) a nedvességtartalom vizsgálatához.

Egy átlagosan 1 m széles sarangon történt több vizsgálat. Mivel a rendszer időben folyamatosan regisztrál, egy egybefüggő folyamatos mérést végeztünk a különböző fafajú sarang szakaszok tetejétől az aljáig. Az óriás mamutfenyő rönk hossza 185 cm volt,



1. ábra A 868 MHz-en működő műszer felépítése

Figure 1 The installed equipment working on 868 MHz



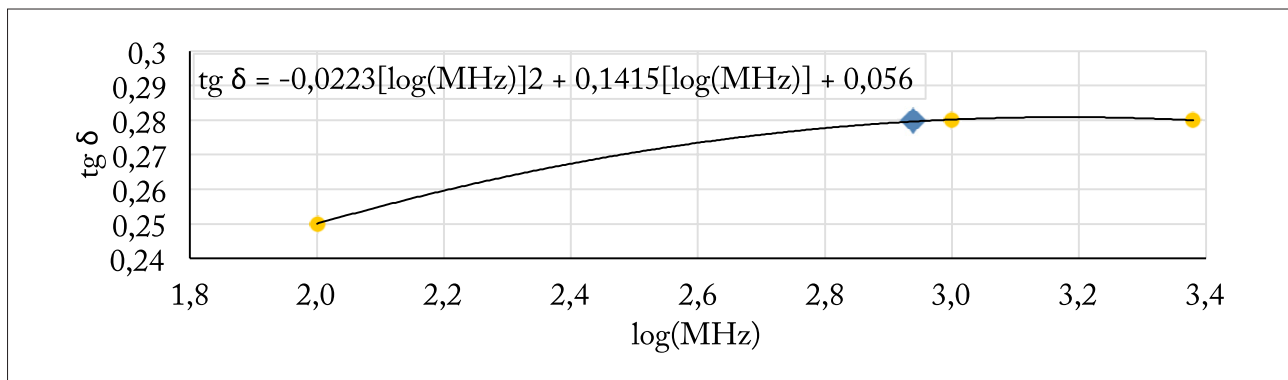
2. ábra A kísérleti sarang felépítése

Figure 2 The built up of the experimental stock (Scots pine, European beech, Oak)

az antennát teljes egészében a bütü felületére lehetett nyomni, így ebben az esetben még véletlenül sem léphetett fel nem kívánt reflexiós hiba. A rakatok nedvességtartalmának tömegméréses meghatározásához 18 mm széles ács fűrészár segítségével fűrész mintavételt végeztünk. Fafajonként 5-5 helyről forgácsot vettünk, melyet összekevertünk egy légmentesen zárható, üveg tárolóedényben, majd forgács nedvességtartalom meghatározására használatos KERN MLS 50-3-as típusú eszközzel meghatároztuk az átlagos nedvességtartalmat.

A kalibrációs görbét irodalmi adatok felhasználásával származtattuk. Mivel 868 MHz-en nem voltak elérhető adatok, ezért a 100, 1000 és 2400 MHz-es frekvenciákon megadott dielektromos állandók felhasználásával, másodfokú interpoláció segítségével számoltuk ki a 868 MHz-hez tartozó dielektromos állandókat. Torgovnikov (1993) adatait használtuk (3. ábra).

A 20 °C-os hőmérsékletre tartozó adatokat használtuk a számítások során, ami jól közelítette a vizsgált mintáinkat. A sűrűségek tekintetében, a Pilodynos-mérés megfelelő értéket szolgáltatott, a bükknél (673 kg/m³), az erdeifenyőnél (498,4 kg/m³). A mamutfenyő sűrűségét a korábban ugyanazokon a mintákon végzett irodalmi adatokból vettük 700 kg/m³-nek (Papp 2012). Elvégeztük az értékelést erdeifenyőnél 500 kg/m³-es sűrűségadatokkal is, de az így kapott adatok jelentősen magasabbak voltak a forgács nedvességtartalmi mérésekhez képest. Meglepő módon lényegesen jobb egyezés született, egységesen 700 kg/m³ sűrűség használatával.



3. ábra 868 MHz-hez tartozó $\tan \delta$ meghatározása interpolációval, a 60% nedvességtartalomhoz, Torgovnikov (1993) alapján

Figure 3 The determination of $\tan \delta$ at 868 MHz by interpolation, at 60% moisture content, based on Torgovnikov (1993)

Ennek oka nem ismert, de extrakt anyagok az elektromos tulajdonságokat befolyásolhatják.

Az interpolált adatokkal, adott nedvességtartalomnál az [1] képletet felhasználva határoztuk meg a csillapítási állandót. Az adatokat az 1. táblázat tartalmazza.

A számított kalibrációs görbe a csillapítási állandó függvényében a nedvességtartalmat adja meg. A számított pontokra a 4. ábrán szereplő másodfokú függvény kielégítő illeszkedést ad. Megjegyezzük, hogy Torgovnikov (1993) irodalmi adatai alapján a 30%-os nedvességtartalom esetében is elérhetőek voltak, a kalibrációs görbétől egy kettes faktorról eltérő értéket kaptunk, amely minden bizonnyal sajtóhiba, ezért azokat nem vettük figyelembe.

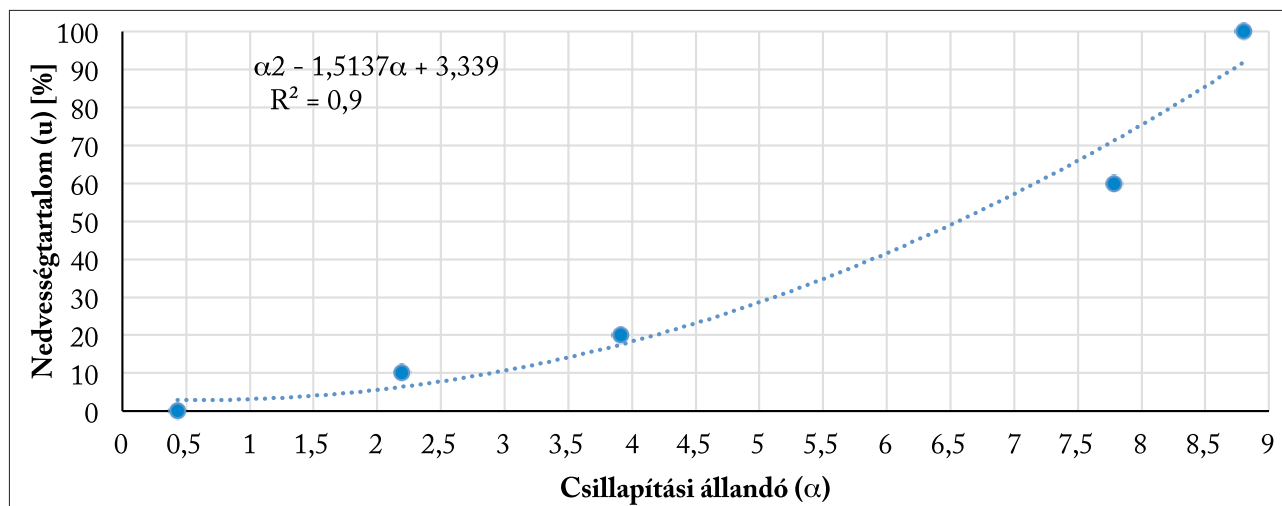
A méréseink során mintával és minta nélkül változatlan antenna távolság (d) esetén mértük a jelszinteket. A [2] és [3] egyenlet alapján a jelszintekből és az antenna távolságból számoltuk ki a csillapítási állandót, a kalibrációs görbe segítségével pedig az elektromágnesesen mért nedvességtartalomhoz jutottunk.

Torgovnikov kisméretű, néhány mm-es mintákon határozta meg a dielektromos állandókat, a cikkben ismertetett méréseket viszont 1 m-es vagy annál is nagyobb méretű famintákon végeztük. A jelentős méretbeli eltéréssel magyarázható, hogy tömör fához 0,65-ös, saranghoz 0,5-ös szorzóval csökkentettük a méréssel meghatározott csillapítási állandó mértékét. Ezzel a korrekcióval az elektromágnesesen és a hagyományos, szárítási módszerrel meghatározott nedvességtartalmak kielégítő egyezést mutattak.

1. táblázat 868 MHz-en, különböző nedvességtartalmi értékeknél a csillapítási állandó mértéke, Torgovnikov (1993) alapján

Table 1 The attenuation coefficient at different moisture contents, at 868 MHz, based on Torgovnikov (1993)

u [%]	0%	10%	20%	60%	100%
ϵ	2,213	3,034	4,495	9,543	18,321
$\tan \delta$	0,032	0,139	0,204	0,280	0,228
α	0,4309	2,1983	3,9118	7,7819	8,8020



4. ábra Kalibrációs görbe a decibeltől számolt csillapítás adatok nedvességtartalomra váltásához

Figure 4 Calibration curve for moisture content determination based on measured attenuation data

A számítások szerint 2 m vastag minta átsugárzása 100 dB-nél kisebb jelcsökkenést eredményez. Ezért az általunk használt mérőrendszerrel 2 m vastag minta vizsgálata még lehetséges. A mérőrendszerünk a célul tűzött feladat megoldására kellő érzékenységgel rendelkezik.

A mért eredmények

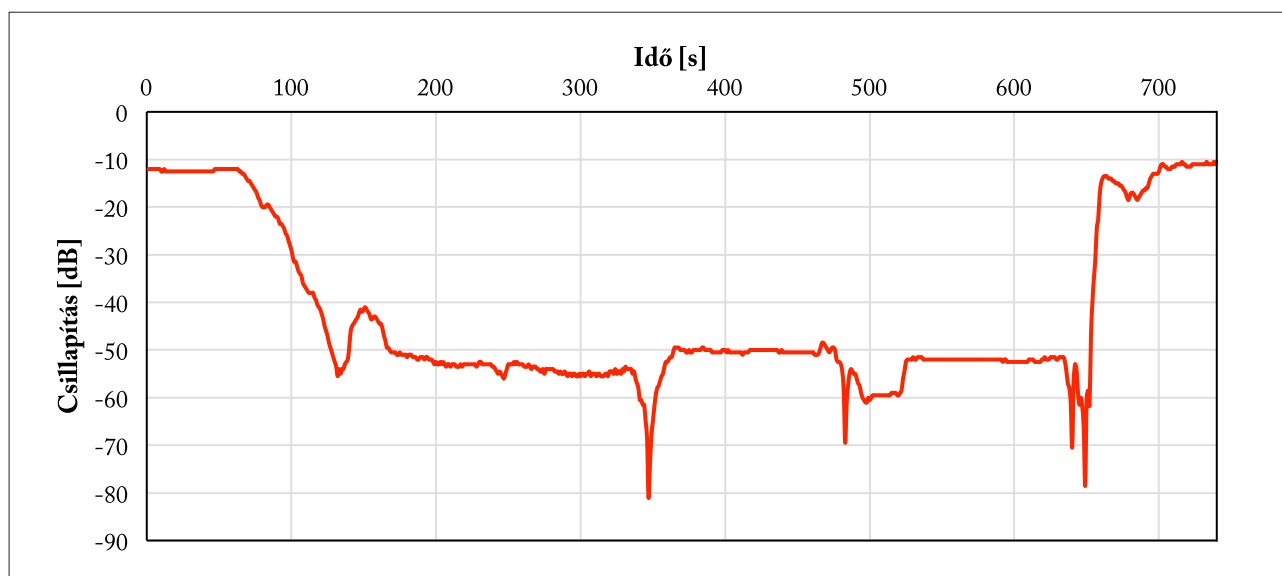
Az elektromágneses nedvességmérést a hagyományos, mintavételezésen és szárításon alapuló módszerrel kontrolláltuk, melyek eredményeit a 2. táblázat mutatja.

Az 5. és 6. ábrán a mért jelszintek láthatók az idő függvényében, miközben az antennákat mozgattuk. A görbe tetején és végén látható magas jelszint (kicsi csillapítás) esetén az antennák között nem volt minta. Az alacsony jelszintek esetében az antennák között faanyag található. Az 1 m széles, bükk sarang vizsgálatakor tapasztalt jelingadozás látható az 5. ábrán.

2. táblázat A hagyományos mintavételezéssel mért nedvességtartalmak

Table 2 The results of the traditional moisture measurements

Fafaj	u [%]			
	Szórás	Átlag	Max.	Min.
Tölgy	0,1	21,8	21,9	21,7
Bükk	0,5	20,1	20,6	19,5
Erdeifenyő	0,3	17,1	17,4	16,8
Mamutfenyő	1,6	45,8	47,7	43,8



5. ábra 1 m-es bükk sarang vizsgálata, adó-vevő távolság 110 cm, a diagram elején és a végén a sarang megközelítése és a sarang elhagyása látható – ahol csak levegő volt az adó és a vevő között. Az alacsony jelszintek a tényleges mérés értékei

Figure 5 Measurement of 1 m long stacked beech wood, transceiver distance 1.1 m. The diagram shows the approach to and the departure from the stacked wood, where there was only air between the transceivers. Low signal levels are the actual measurement values

A váratlanul megjelenő völgyek úgy keletkeztek, hogy az antennák kézi mozgásakor azok rövid ideig nem egymás felé néztek. Ez mutatja, hogy a műszernek magas az irányérzékenysége, tehát fontos, hogy az antennák pontosan egymással szemben legyenek. Ezeket a mérési hibákat az értékelés során figyelmen kívül hagytuk.

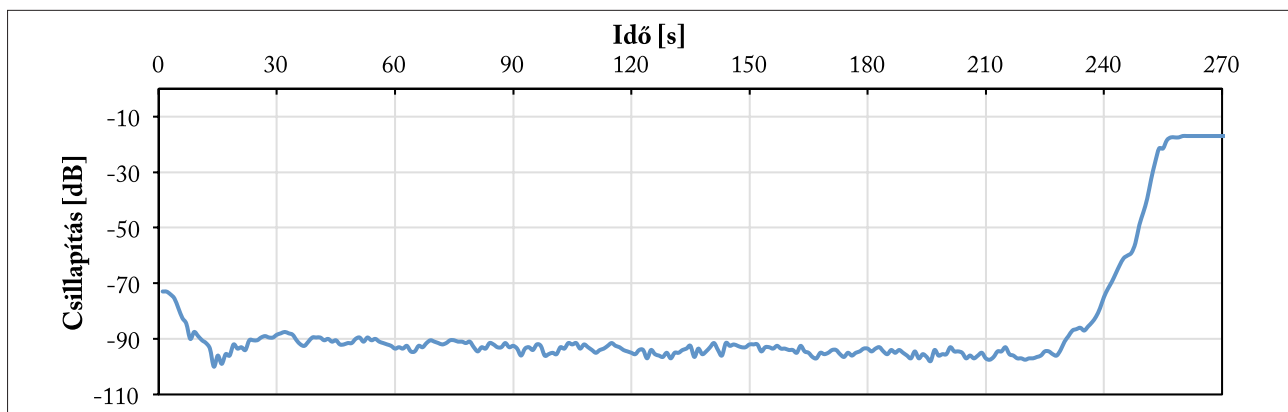
A vizsgálat kiindulási helyzetében, amikor az antennák között nem volt minta, így a jelnek csak a levegőn kellett áthatolnia, -12 dB-t mértünk, majd az antennákat bemozgattuk a mérési pozícióba -52 dB-t értünk el, így a rakat bükk részének csillapítása 40 dB. A korábban bemutatott kalibrációs görbével (4. ábra) 18,4% nedvességtartalmat határoztunk meg. A fúrásos mintavételezéssel meghatározott nedvességtartalom 20,1% volt. Az eltérés a két mérés között 1,7%.

A 6. ábrán a 1,85 m széles óriás mamutfenyőn mért, átlag -95 dB jelintenzitás csökkenés látható. Az 1,85 m hosszú rönkön a -17 dB-es minta nélküli értékkel korrigálva, ez 78 dB jelcsökkenést jelent. A [2] és [3] képlettel meghatározott korrigált csillapítási állandó segítségével 46,2%-os nedvességtartalom adódott. A fúrásos mintavételhez képest ez 0,4% eltérés.

A 3. táblázat tartalmazza az összes mért eredményt. A 2-2 mért eredmény a tölgy és az erdeifenyő esetében a műszeres vizsgálat során a különböző magasságokban mért két eltérő, jól elkülöníthető jelszint miatt került be a táblázatba. Feltételezhető, hogy a sarangban a talajhoz közeli részen más lehetett a nedvességtartalom. Ebben az esetben vélhetőleg nem az antennás mérés volt pontatlan, hanem éppenséggel a mintavételezéses eljárás nem volt képes kimutatni azokat a nedvességtartalmi eltéréseket, amelyek a valóságban jelen voltak a sarangban.

Következtetések

Sikerrel próbáltunk ki egy viszonylag egyszerű berendezést, mely 868 MHz-es frekvencián elektromágneses hullámok intenzitásának mérésére alkalmas. A rendszer 100 dB-es érzékenységgel rendelkezik.



6. ábra 1,85 m-es mamutfenyő rönk vizsgálata, adó-vevő távolság 195 cm, a diagram végén a rönk elhagyása látható – ahol csak levegő volt az adó és a vevő között. Az alacsony jelszintek a tényleges mérés értékei

Figure 6 Measurement of 1.85 m long giant sequoia log, transceiver distance 1.95 m. The diagram shows the departure from the giant sequoia log, where there was only air between the transceivers. Low signal levels are the actual measurement values

3. táblázat Az eredmények összefoglaló táblázata

Table 3 As summary of the results

Fafaj	Műszerrel mért csillapítás [dB]	Minta nélküli csillapítás [dB]	Átsugárzott vastagság [m]	Csillapítási áll. [α]	Fúrással mért nedvességtartalom [%]	A görbe (4. ábra) egyenlete szerinti nedvességtartalom [%]	Eltérés [%]
Mamutfenyő	95	17	1,85	9,7	45,8	46,2	0,4
Erdeifenyő	48	10	1,15	7,6	17,1	16,6	-0,5
Erdeifenyő	43	10	1,15	6,6	17,1	12,7	-4,4
Tölgy	56	10	1,15	9,2	21,8	24,3	2,5
Tölgy	48	10	1,15	7,6	21,8	16,6	-5,2
Bükk	52	12	1,15	8,0	20,1	18,4	-1,7

Kijelenthető, hogy közel 2 m-es tömör faanyag rostiránnyal párhuzamos átsugárzására alkalmas a műszer; ezt alátámasztották az elméleti számítások és a gyakorlati mérések is. A kalibrációs görbével jól meghatározhatók a nedvességtartalmak a mért csillapítások alapján. A továbbiakban ennek a kalibrációs görbének a pontosítására lesz szükség a sűrűség- és hőmérsékletfüggés figyelembevételével.

Amennyiben nedvességmérésre kívánjuk felhasználni a bemutatott mérőrendszert, akkor gondosan ügyelni kell arra, hogy a helyszínen történt kalibrációt követően a mérőhely közelében lévő reflektáló felületek ne változzanak. Továbbá figyelni kell a rendszer hőmérséklet, és a fajaj függésére. Az itt bemutatott 1 paraméteres – csak a jelszint mérésén alapuló – nedvességtartalom mérés pontosítható a sűrűség változását jelző második paraméterrel (Divós és tsai. 2011, 2013). Egy lehetséges mód erre a vett jel fázistolásának mérése.

Bízunk abban, hogy a közeljövőben lehetőség nyílik arra, hogy az itt felvázolt rendszert megépíthessük és ipari körülmények között tesztelhesük.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnénk mondani a Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Karán működő Innovációs Központnak a mérési hely biztosításáért.

Irodalomjegyzék

- 2/2013 (1.7.) NMHH rendelet a polgári célra felhasználható frekvenciasávok felhasználási szabályainak megállapításáról. NMHH, 2013.
- Bucur V. (2003) *Nondestructive Characterisation and Imaging of Wood*. Springer-Verlag, New York Berlin Heidelberg Hon Kong London Milan Paris Tokyo, ISBN: 3-540-43840-8, 354. old.
- Divós F., Divós P., Ther I. (2011) Wood Density determination by microwave radar. In: Divós f. ed. Proc. 17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Sopron, Hungary, September 14-16, 2011., Volume 2, ISBN 978-963-9883-83-3, 651.-656. old.
- Divós F., Tsalagkas D., Koutsianitis D. (2013) Wood Density determination of Trees by Microwave Impulse Radar Device. Proc. 18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium Madison, Wisconsin, USA, September 24-27 2013., 143.-149. old. <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgr/fpl_gtr226.pdf> Megtekintve: 2016. 08. 24., 15:37
- Hargitai L. (2008) Röntktéri technológiák. Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest. 7.-9. old. <http://www.kepzesevolucioja.hu/dmdocuments/4ap/11_2309_002_100915.pdf> Megtekintve: 2016. 06. 08., 19:40
- Papp Á. J. (2012) Óriás mamutfenyő (*Sequoiadendron Giganteum* fizikai és mechanikai tulajdonságainak vizsgálata. In: Hováthne Hoszpodár K. szerk. Hallgatói Tudományos Konferencia, 2012. Tanulmánykötet a „Talentum program” hallgatói kutatásainak eredményeiről, előadásanyagairól. NymE-FMK, Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola. PALATIA Nyomda és Kiadó Kft. ISBN 978-963-9883-96-3. 134.-139. old.
- Skaar C. (1988) *Wood-Water Relations*. Springer-Verlag, New York Berlin Heidelberg, ISBN: 0-387-19258-1, 283. old.
- Tolvaj L. (1994) Elektromos tulajdonságok. In: Sitkei Gy. (szerk.) *A faipari műveletek elmélete, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó Kft., Budapest*, ISBN 963 356 079 9, 80.-81. old.
- Torgovnikov, GI. (1993) *Dielectric Properties of Wood and Wood-Based Materials*. Springer-Verlag, New York Berlin Heidelberg, ISBN: 0-387-55394-0, 160.-169. old.

A dimenzióanalízis módszerének alkalmazása a faipari tudományokban

KOCSIS Zoltán¹

¹ Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Kar, Faipari Gépészeti Intézet

Kivonat

A kutatások során gyakran előforduló probléma a viszonylag nagyszámú független változó kezelése, valamint az adatok általános érvényű feldolgozása. A nagyszámú független változó számának redukálásához és a kísérleti adatok általános érvényű feldolgozásához nagy segítséget nyújt a hasonlósági elmélet dimenzió nélküli számok segítségével. Jelen publikáció ennek alkalmazását kívánja bemutatni egy kidolgozott példán keresztül. A dimenzióanalízis módszerét az elmúlt 100 évben már sikeresen alkalmazták például hőtani, mechanikai és áramlástanai problémák megoldásánál főként azokban az esetekben, amikor a jelenséget részleteiben nem ismerték és emiatt nem tudták a pontos matematikai modelljét, például differenciálegyenletét felírni. A szerző célul tűzte ki, hogy ez a gyakorlatias módszer a tudományos életben, így a faipari tudományokban is minél szélesebb körben megismerésre kerüljön.

Kulcsszavak: hasonlósági elmélet, dimenzióanalízis, dimenzió nélküli számok, kritériumi egyenlet, differenciálegyenlet

The application of the method of dimensional analysis in the wood sciences

Abstract

In research it is quite common to operate with several independent variables, and everyone strives to analyze the collected data in general. Similarity theory could be really helpful by using dimensionless parameters. This theory was successfully applied to solve some problems of mechanics and thermo- and hydrodynamics during the past century already, especially when the phenomena was not known in detail, and it was impossible to set up the right differential equation. In this article the author demonstrates the potential of this theory by sharing details of a specific example and wishes to draw some more attention to it.

Keywords: similarity theory, dimensional analysis, dimensionless numbers, criterion equation, differential equation

Bevezetés

A tudományok általában új, eddig nem ismert összefüggések keresésével foglalkoznak, amelyek egy jelenség lehetőleg pontos leírását adják az összes befolyásoló tényező (változók) függvényében. A műszaki tudományokban a különböző jelenségeket hajtóerők mozgatják és az ezzel kapcsolatos összefüggéseket a természeti törvények adják. A természeti törvények öröktől fogva vannak, és időben nem változnak, determinisztikusak (Sitkei 2013). A jelenségek legtöbbször bonyolultak és emiatt a tudomány a jelenség összes összefüggését sok esetben még nem fejtette meg – ilyenkor a tudomány kiegészítésre szorul.

Korszerű gépek, berendezések, műveletek és technológiák tervezéséhez ismerni kell bizonyos alapvető törvényszerűségeket, összefüggéseket. Ezek az összefüggések a jelenséget befolyásoló változók közötti helyes kapcsolatot írják le. Az összefüggések keresésének klasszikus módszere az összefüggést leíró matematikai modellek, például differenciálegyenletek elméleti levezetése a meglévő ismereteink alapján, az alaptudományok (pl. mechanika, áramlástan, hőtan stb.) felhasználásával. Az elméleti levezetések esetén is bizonyos feltételezések-ből indulunk ki, ezért az elméleti összefüggések helyességét célszerű kísérletileg is ellenőrizni. A jelenséget leíró pl. differenciálegyenletek elméleti levezetése csak akkor lehetséges, ha a jelenség mechanizmusát pontosan ismerjük,

tehát a jelenséget befolyásoló összes változó hatását figyelembe tudjuk venni és helyesen le tudjuk írni. Amint a feladatok bonyolódnak, összetettebbé válnak, az összes változó számbavétele nehezebbé válik és a jelenség mechanizmusa részleteiben nem lesz ismert. Az is gyakran előfordul, hogy az alaptudományok nem nyújtanak elegendő ismeretet a jelenség leírásához. Ebben az esetben célravezető a dimenzióanalízis módszerének alkalmazása, melyben döntő szerepe van a gyakorlati megfigyeléseknek és kísérleti méréseknek, melyek segítségével a jelenség mechanizmusára és a jelenséget befolyásoló változókra tehetünk következtetéseket. Különösen fontos a változók megállapítása, hiszen a szisztematikus kísérletek tervezéséhez és elvégzéséhez ennek ismerete nélkülözhetetlen. Nem lehet szervezett kísérleteket végezni elméleti ismeretek nélkül és nem lehet elméleti analízist végezni a jelenség mechanizmusának ismerete nélkül, amely legtöbbször megfigyeléseken és kísérleti eredményeken alapul (Sitkei 2013).

A tudományos megállapítások (természeti törvények) a matematika segítségével, összefüggésekkel írhatóak le. Az összefüggés mindig három részből áll (Sitkei 2013):

- a kimenő adatrendszer (Y_i),
- a függvénykapcsolatok rendszere ($F(x_i)$),
- a bemenő adatbázis (X_i).

Formálisan felírva a fentieket:

$$Y_i = F(X_i) \quad [1]$$

ahol:

X_i – a független változókat jelöli.

A fenti három elemből kettőt mindig ismerni kell ahhoz, hogy az összefüggés használható legyen. Egyszerű a helyzet, ha a függvénykapcsolatok rendszere már ismert, de az esetek döntő többségében sajnos pont ez az ismeretlen. A kutatás során éppen ezért legtöbbször bemenő adatokat közlünk a rendszerrel, majd a rendszer válaszul rá kimenő adatok formájában. A kutató feladata megfejteni, hogy a rendszer milyen természeti törvény alapján választott, vagyis hogyan néz ki a függvénykapcsolatok rendszere.

Hasonlósági elmélet, a dimenzióanalízis módszere

A tudományos kísérletek sokszor költségesek és hosszadalmasak. Ezért felmerül az igény, hogy a már elvégzett kísérletek eredményeit a hasonló esetekre általánosítsuk. A hasonlóság megítélése sokparaméteres folyamatokban azonban gyakran nem egyszerű feladat. A kísérletek eredményeinek értékelése viszont az általánosítás lehetősége nélkül kevés haszonnal jár. Két vagy több folyamat hasonló, ha a belső lényegi összefüggéseik megegyeznek (Buckingham 1914). Ebben az esetben a folyamatokat leíró pl. differenciálegyenletek azonosak, vagy azonos alakra transzformálhatók. Ez a feltétel a folyamatok hasonlóságához szükséges, de nem elégséges. A differenciálegyenletek végtelen sok megoldása közül ugyanis az egyértelműségi feltételek határozzák meg a keresett megoldást. Tehát a folyamatok hasonlóságának az is a feltétele, hogy a szóban forgó folyamatok egyértelműségi feltételei (kezdeti peremfeltételek, geometriai jellemzők, értelmezési tartomány) azonosak, vagy azonos alakra transzformálhatók legyenek (Bridgman 1931, Szűcs 1967).

A kísérleti adatok feldolgozásának klasszikus módszere a változóként való feldolgozás. Ilyenkor a részösszefüggések száma megegyezik a független változók számával. Ezek összerakása, az eredő függvény helyes alakjának megtalálása matematikailag sokszor problémát okozhat. A kísérletek szervezése egyszerűbbé válik, és az eredmények általánosan használhatóvá válnak, ha a kísérleti adatokat hasonlósági kritériumok alakjában dolgozzuk fel, melyhez nagy segítséget nyújt a dimenzióanalízis módszere (Buckingham 1914). A módszert az elmúlt 100 évben már sikeresen alkalmazták főként mechanikai (Brand 1957), dinamikai (Baker és tsai 1973), fizikai (Tolman 1917, Eddington 1939, Einstein 1952), hidrodinamikai (Birkhoff 1950), kémiai (Lokarnik 1991), gépészeti (Barenblatt 1996) és közgazdaságtani (de Jong and Quade 1967) területeken.

A hasonlósági számok invariánsok és dimenzió nélküliek, amelyek a jelenséget leíró matematikai modellekből, például differenciálegyenletekből vagy a dimenzióanalízis módszerével – Buckingham-féle Π -módszer – nyerhetők. Buckingham (1914) a dimenzióanalízis homogén egyenletek tulajdonságait vizsgálta és az alábbi kikötéseket, megállapításokat tette:

1. Egy dimenzióanalízis homogén egyenlet előállítható dimenzió nélküli számok szorzataként az egyenletben szereplő változók felhasználásával.

2. Az előállítható dimenzió nélküli számok száma megkapható a változók számából levonva a mértékegységek (dimenziók) számát.
3. Minden dimenzió nélküli számnak kell tartalmaznia egy változót, amely független a többtől és ez a változó nem jelenhet meg egyszerre az összes dimenzió nélküli számban.

A hasonlósági elmélet szerint bármilyen jelenséget leíró összefüggés kifejezhető a jelenségre jellemző hasonlósági kritériumok függvényében:

$$F(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n) = 0 \quad [2]$$

ahol:

$\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$ – dimenzió nélküli számok.

Ha tehát a kísérleti eredmények hasonlósági kritériumi alakban kerülnek feldolgozásra, akkor olyan általános érvényű összefüggéshez jutunk, ami az összes egymással hasonló jelenségre érvényes. Kézenfekvő az is, hogy az így megfogalmazott egyenletek megoldását úgynevezett kritériumi egyenlet formájában állítsuk elő, amely kritériumi egyenlet előállítható egyrészt pl. differenciálegyenletekből, másrészt pedig a dimenzióanalízis módszerével. A kritériumi egyenletekben, a hasonlósági kritériumokon kívül előfordulhatnak úgynevezett szimplexek is, amik azonos dimenziójú mennyiségek hányadosaként adódnak (Imre 1974). A hasonlóság elmélete szerint a kritériumi egyenletek kifejezhetők hatványfüggvények szorzataként, vagyis:

$$\pi_1 = C \cdot \pi_2^a \cdot \pi_3^b \dots \pi_n \quad [3]$$

ahol:

a és b, \dots, n állandókat a kísérleti eredmények alapján kell meghatározni.

A dimenzióanalízis módszerének alkalmazásakor először a mértékegység rendszert kell felvenni. A három alapegység lehet a „hossz-erő-idő”, de választható a „hossz-tömeg-idő” is. Bizonyos esetben formálisan további látszólagos mértékegységek is használhatóak. A hasonlóság fogalma kiterjeszthető a jelenséggel analóg folyamatokra is. Ez lehetővé teszi az analóg modellek alkalmazását (hővezetési probléma pl. villamos hálózatos modellen is vizsgálható). Valamennyi hasonlósági kritérium számszerű egyezőségének megvalósítása többnyire teljesíthetetlen követelmény. Emiatt bizonyos esetekben a teljes hasonlóság helyett részleges hasonlósággal kell megelégednünk (Langhaar 1951). Ez azt jelenti, hogy a hasonlóság csupán a folyamat egyes – lehetőség szerint a döntő – elemeire jön létre. Ilyen esetben tulajdonképpen egyes részjelenségekről nem veszünk tudomást és az elhanyagolás mértéke dönti el, hogy a nyert információk mennyire használhatóak.

A dimenzióanalízis módszerének nagy előnye tehát, hogy viszonylag egyszerűen alkalmazható a sokváltozós folyamatok leírására, így nem kell bonyolult matematikai modelleket felállítani. A módszer hátránya viszont az, hogy a változókat helyesen kell megválasztani és – a módszer útmutatásai alapján – csoportba foglalni. Ezenkívül nagyon fontos a kísérletek korrekt kivitelezése is, hiszen a kísérleti adatok helyes – a kritériumi egyenletnek megfelelő – feldolgozása igazolja a kritériumi egyenlet helyességét vagy éppen helytelenségét. Sok esetben éppen ezért problémás a helyzet, hiszen nehéz eldönteni, hogy a kísérleti adatok a hibásak, vagy a kritériumi egyenletben volt-e a hiba. A hibás mérések során kapott adatok nem felelnek meg a kritériumi egyenlet követelményeinek (a mérési pontok nem korrelálnak megfelelően a kritériumi egyenlet egyeneséhez), ezért nem teljesül a hasonlóság feltétele abban az esetben, ha a kritériumi egyenlet a korrekt. Előfordulhat az az eset is, amikor a méréseink a korrektek és a kritériumi egyenletben van a hiba, ezért szükséges a mérések többszöri megismétlése. Ekkor valószínűleg bizonyos változókat – amik a vizsgált jelenséget még befolyásolják – nem vettünk figyelembe, vagy nem a megfelelő változókat vettünk bele az analízisbe. De előfordulhat, hogy rosszul csoportosítottuk a változókat és emiatt helytelen dimenzió nélküli számokat és vele együtt hasonlósági kritériumi egyenletet kaptunk.

A dimenzióanalízis módszerének gyakorlati alkalmazása

A dimenzióanalízis módszerének alkalmazása az alábbi konkrét példával kerül bemutatásra, amely az 1. ábrán látható. A példában bemutatott forgácsolási kísérlethez kapcsolódó mérési körülmények leírása a megjelölt szakirodalomban (Sitkei 1990; Sitkei 1994) megtalálható, de a mérési adatok dimenzió nélküli feldolgozása a szakirodalomban nem történt meg. Éppen ezért célunk, hogy a mérési teljesítményfelvétellel (N) összefüggésben általános érvényű hasonlósági egyenletet nyerjünk. Az 1. ábrán egy marási művelet teljesítményfelvételét

(N) láthatjuk fenyő faanyag forgácsolásakor az időegység alatt forgácsolt keresztmetszet ($e \cdot H$) függvényében különböző fogásmélység (H) és egy fogra jutó előtolás (e_z) mellett.

A forgácsolásra jellemző további paraméterek:

- D – a szerszám élkörátmérője, 120 mm,
- R – a szerszám élkorsugara, 60 mm,
- n – a szerszám fordulatszáma, 6000 ford./perc,
- e – a munkadarab előtolási sebessége, (ez függvénye), m/sec,
- b – a marási szélesség, 10 mm,
- z – a forgácsoló élek száma, 4 db,
- ϕ_0 – a forgácsolás befogási szöge, (a H/R viszony függvénye), radián.

Ahhoz, hogy a dimenzióanalízis módszerét alkalmazni tudjuk, szükség van a folyamatot befolyásoló főbb tényezők számbavételére, ehhez pedig részleteiben ismerni kell a jelenlegi mechanizmusát. A példában célravezető a marás kinematikai viszonyainak szakirodalmi ismerete. A feladat megoldásának elősegítéséhez az alábbi összefüggések írhatók fel a forgácsolási paraméterek között Csanády és Magoss (2013.) alapján:

Az egy fogra jutó előtolás:

$$e_z = \frac{e}{n \cdot z} \quad [4]$$

A forgácsolás ϕ_0 befogási szöge, amely kifejezhető a H/R viszony alapján:

$$\phi_0 = \arccos \frac{R-H}{R}, \text{ vagy } \phi_0 \approx 1,425 \sqrt{\frac{H}{R}} \text{ ilyenkor } \phi_0 \text{ értékét radiánban kapjuk.} \quad [5]$$

Energetikai szempontból meghatározó a szerepe a H mélységhez viszonyított relatív forgácsolási ívhossznak is, $L = \phi_0 \cdot \frac{R}{H}$ (Csanády és Magoss 2013). Ilyenkor ϕ_0 radiánban értendő. Megállapíthatjuk, hogy a relatív forgácsolási ívhossz (L) már önmagában is egy dimenzió nélküli mennyiség.

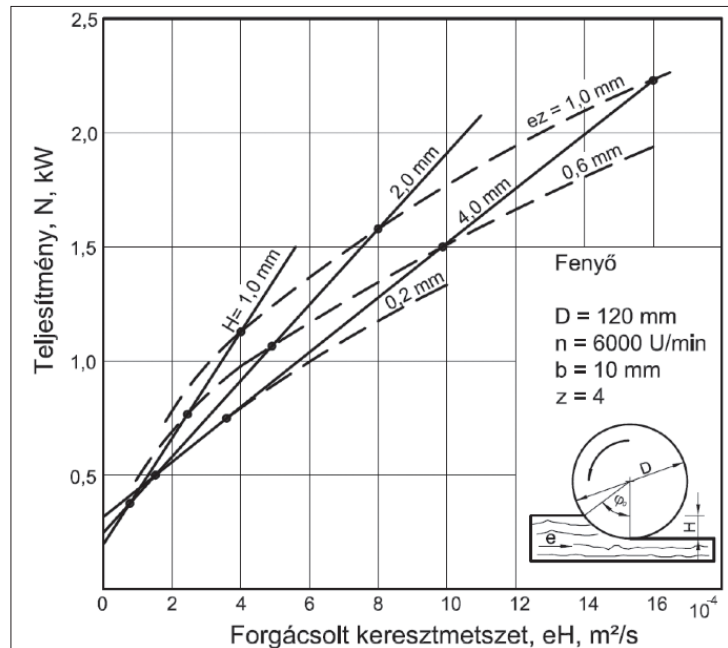
Az 1. ábrán bemutatott kísérlet során bizonyos paraméterek nem változtak. Ilyenek a fordulatszám (n), a kések száma (z), a forgácsolási szélesség (b), a szerszámátmérő (D) és a fafaj. A változó paraméterek között szerepel a fogásmélység (H), az egy fogra jutó előtolás (e_z) és a vele összefüggő előtolási sebesség (e). Az 1. ábrán látható görbék metszéspontjainál, az alábbi mérési eredmények adódtak* (1. táblázat).

A következő lépés a forgácsolás teljesítményfelvételét befolyásoló tényezők, mint független változók számbavétele:

$$N = f(H, b, e_z, e, \phi_0 \cdot R, \sigma_B, L) \quad [6]$$

ahol:

- N – a marási teljesítményigény, [Nm/s],
- H – a fogásmélység, [m],
- b – a forgácsolási (marási) szélesség, [m],
- e_z – az egy fogra jutó előtolás, [m],
- e – az előtolási sebesség, [m/s],



1. ábra A marás teljesítményfelvétele (Sitkei 1990)

Figure 1 The milling power consumption (Sitkei 1990)

Az egy fogra jutó előtolás:

1. táblázat A mérési eredmények összefoglaló táblázata

Table 1 The summary table of the measurements results

H = 4 mm			
e_z	1 mm	0,6 mm	0,2 mm
N	2250 W	1500 W	815 W
e	0,4 m/s	0,24 m/s	0,08 m/s
H = 2 mm			
e_z	1 mm	0,6 mm	0,2 mm
N	1580 W	1080 W	550 W
e	0,4 m/s	0,24 m/s	0,08 m/s
H = 1 mm			
e_z	1 mm	0,6 mm	0,2 mm
N	1150 W	750 W	400 W
e	0,4 m/s	0,24 m/s	0,08 m/s

* Példaképpen az előtolási sebesség (e) értékek – felhasználva az [4] egyenletet – számítással is meghatározásra kerültek a leolvadási pontosság ellenőrzése érdekében.

$\varphi_0 \cdot R$ – a forgácsolási ívhossz, [m],
 σ_B – a faanyag hajlítószilárdsága (fafaji sajátosság), [N/m²],
 $L = \varphi_0 \cdot \frac{R}{H}$ – a forgácsolás relatív ívhossza, dimenzió nélküli mennyiség.

A független változók között szereplő relatív forgácsolási ívhosszat (L) nem vesszük bele az elemzésbe, hiszen ez már önmagában is egy dimenzió nélküli szám.

Felírva a változók dimenziómátrixát (lásd 2. táblázat). A 2. táblázat kitöltését az alábbi szabály szerint kell elvégezni: Vegyük példaképpen a σ_B , változót, melynek N/m² a dimenziója. Ezt a mértékegységet a dimenziómátrixban az alábbiak szerint kell értelmezni: $N^1 \cdot m^{-2}$ ahol a kitevők értékei adják a táblázatos értékeket. Az „s” idődimenzió – mivel nem szerepelt a mértékegységben –, ezért 0 értéket kapott. A többi változó esetében is ennek megfelelően kell eljárni.

A változók száma 7, a dimenziók száma 3, ezzel a dimenzió nélküli mennyiségek száma $7-3 = 4$. A 2. táblázat alapján az alábbi karakterisztikus egyenlet adódik:

$$\begin{aligned} k_1 - 2k_2 + k_3 + k_4 + k_5 + k_6 + k_7 &= 0 \\ k_2 + k_7 &= 0 \\ -k_6 - k_7 &= 0 \end{aligned} \quad [7]$$

Ebben az esetben 7 ismeretlen van 3 egyenletben, ezért a Buckingham-féle Π -módszer szerint csak 3 ismeretlent tudunk kifejezni azzal a feltétellel, hogy $k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = 1$. A (7) egyenletrendszert megoldva az alábbi eredményt kapjuk:

$$\begin{aligned} k_5 &= -k_1 + 2k_2 - k_3 - k_4 \\ k_6 &= k_2 \\ k_7 &= -k_2 \end{aligned} \quad [8]$$

Ezek után felírható a hasonlósági számok mátrixa Buckingham (1914) alapján úgy, hogy a mátrix első négyzetes részének átlójában a $k_1 = 1, k_2 = 1, k_3 = 1, k_4 = 1$ számok kerülnek, míg a többi oszlop (k_5, k_6, k_7) számai a fenti [8] kifejezésekből adódnak. A 3. táblázat kitöltését az alábbiak szerint kell elvégezni: Vegyük példaképpen a $k_5 = -k_1 + 2k_2 - k_3 - k_4$ sort. Ezt a Buckingham (1914) módszer alapján felírhatjuk úgy is, hogy:

$$k_5 = (-1)\Pi_1 + (2)\Pi_2 + (-1)\Pi_3 + (-1)\Pi_4. \text{ Ennek alapján a zárójelben lévő értékek kerültek a sorrendnek megfelelően a } k_5 \text{ oszlopban beírásra.}$$

Ezek után a négy hasonlósági szám a következő:

$$\Pi_1 = \frac{H}{b}; \quad \Pi_2 = \frac{\sigma_B \cdot b^2 \cdot e}{N}; \quad \Pi_3 = \frac{\varphi_0 \cdot R}{b}; \quad \Pi_4 = \frac{e_z}{b} \quad [9]$$

A dimenzióanalízis módszerének kikötése szerint egyazon változó (jelen esetben a b) nem szerepelhet egyszerre az összes dimenzió nélküli számban. Mivel ez a feltétel nem teljesült, ezért az alábbi elméleti megfontolás tehető: A hasonlósági számok dimenzió nélküliek, ezért a szorzatuk és a hányadosuk is dimenzió nélküli marad. Arra kell törekedni, hogy úgy válasszunk műveletet, hogy a b -vel történő egyszerűsítés elvégezhető legyen, de továbbra is szem előtt kell tartani a Buckingham (1914) által megfogalmazott kikötéseket.

Számos variáció közül csak az egyik teljesíti a hasonlóság feltételeit, ennek alapján:

$$\Pi_{12} = \Pi_1 \cdot \Pi_2 = \frac{H}{b} \cdot \frac{\sigma_B \cdot b^2 \cdot e}{N} = \frac{\sigma_B \cdot H \cdot b \cdot e}{N} \text{ vagy reciprokan } \frac{N}{\sigma_B \cdot H \cdot b \cdot e} \quad [10]$$

és

$$\Pi_{34} = \frac{\Pi_3}{\Pi_4} = \frac{(\varphi_0 \cdot R) / b}{e_z / b} = \frac{\varphi_0 \cdot R}{e_z} \text{ vagy reciprokan } \frac{e_z}{\varphi_0 \cdot R} \quad [11]$$

2. táblázat A változók dimenziómátrixa

Table 2 The dimensional matrix of the variables

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
H							
σ_B							
$\varphi_0 \cdot R$							
e_z							
b							
e							
N							
s							

3. táblázat A hasonlósági számok mátrixa

Table 3 The matrix of the similarity numbers

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7
H							
σ_B							
$\varphi_0 \cdot R$							
e_z							
b							
e							
N							
s							

A kapott Π_{12} és Π_{34} hasonlósági számokat esetünkben célszerű reciprok alakban alkalmazni, mert így az irodalmi összefüggésekhez hasonló formulákat kapunk. További hasonlósági szám a forgácsolás relatív ívhossza, $L = \varphi_0 \cdot \frac{R}{H}$. Ennek alapján a hasonlósági egyenlet az alábbi alakban írható fel:

$$\Pi_{12} = f(\Pi_{34}, L) \quad \text{vagy másképpen} \quad \frac{N}{\sigma_B \cdot H \cdot b \cdot e} = \text{const.} \cdot \left(\frac{e_z}{\varphi_0 \cdot R} \right)^n \cdot \left(\frac{\varphi_0 \cdot R}{H} \right)^m \quad [12]$$

ahol az n és m kitevők értékeit a mérési eredmények a (12) egyenletnek megfelelő alakú feldolgozásával és grafikus ábrázolásával határoztuk meg. Ez alapján $n = -0,4$ és $m = 1,2$ értékre adódott.

A függő változó a forgácsolási teljesítmény (N), ezért a Π_{12} dimenzió nélküli mennyiségben ún. specifikus energia szerepel, ami a (12) egyenlet baloldalára került. A fenti kritériumi (12) egyenlet számszerűsítéséhez az 1. táblázatbeli adatok (tisztá marási teljesítmény üresjáratú veszteségek nélkül) kerültek felhasználásra. Ezek alapján a (12) egyenletben szereplő dimenzió nélküli mennyiségek konkrét értékeit a 4. táblázat tartalmazza. A fafaji sajátosságot a faanyag hajlítószilárdsága adja, ami fenyőnél Babos és tsai. (1979) alapján átlagosan $\sigma_B = 60 \text{ N/mm}^2$ értékre került felvételre.

4. táblázat A dimenzió nélküli mennyiségek kiértékelő táblázata

Table 4 The result table of the dimensionless numbers

H (mm)	e_z (mm)	$\frac{N}{\sigma_B \cdot H \cdot b \cdot e}$	$\left(\frac{e_z}{\varphi_0 \cdot R} \right)^{-0,4}$	$\left(\frac{\varphi_0 \cdot R}{H} \right)^{1,2}$	$\left(\frac{e_z}{\varphi_0 \cdot R} \right)^{-0,4} \cdot \left(\frac{\varphi_0 \cdot R}{H} \right)^{1,2}$
4	1	2,343	3,445	7,748	26,694
	0,6	2,604	4,226	7,748	32,745
	0,2	4,244	6,558	7,748	50,816
2	1	3,291	2,995	11,703	35,060
	0,6	3,750	3,674	11,703	43,008
	0,2	5,729	5,702	11,703	66,742
1	1	4,791	2,606	17,707	46,153
	0,6	5,208	3,197	17,707	56,616
	0,2	8,333	4,961	17,707	87,860

A dimenzió nélküli számok grafikus ábrázolását a 2. ábra mutatja. Az adatokat célszerű log-log koordináta-rendszerben ábrázolni. Ilyenkor a mérési pontoknak elméletileg egy egyenesre kell esniük. A pontok illeszkedésének korrelációs koefficiens (R^2) értéke igazolja a kapott a mérési adatok korrektségét és a kritériumi egyenlet helyességét. A pontok szórásának főbb oka lehet a mérési és/vagy a feldolgozási hiba. A műszaki gyakorlatban a mérési adatok $\pm 5\%$ -os szórása még a megengedhető tartományban van.

A 2. ábrán bemutatott mérési pontok megfelelő korrelációt mutattak, $R^2 = 0,96$. A hasonlósági [12] egyenlet vég-eredményben, tehát az alábbi konkrét alakban írható fel:

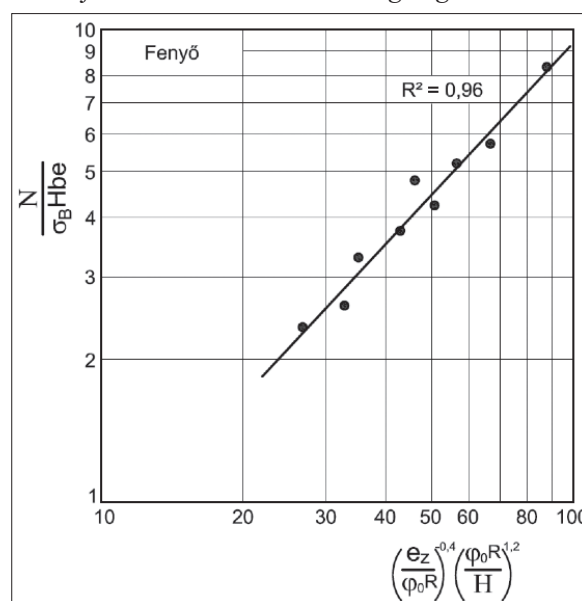
$$\frac{N}{\sigma_B \cdot H \cdot b \cdot e} = 0,09 \cdot \left(\frac{e_z}{\varphi_0 \cdot R} \right)^{-0,4} \cdot \left(\frac{\varphi_0 \cdot R}{H} \right)^{1,2} \quad [13]$$

A [12] egyenletben szereplő *constans* 0,09 értékre adódott.

Összefoglalás

A módszer gyakorlati alkalmazását követően az alábbi általános megállapítások tehetők:

- A dimenzióanalízis módszere lehetővé teszi a kísérleti



2. ábra A dimenzió nélküli számok grafikus ábrázolása

Figure 2 The graphical representation of the dimensionless numbers

adatok általános érvényű feldolgozását kritériumi egyenlet alakjában, így a faipari tudományokban is széleskörűen alkalmazható.

- A mérésekkel is igazolt kritériumi egyenlet analóg módon használható az összes egymással hasonló jelenségre.
- A hasonlóság módszere alkalmas az egyes változók közötti függvénykapcsolatok megtalálására, majd ezáltal a változók csoportba foglalására.
- Azokat a változókat, amelyeknek nincsen nagy hatása a jelenségre elhanyagolhatjuk, ekkor a jelenség részleges hasonlóságát kapjuk. Ebben az esetben rögzíteni kell az elhanyagolásokat és az értelmezési tartományt.
- A módszer segítségével egyszerűsödik a kísérleti adatok feldolgozása és ábrázolása, hiszen a sokváltozós függvény egy- vagy kétváltozósra csökkenthető.

Irodalomjegyzék

- Babos K., Filló Z., Somkuti E. (1979) Haszonfák. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, pp. 280-315.
- Barenblatt G. I. (1996) Scaling, Self-similarity, and Intermediate Asymptotics, Cambridge University Press, Cambridge, UK. 96. p.
- Baker W. E., Westine P. S., Dodge F. T. (1973) Similarity Methods in Engineering Dynamics, Hayden, Rochelle Park, N.J. 396. p.
- Birkhoff G. (1950) Hydrodynamics: a study in logic, fact and similitude, first ed., Princeton University Press. 430. p.
- Brand L. (1957) The Pi Theorem of Dimensional Analysis, Archive for Rational Mechanics and Analysis, 1:35-45.
- Bridgman P.W. (1931) Dimensional Analysis. New Haven. Com. Yale Univ. Press, 1931. S. 17-81.
- Buckingham E. (1914) On the physically similar systems. Physical Review (4):345-376. <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRev.4.345>
- Csanády E., Magoss E. (2013) Mechanics of Wood Machining. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp. 55-60. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-29955-1>
- de Jong F. J., Quade W. (1967) Dimensional Analysis for Economists, Nort Holland, Amsterdam. 220. p.
- Eddington Sir A. S. (1939) The Philosophy of Physical Science, Cambridge University Press, Cambridge. 225. p.
- Einstein A. (1952) Relativity and the problem of space: in Relativity, the Special and the General Theory, A Popular Exposition, Crown, New York, 1961 (a translation of the 15th edition, 1952) in SNT Vol. 2, 744. p.
- Imre L. (1974) Szárítási kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, pp. 86-94.
- Langhaar H. L. (1951) Dimensional Analysis and Theory of Models, John Wiley & Sons Ltd, New York, N. Y., 1951. S. 85-166.
- Lokarnik M. (1991) Dimensional Analysis and Scale-Up in Chemical Engineering, Springer Verlag, Berlin, 178. p.
- Sitkei Gy. (1990) Theorie des Spanens von Holz. Fortschrittberichte Acta Fac. Ligniensi, Sopron. No. 1. 72. p.
- Sitkei Gy. (1994) A faipari műveletek elmélete. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, pp. 343-356.

FATE kitüntetések 2015-ben



Juhász Bertalan

*Faipar fejlesztéséért
emlékérem*

A Soproni Erdészeti és Faipari Egyetemen okleveles faipari mérnök diplomát szerzett 1980-ban. 1980–1981 között az ERDÉRT Vásárosnaményi Faforgácslapgyárban üzemszervező, műszakvezető munkakörökben dolgozott. 1981–1984 között a FEFAG Hajdúhadházi Fűrészüzemében technológus, műszakvezető, megbízott főmérnök munkakörökben dolgozott. Feladatai a faipari tevékenység folyamatának szervezése, illetve a főként akácfából készült ragasztott szerkezetek (ragasztott talpfa, földém gerendák, tetőszerkezetek, mezőgazdasági épületek) gyártástechnológiájának szervezése. 1984–1986 között a Hajdúszoboszlói Vegyipari Szövetkezetben faipari ágazatvezető munkakörben dolgozott. Feladatai az épületasztalos tevékenység mellett belső akusztikai burkolások, könnyű pane-

los faházszerkezetek tervezése, szabadalmaztatása, minősítése, mintaházak építése volt. 1986–1993 között a „Lenin Mgtsz.”, +O.N.D. Kft. (Szerencs) faipari ágazatvezetője. Vezetése alatt új bútorgyártási technológiák kerültek bevezetésre, melyek megteremtették a piacképes termelés feltételeit. Ehhez fontos volt az egyedi kiegészítő bútorok (tévészekrény, ágyneműtartók, fiókos komód, előszobafal, éjjeliszekrény, dohányzóasztal, különböző méretű könyvespolcok) tervezése és szériagyártása. 1993–2015 között a JU-GO BÚTOR Kft. tulajdonos-ügyvezető igazgatója. Fő tevékenységük az egyedi igényes fa frontú bútorok gyártása, ehhez kialakításra került egy korszerű 560 m²-es üzemcsarnok. Termékeik megtalálhatóak vendéglők, szállodák, bankok, boltok berendezési tárgyaiként.

Szakmai pályafutása mellett a szakmapolitikában is tevékenykedett. 2001–2014 között a Bútor Szövetség elnökségi, majd felügyelő bizottsági tagja. 2006–2014 között a Faipari Kutatási Alapítvány kuratóriumi tagja. 1996–2014 között a Faipari Tudományos Egyesület elnökhelyettese.

Szakmai tevékenységét a Faipari Tudományos Egyesület a Faipar fejlesztéséért emlékéremmel díjazza.



Vavra Péter

*Faipar fejlesztéséért
emlékérem*

Körmenden a Rászó Imre Szakközépiskola és Technikumban 1999-ben szerzett mezőgazdasági

gépésztechnikus oklevelet. Tanulmányait tovább folytatta a Nyugat-magyarországi Egyetemen, ahol 2003-ban faipari üzemmérnök diplomát szerzett, majd ugyanitt 2003–2005 között a menedzser szakmérnök diplomát is megszerezte. 2003–2008 között a Körmendi Kosárlabda Club főállású kosárlabdázója. 2005-től az Edelholz Faipari Kft. (Zalalövő) résztulajdonosa, ügyvezető igazgatója.

Az Edelholz Faipari Kft. tölgy tömörfa és tölgy TRIPLEX (3 rétegű) svédpadlók gyártására és azok legspeciálisabb felületeivel történő kezelésére specializálódott magyar gyártó. Termékeik között megtalálhatóak a tradicionális svédpadlók mellett a modern nagyméretű halszálkák, táblaparket-

ták és kastélypadlók is. A padlók felületkezelése pigmentált növényi olajokkal történik, amelyek nemcsak természetes felületet képeznek a padlón, hanem egyszerű ápolást és karbantartást is lehetővé tesznek.

Legfőbb szakmai célkitűzésének tekinti olyan termékek gyártását, amelyek magyar alapanyagból és magyar munkaerő által készülnek, felhasználva



Dr. Kovács Zsolt

Lugosi Armand-díj

Egyetemi tanulmányait az Erdészeti és Faipari Egyetem Faipari Mérnöki Karán végezte, 1968-ban szerzett diplomát. Szakmai munkáját a Bútor- és Épületasztalosipari Tanszéken kezdte. Egyetemi munkája keretében külföldi tanulmányutakon vett részt: Dehra Dun, Forest Research Institute (India) 1971-ben, 10 hónap; Centre Technique du Bois (Párizs) 1975-ben, 3 hónap; Colorado State University Wood Science Lab (USA) 1980-ban, 5 hónap. 1976-ban megszerezte a műszaki doktori fokozatot, dolgozatának címe: Szendvics szerkezetek szilárdsági tulajdonságai. 1977-ben adjunktusi kinevezést kapott. 1986-ban megszerezte a műszaki tudomány kandidátusa címet, értekezésének címe: Ablakok erőtanai vizsgálata a funkcionális követelmények figyelembe vételével. Docensként a Gyártmányfejlesztés című tantárgy kidolgozásában és oktatásában vett részt. Szakmérnöki képzésben a Ragasztott szerkezetek c. tantárgy részbeni kidolgozója és előadója volt. 1986-ban a VEAB által kiírt pályázaton önálló pályamunkával II. díjat nyert a Székvázak számítógépes méretezése című munkájával.

1990 júliusától 1995 júliusáig a Faipari Mérnöki Kar dékánja volt. Kezdeményezte és irányította a faipari mérnök-képzés új, szakirányos tantervének kidolgozását, megszervezte az 1994/95-ös tanévtől való bevezetését. Kidolgozta a terméktervező szakirány, majd az önálló ipari termék-és

a legmodernebb technikai, ipari megoldásokat a környezettudatos és fenntarthatósági szempontok figyelembe vételével.

Szakmai tevékenységét a Faipari Tudományos Egyesület a Faipar fejlesztéséért emlékéremmel díjazza.

formatervező mérnöki szak tantervét és több új tantárgyának tananyagát.

Több nemzetközi projektben (pl. LVL tartók fejlesztése, bútorigipari informatika fejlesztése, ablakgyártók CE tanúsításának informatikai támogatása) irányította karunk, illetve intézetünk hazai partnerként való részvételét. 1995–2000 között a COST Technical Committee of Forestry and Forest Products faipari csoportjának magyarországi delegáltjaként vett részt a kari kutatás nemzetközi hálózatba való bekapcsolásának munkájában. 1996–2006 között az ENSZ Európai Gazdasági Bizottság Fabizottsága (UN/ECE Timber Committee) magyarországi delegáltja feladatait látta el az FVM felkérésére. 1996–2002 között egyetemünk tudományos és nemzetközi rektorhelyettesi feladatkörét töltötte be. 1998-tól a Széchenyi Professzori Ösztöndíjat nyerte el.

Oktatott tantárgyai: Bútor-, ajtó-, ablakgyártástan, Gyártmányfejlesztés, Minőségtervezés, Épületfizika, Termékek műszaki tervezése, Termék-szimuláció, Minőség-megbízhatóság, Különleges anyagok, DFX technikák. A doktori képzésben négy tantárggyal vesz részt: Bútorok, ajtók, ablakok méretezése, Épületfizika, Minőség biztosítása és tervezése, Numerikus szimuláció. Fokozatot szerzett doktoranduszainak száma 8 fő. 2013 júliusa óta nyugdíjas, professzor emeritus címet kapta.

Összes közleményeinek száma a társszerzőseket is beleértve 115. Ezek közé tartozik 16 könyvrészlet, könyvfejezet, és mintegy 30 folyóiratcikk idegen nyelvű lapokban, emellett öt oktatási segédlet, valamint négy elektronikus tananyag (kettő idegen nyelven).

Szakirodalmi munkásságát a Faipari Tudományos Egyesület vezetése kiemelkedő jelentőségűnek ítéli, melyet Lugosi Armand-díjjal jutalmaz.

**Babanecz Csaba***Szabó Dénes-díj*

A Nyugat-magyarországi Egyetemen szerzett okleveles faipari mérnök diplomát 2001-ben. Tanulmányait tovább folytatta 2001–2004 között és mérnök-közgazdász diplomát is szerzett. 2001-től a Kaesz Gyula Faipari Szakközépiskola és Szakiskolában (Budapest) szakmai tanárként dolgozik, ahol feladata a faipari szakmai tantárgyak, vállalkozási ismeret, számítógépes tervezés oktatása, felnőttképzési tanfolyamokon történő oktatás, projektmenedzsment feladatok ellátása. 2008-tól gyakorlati oktatás-

vezető, ahol munkáját kiegészíti a szakmai vezetés, gyakorlati oktatás koordinálása, menedzsment feladatok ellátása, vizsgáztatás. Részt vett a bútorasztalos és az asztalos szakmai és vizsgakövetelményeinek kerettanterv kidolgozásában, valamint felnőttképzési programokban szakértő.

2008-tól EuroSkills és WorldSkills asztalos szakértő, 2010-től EuroSkills főszakértő helyettes (faipari technológiák versenyszám). Tevékenysége az asztalos versenyzők felkészítése, versenyfeladatok kidolgozása, hazai válogatóversenyek szakmai előkészítése, zsűri feladatok ellátása. 2008 óta részt vett minden EuroSkills és WorldSkills nemzetközi szakmai versenyen szakértőként az asztalos szakmacsoportban.

Kimagasló oktatási tevékenységéért a Faipari Tudományos Egyesület elnöksége Szabó Dénes-díj kitüntetésben részesítette.

**Viasz - Kádi Tibor***Szabó Dénes-díj*

A Nyugat-magyarországi Egyetemen szerzett faipari mérnök diplomát 2004-ben. Tanulmányait tovább folytatta 2004–2006 között és menedzser szakmérnök diplomát is szerzett. 2004–2005 között a Pápai Asztalos Kft.-nél dolgozott, mint műszaki előkészítő üzemmérnök és termelésirányítással foglalkozott. 2005-től a Roth Gyula Erdészeti, Faipari Szakközépiskola és Kollégiumban

dolgozik, a tanműhely és fűrészüzem vezetőjeként. 2008–2010 között tanár-mérnök tanár (faipari) MSc diplomát szerzett. 2010-ben munkahelye felkérte az iskola fűrészüzemének megtervezésére és teljes körű kivitelezésére (telephely kiválasztása, gépek beszerzése, üzembe helyezése, univerzális anyagmozgató gép beszerzése). Jelenleg az intézmény egyik fő bevételi forrását képezi az üzem.

2011-től a WorldSkills és az EuroSkills versenyek magyarországi válogató versenyének szakmai zsűritagja. Diákjaival számos hazai és külföldi szakmai versenyen értek el helyezést

Kimagasló oktatási tevékenységéért a Faipari Tudományos Egyesület elnöksége Szabó Dénes-díj kitüntetésben részesítette.

**Molnár Lászlóné***Fáy Mihály-díj*

1946-ban született Tapolcán, ott is érettségizett. 1970-ben végzett a Soproni Erdészeti és Faipari Egyetem Faipari Mérnöki Karán. Negyedéves hallgatóként kiérdemelte, hogy a FATE tagja lehessen. Az egyetem elvégzése után – miután férje az egyetemen tanított – Sopronban maradt, de sajnos a szakmában nem tudott elhelyezkedni. A Városi Tanács Építési Osztályára vették fel előadónak. Közben letett egy államigazgatási, és egy építésügyi szakvizsgát. Majd 1978-ban a Győr Sopron Megyei Beruházási Vállalathoz került, ahol építési előkészítőként dolgozott, közben elvégezte a Közgazdaság-tudományi Egyetem terv- és beruházási szakát. 1987-ben a Soproni Egyetem

Faanyagismerettani Tanszékhez tartozó kutatócsoporthoz került, kutatómérnök státuszban. Főleg az akác fizikai és mechanikai tulajdonságaival kapcsolatos kutatásokat végezte, valamint az akác gőzölési lehetőségeivel kapcsolatos kutatásokban vett részt, melyekről több közös publikációja van Dr. Molnár Sándorral és Dr. Tolvaj Lászlóval társszerzőként.

A rendszerváltozással azonban ezt a kutatócsoportot felszámolták. Új munkalehetőséget keresve egy fakereskedő cégnek, a Dunaker Kft.-nek lett a soproni kirendeltségvezetője, majd 1996-tól egyéni vállalkozó fakereskedőként dolgozott nyugdíjba vonulásáig.

Amikor 1987-ben visszakerült eredeti szakmájához, megújította a FATE tagságát, amelyben főleg a helyi szervezési munkákat segítette. Majd 1992-ben a FATE égisze alatt megalakult Öreg Fás Diákok Baráti Körébe belépve segített a munkában, melynek elismerésül 2000-ben annak titkárává választották. Ezt a tisztséget 8 évig látta el nagy lelkesedéssel, melynek során szervezte és bonyolította az évenkénti Öreg Fás Szakestélyeket.

Az egyesületen belüli több évtizedes munkáját a Faipari Tudományos Egyesület Fáy Mihály-díjjal jutalmazza.

**Bakonyi Gábor***FATE Örökös Tag kitüntetés*

Egyetemi tanulmányait az Erdészeti és Faipari Egyetem Faipari Mérnöki Karán végezte, 1964-ben szerzett diplomát. A diploma megszerzése után – 1964. augusztus 2-án – a forgácslapot és közületi bútort gyártó soproni Faforgács Feldolgozó Szövetkezeti Vállalathoz (FORFA, alapítva 1956) nyert felvételt. Munkahelyét egészen nyugdíjba vonulásáig – 2004. december 31-ig – ennek a cégnek a jogutódjai jelentették. 1956–1974 között Faforgács Feldolgozó Szövetkezeti Vállalat (FORFA), 1974–1992 kö-

zött Nyugat-magyarországi Fagazdasági Kombinát Bútor- és Épületszerkezetgyár, 1992–2006 között Falco-Sopron Irodabútor Kft. névvel működtek. A több mint 40 éves munkaviszonya alatt 1964–1974 között forgácslapüzem-vezető, 1974–1990 között főmérnök, 1990–2004 között pedig ügyvezető igazgató beosztásban tevékenykedett. A több mint 40 év alatt számos kiemelt fejlesztést irányított és közreműködött a megvalósításukban. Ezek közül a teljesség igénye nélkül a legfontosabbak: A forgácslap-gyártás területén a légsodrásos terítés bevezetése, a finomfelületű forgácslapok gyártása és az építési célú szigetelő forgácslapok gyártása. Az épületszerkezetek gyártása területén a könnyűszerkezetes épületelemek gyártási feltételeinek kialakítása és a BETONYP családi ház gyártástechnológiájának kialakítása. Az irodabútor-gyártás területén a laminált forgácslap felhasználásának bevezetése és alkalmazása és a korszerű sokelemes irodabútor-családok kifejlesztése.

Vezetése mellett a cég privatizációját előkészítették, 1994-ben a Schaefer AG 100%-os tulajdo-

nába került. 1994 végén a holland SAMAS csoport lett a Schaeff AG többségi részvényese. 2001-től integrált vállalatirányítási rendszer (BPCS) került bevezetésre.

Szakmai tevékenysége mellett a Kereskedelmi és Iparkamaránál 1994–2000 között a Győr-Moson-Sopron Megyei Kamara Fa- Bútor- és Műanyag-osztály elnöke, 2000–2007 között a Soproni Kamara Ipari Tagozat elnöke, 2007–2009 között kamarai tanácsos. A Magyar Bútor- és Faipari Szövetségben 1994–2006 között elnökségi tag, a Pannon Fa- és Bútoripari Klaszterben 2001–2009 között elnök.

1964-től a FATE tagja, 1993–1998 között országos elnökségi tag, 1994–2002 között a soproni csoport elnöke, az Öreg Fás Diákok Baráti Körében 1990–2000 között titkár.

Munkáját több elismeréssel jutalmazták. Vállalatától Kiváló Dolgozó (1971) és Kiváló Munkáért miniszteri kitüntetést (1987) kapott. A Nyugat-magyarországi Egyetem Pro Universitate Soproniensi (1998) és címzetes egyetemi docens (2008) elisme-

résben részesítette. Sopron MJV Önkormányzata tevékenységét Sopronért-díjjal (1999), Millennium 2000 díjjal (2000), Ifj. Flandorffer Ignác-díjjal (2002) jutalmazta. A Magyar Bútor- és Faipari Szövetség elnökségétől Bútor- és Faiparért emlékérmét (2006) kapott. A Sopron MJV Kereskedelmi és Iparkamara elnökségétől kamarai tanácsos címet (2005) és Lackner Kristóf-díjat (2007) kapott. A Magyar Kereskedelmi és Iparkamarától Elnöki Aranyérmét (2005), a MTESZ-től MTESZ emlékérmét (2002) kapott. A Faipari Tudományos Egyesülettől a Faipar fejlesztéséért emlékérmét (1997) és Fáy Mihály-életműdíjat (2006) kapott. 2014-ben átvette az aranydiplomáját.

A faipari szakmáért és a Faipari Tudományos Egyesületért végzett munkájának elismeréseként a FATE vezetősége az Örökös Tag kitüntetésben részesítette.

Szakmai beszámoló az idei Országos Faanyagvédelmi Konferenciáról

Dr. Horváth Norbert

oktató-kutató, faanyagvédelmi szakértő

A Nyugat-magyarországi Egyetem (NymE) Simonyi Károly Kar (SKK) Faanyagtudományi Intézete (FTI) a Pannon-Protect Kft., valamint a Magyar Mérnöki Kamara (MMK) közös szervezésében került megrendezésre a XI. Országos Faanyagvédelmi Konferencia Sopronban, mely egyben az MMK Erdőmérnöki, Faipari és Agrárműszaki tagozatának továbbképzése is volt. A szakmai előadásoknak ezúttal az egyetem botanikus kertjében található Ligneum látogatóközpont adott otthont. A hagyományosan kétnapos rendezvényt 2016. október 14-én *dr. Pluzsik András* faanyagvédelmi szakértő, a konferencia egyik levezetőelnöke bevezető beszédét követően *dr. Németh László*, a Magyar Mérnöki Kamara Erdőmérnöki, Faipari és Agrárműszaki tagozatának elnökségi tagja nyitotta meg.



Csoportkép a konferencia előadóiról, résztvevőiről (fotó: Pluzsik A.)

Előadásában röviden összefoglalta a kamarai aktualitásokat, valamint a leendő faanyagvédelmi szakértőket is érintő új, átdolgozott tanúsítási rendszer egyes elemeiről is beszélt. A NymE Faanyagtudományi Intézet gondozásában 2016 szeptemberétől a faipari mérnök MSc képzés keretében elindított faanyagvédelmi specializáció a mérnöki kompetenciák közül a faanyagvédelmi tervezés, irányítás, szervezés, kutatás-fejlesztés, valamint megfelelő szakmai gyakorlatot követően a szakvéleményezés tevékenységeire fókuszál. Kihangsúlyozta, hogy az MMK tanúsítási rendszere a felsőoktatási, oktatási-fejlesztési stratégiának megfelelően harmonizálásra került.

Az első szakmai előadást *dr. Szabó Péter* egyetemi docens tartotta a faszervezetek csomópontjainak háromdimenziós tervezéséről. Álláspontja szerint a jelenkor mérnökei, mérnökjelöltjei rendelkezésére olyan értékes informatikai eszközök és szoftverek állnak, amelyekkel a mérnöki tervezés és egyúttal a faanyagvédelmi szakértői munkák dimenziói is jelentősen kibővíthetnek. A modern mérnöki programok nyújtotta lehetőségek már nem csak a látványtervezés, hanem a szilárdságtani méretezés, és különféle szimulációk is elvégezhetők.

Varga Tamás az URSA Salgótarján Zrt. építész- és energetikai szakmérnöke a tetőterek utólagos szigetelésének lehetőségeiről számolt be a résztvevőknek. Előadásában főként az ásványgyapot termékek, a páratechnikai fóliák és kiegészítők, valamint a zártcellás polisztirol szigetelőanyagok alkalmazástechnikai kérdéseit tárgyalta. A jelenlévők az érdekes és egyben gyakorlatorientált prezentáció során a kivitelezési lehetőségek legapróbb részleteibe is betekintést nyerhettek. *Perlaki Géza* faipari- és munkavédelmi üzemmérnök, munka- és tűzvédelmi tanácsadó a faanyagvédelem munkavédelmi összefüggéseit helyezte előadásának középpontjába. Tekintve, hogy a faanyagvédelmi munkák során kiemelten fontos az emberi egészség megőrzése és a munkabiztonság, így az előadó által tárgyalt ismeretanyagok nem csak a leendő szakértők és kivitelezők, hanem a már gyakorló faanyagvédelmi szakemberek számára is hasznosak voltak. *Rabb Péter* építész, faanyagvédelmi szakértő a farontó gombok megjelenési formáit taglaló rövid bevezetőjét követően „Az ormánsági festett kazetták újjászületése” címmel a vajszlói és zalántai hímes fakazetták károsodásairól és azok restaurálásáról tartott részletes, és szó szerint színes beszámolót. Előadásában helyet kaptak továbbá a felújított templomok fedélszékeinek, födém szerkezeteinek faanyagvédelmi vonatkozású rekonstrukciós munkálatai is.



Igényes szerkezeti jelölés egy nagykanizsai barokk fedélszéken (Müller I.)

aspektusait helyezte új megvilágításba prezentációjával. Konkrét kivitelezési munkák bemutatásán és elemzésén keresztül részletgazdag betekintést nyerhettek a jelenlévők többek között a Mátyás-templom, a Nagybaldogasszony plébániatemplom vagy akár a császári vár műemlék- és faanyagvédelmi összefüggéseibe. Az előző előadáshoz hasonlóan Müller Imre József faanyagvédelmi szakértő jóvoltából egy újabb, ugyancsak évszázadokon átívelő szakmai „időutazáson” vehetett részt a konferencia hallgatósága. Kiemelkedő minőségű szakmai precizitással kivitelezett fedélszerkezetek ácsmestereinek szerkezeti jelöléseivel, mives faragásaival, és a korabeli faanyagmegmunkálási technológiákkal kapcsolatos hasznos ismeretanyagokkal gazdagodhattak a jelenlévők. A teljesség igénye nélkül szó esett például nagykanizsai, egyházasrádóci, csácsbozsoki XVIII.–XIX. századi faszervezetek ácsszerkezeteiről is.

A konferencia első napját dr. Horváth Norbert faanyagvédelmi szakértő, a NymE Faanyagtudományi Intézet oktató-kutatójának előadása zárta. Az intézet kültéri faanyagvédelmi-kitettségi vizsgálóállomásán folyó természetes tartóssági vizsgálatok általános bemutatásán túl a hőkezeléssel modifikált különféle faanyagokkal (pl. nyár, erdeifenyő, gyertyán) kapcsolatos vizsgálatok eredményei is bemutatásra kerültek. Eredményei igazolták, hogy földdel érintkező hőkezelt próbatestek hathónapos kitettséget követően látványosan tartósabbnak bizonyulnak a kezeletlen anyagnál.

A konferencia második napját dr. Király Béla faanyagvédelmi szakértő, címzetes egyetemi docens a megszűntető faanyagvédelmi munkálatok kapcsán felmerülő kérdésekkel foglalkozó szakmai előadásával nyitotta meg. A kivitelezéshez kapcsolódó leggyakoribb szakértői munkák bemutatásán túl betekintést nyújtott a kivitelezési hibák típusaiba és azok okainak hátterébe is. Meglátása szerint alapvető hiba például, ha a tervező már a szakvélemény elkészülése előtt eldönti, hogy milyen védőszert kell alkalmazni a helyreállítás során. A második nap levezetőelnöki tisztségét is betöltő dr. Csupor Károly, a Faanyagtudományi Intézet egyetemi docense, különböző faanyagvédő szerek kültéri hatásvizsgálatairól számolt be prezentációjában. A kültéri vizsgálatok vöröstölgy oszlopok talajjal érintkező felületének védőszerben történő áztatását követően több évig tartottak. Az eredmények egyértelműen alátámasztották, hogy a szijácsba bejuttatott speciális, fixálódó hatóanyagok a faanyagot évek múltán is képesek megóvni a jelentősebb károsodásoktól. A vizsgálati idő alatt a kezeletlen minta földdel érintkező faszöveti részei gombák és egyéb talajban élő állati károsítók által teljes mértékben lebontásra kerültek.



Kültéri faanyagvédelmi, tartóssági vizsgálatok Sopronban (Horváth N.)

Szitányiné Siklósi Magdolna faanyagvédelmi szakértő, építész tűzvédelmi szakértő előadásában a faanyagú épületszerkezetek égéskésleltetéséről tartott előadást. Az Országos Tűzvédelmi Szabályzat (OTSZ 5.0) alapelveinek és szabályrendszerének általános ismertetésén túl hasznos, a gyakorlatban is alkalmazható ismeretanyagok kerültek közzétételre. Az előadó hangsúlyozta, hogy a tűzvédelem szakterülete a faanyagvédelmi szakértők kompetenciáján kívül esik.

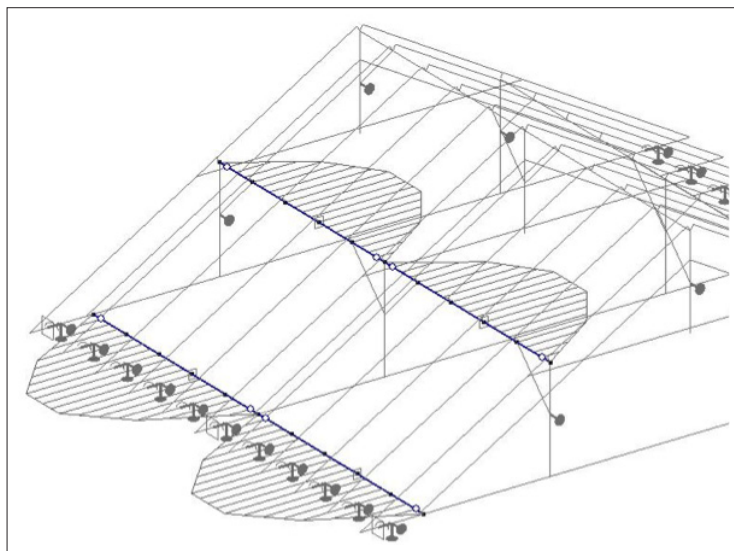


Kötőgerenda roncsolásmentes faanyagvizsgálata FAKOPP műszerrel (Divós F.)

Dobó István az MMK Erdőmérnöki, Faipari és Agrárműszaki tagozatának elnöke a kamara aktuális feladatait foglalta össze rövid prezentációjában, majd ezt követően dr. Bejő László a NymE Faalapú Termékek és Technológiák Intézet egyetemi docense a roncsolásmentes faanyagvizsgálatok módszereit mutatta be a jelenlévőknek. Az egyes módszerek általános ismertetésén túl a faanyagvédelmi területen alkalmazható, a hang faanyagban történő terjedési sebességének mérésén alapuló eljárások (pl. akusztikus tomográfia a korhadt, belső üregek meghatározására) lehetőségeiről részletesebben is beszámolt.

Pluzsik Tamás építőmérnök, betontechnológus szakmérnök, faanyagvédelmi szakértő a faanyag és a beton „kutya-macska barátságáról” állított össze érdekes előadást. Bevezetőjében a gyakorlati alkalmazások negatív példáinak rövid értékelését követően a beton és a faanyagok releváns anyagismereti tulajdonságainak ismertetésén át szemléltette a témakör aktualitását és a szakma számára is említésre méltó érdekességeit, összefüggéseit.

Kovács Gábor a FOX WOOD Faipari Design Műhely Kft. képviselőjében „Exkluzív faépítész” címmel a környezetterhelés, energiafelhasználás, öko-logikus gondolkodás fogalmaival fémjelzett bevezetőt követően a modern faépítészeti és kivitelezési kihívásainak komplex vonatkozásait boncolgatta, mely nem nélkülözötte a szakértők számára oly fontos faanyagvédelmi szempontok figyelembevételét sem. Ugrinné Zubka Beatrix tartószerkezet-tervező és -rekonstrukciós szakmérnök, faanyagvédelmi szakértő az állószerű, függesztő- és feszítőműves fedélszerkezetek tartószerkezeti működésével kapcsolatos prezentációval zárta a szakmai előadások sorát. A gyakorlott szakemberek számára is hasznos, változatos és értékes diámsorozattal és legalább ugyanilyen jelzőkkel illelhető kérdésfeltevésekkel és válaszokkal tarkított előadásában a különféle fedélszerkezeti megoldások egyes elemeinek teherviselési erőjátékát elemezte az előadó.



Talp- és középszerelem feszültségviszonyai borgolt szarufák esetén (Ugrinné Z. B.)

Összességében elmondható, hogy az idei konferencia sikeresen zárult. A szervezőbizottság nevében is köszönet illeti nem csak az előadókat, hanem a lebonyolításban közreműködő személyeket, szervezeteket is.