



Tudományos tartalom:

- A bükkábrányi fosszilis fatörzsmaradványok fajaj-meghatározása mikroszkópos módszerekkel ...5.
- Az ablakok légzárási teljesítményének változása a környezeti hőmérséklet függvényében ...10.
- Néhány hazai fafaj kérgének hőszigetelő képessége ...16.
- Az ergonómiai minőség tervezése ...21.
- Papírhulladék hasznosítása lapalapú biokompozit előállítására II. ...29.

Scientific content:

- Species identification of the Bükkrábrány tree stem fossils using microscopy ...5.
- The air tightness efficiency change of the windows depending on the environment temperature ...10.
- Thermal insulation capacity of several domestic wood species ...16.
- Design for ergonomic quality ...21.
- Paper waste recycling in bio-composite boards - Part 2 ...29.

Már 50 éve a hazai faipar szolgálatában – 50 éves a Faipari Mérnöki Kar

Dr. Bejő László

Immár fél évszázados történelmet tudhat maga mögött a Nyugat-magyarországi Egyetem (korábban Erdészeti és Faipari Egyetem) Faipari Mérnöki Kara. A kar mára az Erdőmérnöki Kar „kistestvéréből” az egyetem második legrégebbi, sok tekintetben meghatározó karává nőtte ki magát.

Ötven év hosszú idő, és nem repült el nyom nélkül a Faipari Mérnöki Kar felett sem. Az eltelt évtizedek során a kar sok változást élt meg, és reagált rájuk sikerrel: az egykori „monokultúrás”, csak a faipari oktatással és kutatással foglalkozó intézmény mára a Nyugat-Dunántúl egyik meghatározó műszaki, művészeti és informatikai felsőoktatási szereplője lett. Természetesen a kar mindezen változások között máig megőrizte a faiparhoz kötődő, arra fókuszáló, egyedülálló jellegét, mint azt a változatlan név is mutatja.

Idén tehát ismét ünnepelnek a „fások” – az Alma Mater hazahívja az elmúlt 50 év során kirepült fiait, hogy egy nagyszabású rendezvénysorozattal emlékezzünk meg a kar történetéről, valamint tájékozódjunk jelenéről, jövőjéről is. A szeptember 10–14. között sorra kerülő rendezvénysorozat programjában szerepel majd nemzetközi tudományos konferencia, számos kiállítás, ahol az Alkalmazott Művészeti intézet neves művészei, Orosz István és Soltra E. Tamás munkái mellett bemutatásra kerülnek például Sprok Antal faipari mérnök különleges szoborbútorai is. A jubileumi hét keretében lesz lehetőség az egyetem új laborépületének (Natural Resources Research Centre) és látogató központjának megtekintésére is.

A rendezvénysorozat csúcspontja a kar 51. tanévének ünnepélyes megnyitója lesz, amely idén egyben az egyetem központi tanévnyitó rendezvénye is. A kar történetében először kerül majd sor aranydiplomák átadására, az 1962-ben végzett első évfolyam okleveles faipari mérnökei számára, valamint számos elismerés, kitüntetés is átadásra kerül. Idén is lesz erdész-fás szakestély, és sor kerül a FATE évente megrendezett szokásos közgyűlésére is. A tervek szerint a jubileumi hét szeptember 14-én este egy koncerttel zárul, melyen neves soproni művészek mellett fellép Cakó Ferenc grafikus, Érdemes és Kiváló Művész, karunk egyetemi docense, aki a zenei élményt homokanimációjával teszi még teljesebbé.

A rendezvénysorozat pontos programjáról hamarosan több fórumon – így a Faipar következő számában is – lehet tájékozódni, de már most érdemes beírni a naptárba a rendezvénysorozatot, amelyre sok szeretettel várunk minden érdeklődőt!



Prológus Prologue

Már 50 éve a hazai faipar szolgálatában – 50 éves a Faipari Mérnöki Kar » *Bejő L.* « ... 3.

Tudomány Science

A bükkábrányi fosszilis fatörzsmaradványok fajaj-meghatározása mikroszkópos módszerekkel
» *Antalfi E. – Fehér S.* «
Species identification of the Bükkábrány tree stem fossils using microscopy » *E. Antalfi – S. Fehér* « ... 5.

Az ablakok légzárási teljesítményének változása a környezeti hőmérséklet függvényében
» *Bencsik B. – Kovács Zs. – Dénes L.* «
The air tightness efficiency change of the windows depending on the environment temperature
» *B. Bencsik – Zs. Kovács – L. Dénes* « ... 10.

Néhány hazai fafaj kérgének hőszigetelő képessége » *Ronyecz I. – Mohácsi K. – Pásztory Z.* «
Thermal insulation capacity of several domestic wood species » *I. Ronyecz – K. Mohácsi – Z. Pásztory* « ... 16.

Az ergonómiai minőség tervezése » *Horváth P. Gy.* «
Design for ergonomic quality » *P. Gy. Horváth* « ... 21.

Papírhulladék hasznosítása lapalapú biokompozit előállítására II. » *Takáts P. – Varga N. – Takáts A.* «
Paper waste recycling in bio-composite boards - Part 2 » *I. Ronyecz – P. Takáts – N. Varga – A. Takáts* « ... 29.

Élet Life

Megemlékezés Dr. Nagy Béla Gézáról, a FATE volt elnökhelyetteséről » *Bejő L.* « ... 36.

Szellemtulajdon-védelemről középiskolásoknak » *Farkas P.* « ... 36.

Szerkesztői oldal Editorial

... 38.

A bükkábrányi fosszilis fatörzsmaradványok fafaj-meghatározása mikroszkópos módszerekkel*

ANTALFI Eszter¹, FEHÉR Sándor¹

¹ NymE FMK Fa- és Papíripari Technológiák Intézet

Kivonat

A tizenhat törzsből álló, 7,2 millió éves fosszilis maradványok egy őserdő részét képezték, amelyet 2007 júliusában találtak a Borsod-Abaúj-Zemplén megyei Bükkábrány melletti lignitbányában, 60 méteres mélységben. Pusztulásukhoz egy hirtelen homokvihar vagy iszaplavina vezethetett, amely mintegy 6 méteres magasságban elborította az erdőrészt, így konzerválta a mocsárciprusok törzsének alsó részét, míg a homok- vagy iszapréteg fölé eső részek elpusztultak. A fény- és elektronmikroszkópos vizsgálati eredményekből egyértelműen kiderül, hogy mocsárcipruson kívül a tengerparti mamutfenyő is megtalálható a fajok között.

Kulcsszavak: Bükkábrány, fafaj-meghatározás, fosszilis maradványok, mocsárciprus, tengerparti mamutfenyő

Species identification of the Bükkábrány tree stem fossils using microscopy

Abstract

The fossils found in July 2007, buried 60 m deep in a lignite mine near Bükkábrány, Borsod-Abaúj-Zemplén County, consisting of 16 stems of 7.2 million year old trees used to be part of a primeval forest. A sudden sand storm or mudslide may have been the cause of their demise, covering the forest about 6 m high, thus conserving the lower section of the swamp cypresses, while their top halves, uncovered by the sand or mud, have been destroyed. The results of light and scanning electron microscopic investigations proved that, in addition to swamp cypresses, the discovered species include coast redwood as well.

Key words: Bükkábrány, Species identification, Fossils, Swamp cypress, Coast redwood

Bevezetés

2007 nyarán Bükkábrányban, 7,2 millió éven át a föld alá temetett 16 törzsből álló mocsárerdő felszínre kerülésével, páratlan jelentőségű fosszilis növény-maradványok vizsgálatára kerülhetett sor (1. ábra). A mocsárerdő törzsei eredeti élőhelyükön állva, megőrizték eredeti sejtszerkezetüket. A 6 méter vastagságú nedves homok- vagy iszapréteg beborította az

erdősáv talajszint közeli zónáját, amit hirtelen változás, valószínűleg egy földcsuszamlás okozhatott, így azt légmentesen lezárta. Mivel levegő nem érintette a leleteket, valamint folyamatosan nedves földréteg borította, így a konzerváló hatás mellett nem engedte a megkövesedést sem, ezért a fák épségben maradtak. Az évszázadok során már nagyon sokszor kerültek elő különböző uszadék fák vagy kéregdarabok,

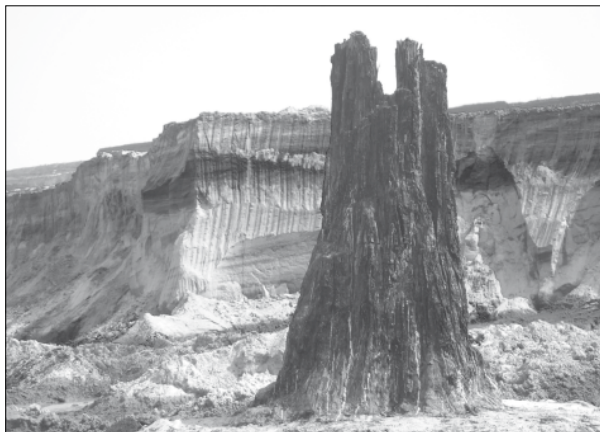
*A kutatás a Talentum – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2010-0018 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

This research - as a part of the Development of Student Talent Fostering at WHU, TAMOP 4.2.2. B-10/1-2010-0018 project - was sponsored by the EU/European Social Foundation. The financial support is gratefully acknowledged.

de többnyire nem eredeti környezetükben vagy élőhelyükön, hanem bizonytalan földrajzi körülmények között. Európában eddig is számtalan lelőhelyen találtak fosszilis maradványokat (Pinna et al. 2000), többek között Magyarország területén is. A magyarországiak közül talán a legismertebb az Ipolytarnócon talált lelet. Az ipolytarnóci faköveket, a vizsgálatok alapján olyan kihalt fenyőfaj, amely sem ma élő, sem fosszilis, azaz korábban kihalt, konzerválódott fajokkal nem mutat azonosságot (Tuzson, 1901). 2007 nyarán hat fa megsemmisült, s csak tízet sikerült ép-ségben a felszínre hozni. Négy fatörzset a miskolci Herman Ottó Múzeumba, valamint hat megmaradt fatörzset a Bükk Nemzeti Parkba, az ipolytarnóci őslábnymos bemutatóhelyre szállítottak.

A bükkábrányi bányában feltárt ősmaradványok összesen 16 törzsből és több úgynevezett uszadék fából (helyhez nem kötött) állt. A nedves konzerváló anyagból kikerült fák fokozatosan elkezdtek kiszáradni. Ennek következtében szétrepedeztek, a külső részek lepattogzottak, és gyakorlatilag fokozatosan, lassan szétporladtak, mivel a fák már elvesztették cellulóztartalmuk egy részét, amely a sejtfalak állékonyságáért felelős, és több mintánál jóformán csak a plasztikus lignin maradt meg. Ezek a korai vizsgálatok a fajra vonatkozóan is kiterjedtek.

A feltárást követően a törzsek habitusa, valamint a kéreg jellegzetességei alapján, minden alapos vizsgálat nélkül mocsárciprusnak (*Taxodium distichum*) azonosították a törzseket (Ötvös, 2007). A NymE FMK Faanyagtudományi Intézetének első vizsgálata során egy álló fát és egy uszadék fát vizsgáltunk meg a fametszetek alapján, ahol az előbbinek a faja mocsárciprus (*Taxodium distichum*), míg az utóbbi az eredmények alapján tengerparti mamutfenyőnek (*Sequoia sempervirens*) adódott (Molnár et



1. ábra A bükkábrányi bánya (fotó: Börscsök Zoltán)
Figure 1 The Bükkábrány mine (photo: Zoltán Börscsök)

al. 2007, 2008). Hably (2008) xylotómiai kutatásai szerint is sok faj lehet a bükkábrányi fák között.

Ma már egyértelművé vált, hogy ez csak részben felel meg a valóságnak. Több kutatómunka is leírt más fajokat, mint pl. tengerparti mamutfenyőt (*Sequoia sempervirens*) is a mocsárciprus mellett (Molnár et al. 2008), valamint egy ma már kihalt fajt vélt felfedezni a xylotómiai vizsgálatok alapján, a *Taxodioxydon germanicum* nevűt (Hably 2008; Erdei et al. 2009). A számos szakirodalom fajokénti xylotómiai jellemzésében azonban az igen sok azonosság mellett, kisebb pontokban eltérések figyelhetők meg, amelyek a vizsgálatok eredményét kétségessé is tehetik. Ezért szükségszerű volt ezen fajoknak a kontroll vizsgálatára is, amelyek azonosak vagy rokon fajok a fosszilis maradványoknak.

Vizsgálati anyag és módszer

Vizsgálataink jelen szakaszában a törzsek fafajának meghatározására összpontosítottunk, melynek során öt törzsből vettünk mintákat a vizsgálatokhoz. A törzsek elhelyezkedését a bükkábrányi bánya mocsárerdő fáinak helyzetét ábrázoló alaprajz mutatja be (2. ábra). A faj-meghatározás módszereit az eljárás során alkalmazott segédeszközök alapján lehet elkülöníteni. A faj-azonosításhoz szükséges elővizsgálatok egy Nikon SMZ-2T típusú sztereó mikroszkópot használtunk.

A konkrét faj-meghatározáshoz a fatest mikroszkópos jellemzői adhatnak megbízható adatokat. A mikroszkópos faj-azonosításhoz metszeteket készítettünk, továbbá az azonosító jegyek megfigyelése sztereó, fény-, ill. elektronmikroszkóp segítségével történt. A faj-meghatározáshoz mintákat vettünk az ősfákból, valamint a kontroll fajokból is. A 10-es és a 11-es törzseknek tetejéből lehetett mintát venni, hogy azzal ne károsítsuk a fákat. A 2-es, 5-ös és 6-os törzsekből kisebb darabokat kaptunk, amelyeket fel tudtuk használni a vizsgálatok során. A kontroll fajok esetén növedékfúróval, úgynevezett Pressler-fúróval történt a mintavétel. A minták megfelelő előkészítése után a metszeteket egy Leitz-Wetzlar típusú, szánkós mikrotóm segítségével készítettük (3. ábra).

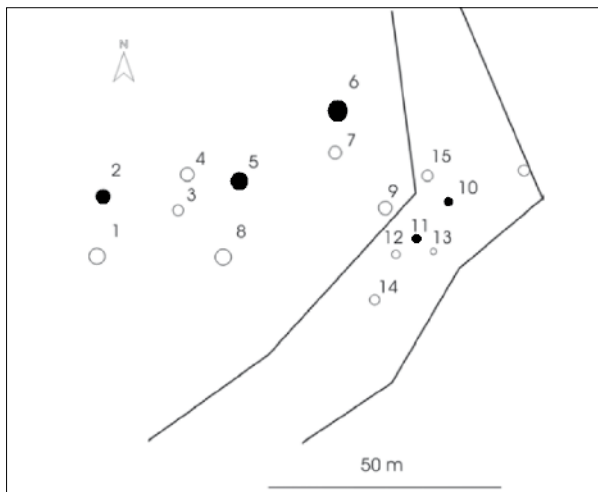
Vizsgálati eredmények

A 2-es, 6-os, 10-es számú törzsek keresztmetszetén a hossztracheidák teljesen szabályos elrendeződést mutatnak, s így egyértelműen a fenyők csoportjára irányítja a figyelmet. A korai és a kései pászta határa viszonylag éles. Valódi gyantáját nem található a mintákban. A hosszparenchimák száma

igen nagy, főleg a korai pásztkban, amelyek szórtan helyezkednek el. A húrmetszeteken a bélsugarak kizárólag csak egy sejtsor szélesek (4. ábra), magasságuk 1–30 sejtsor között változik. A hosszparenchimák harántfala sima. A parenchima sejtekben több helyen sötét színű anyagberakódások figyelhetők meg.

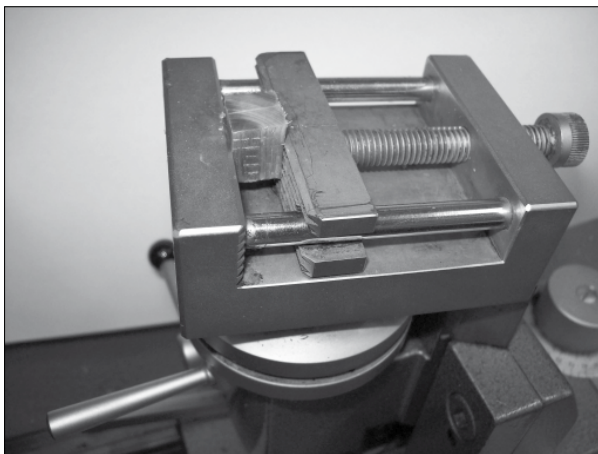
A sugármetszeteken látható, hogy a hossztracheidák falán az udvaros gödörkék 1–3. sorban helyezkednek el. A bélsugár heterogén felépítésű, mivel közepén bélsugár parenchimák láthatók, a két szélén pedig bélsugár tracheidák. A bélsugár tracheidák fala sima vagy csapos, más sejtfalvastagodás nem látható rajtuk. A bélsugár parenchimák tangenciális fala sima (5. ábra), olykor dudoros. A keresztződési mezőben 1–3 taxodioid, ill. cupressoid gödörke látható. Főleg a taxodioid gödörkék előfordulása figyelhető meg.

Az 5-ös és 11-es számú törzs keresztmetszetein a hossztracheidák szintén teljesen szabályos elrendeződést mutatnak (6. ábra). A korai és a kései pászta találkozása éles. Az őszi pászta nagyon keskeny.



2. ábra A vizsgált törzsek helyzete (Kázmér, 2007)

Figure 2 The location of the examined stems



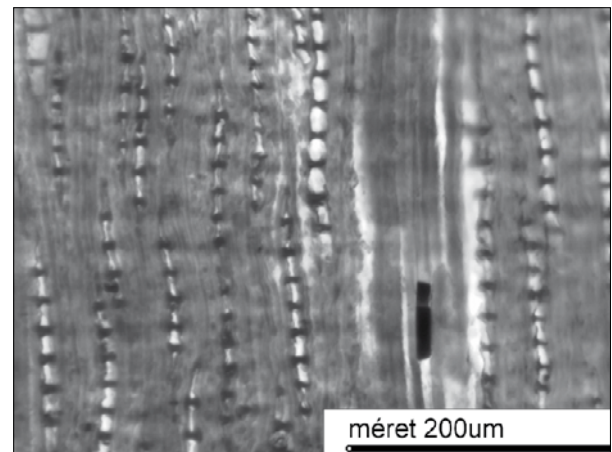
3. ábra Leitz Wetzlar típusú mikrotóm

Figure 3 Leitz Wetzlar microtome

A hosszparenchimák mennyisége viszonylag nagy, amelyek vagy szórtan helyezkednek el, vagy tangenciális irányú sávokba rendeződnek.

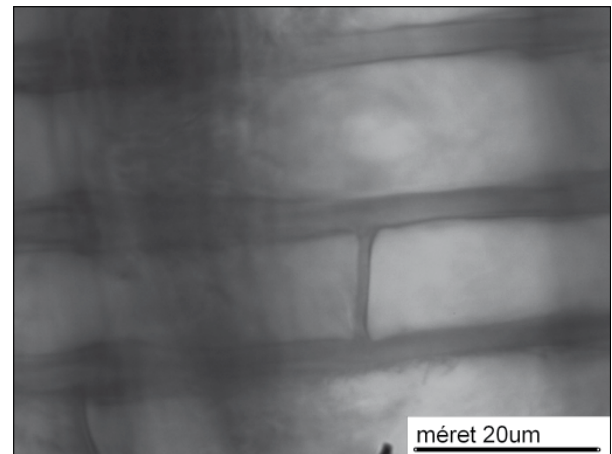
A húrmetszeten látható, hogy a bélsugarak többnyire egy sejtsor szélesek, de előfordul, hogy kettő. Hosszukat tekintve 1–30 sejtsor, de akár 35 sejtsor magasak is lehetnek. A hosszparenchimák végfalai (harántfalai) nem simák, hanem dudorosak. A hosszparenchimákban anyagberakódások gyakran előfordulnak.

A sugármetszeten a bélsugarak csak egy típusú sejtekből épülnek föl (bélsugár parenchimák), így homogén a szerkezetük. A hossztracheidák falán kizárólag csak udvaros-gödörkés sejtfalvastagodás figyelhető meg. A gödörkék egyes, kettős és hármas sorokban helyezkednek el (7. ábra). A bélsugár sejtek végfalai (tangenciális falak) simák. A keresztződési mezőben cupressoid és taxodioid gödörkék találhatóak. Számuk 1–4 között változik, attól függően, hogy a korai vagy a kései pásztkban vizsgáljuk.



4. ábra Húrmetszet, bélsugarak 1 sejtsor szélesek (2-es törzs)

Figure 4 Tangential section; rays are a single cell wide (stem nr. 2)



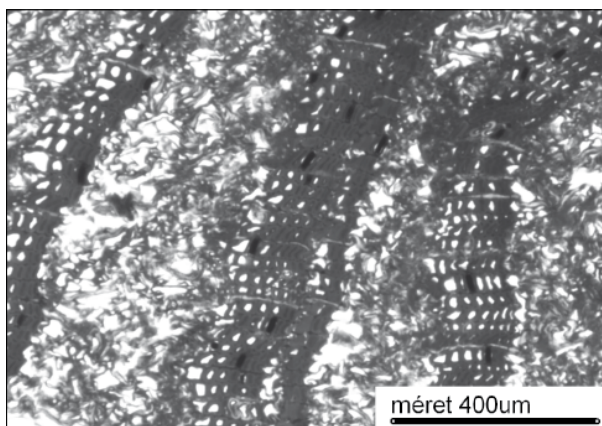
5. ábra Bélsugár parenchimák harántfala sima (10-es törzs)

Figure 5 Crosswalls of ray parenchymae (stem nr. 10)

A fafaj-meghatározás eredményeinek összegzése

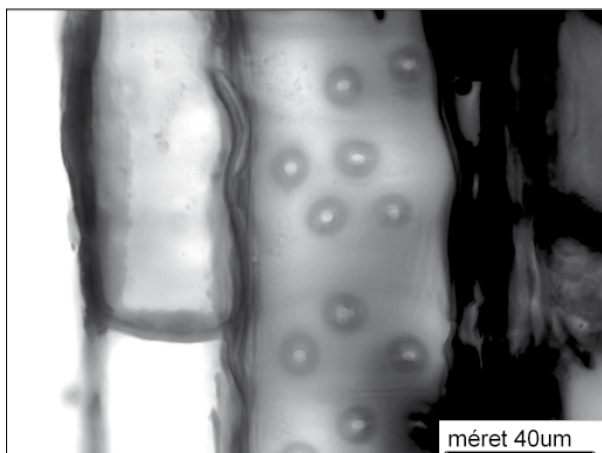
Hisztológiai tekintetben a tengerparti mamutfenyő megegyezik a mocsárcipruszal, de ettől megkülönbözteti a geszt sejtfalainak vörös színe, mely a mocsárciprusban sárgás aranysárga. Különbség található a sejtfalak csersavtartalmában is, mert a *Taxodium* fája a vas-klorid hosszas behatására is csak zöld színű, míg a *Sequoia* gesztjén rögtön fekete csapadék válik ki. Ez azért következik be, mert a bélsugársejtek, melyek többnyire vörösesbarna tartalma csersavas anyag, sőt némely tracheidában lévő sárgás vagy sárgásbarna tartalom is vízben oldódó csersavas anyagokból áll. Amint látható, a két fafaj között makroszkópos vizsgálatokkal elég könnyű különbséget tenni, ezzel szemben mikroszkópos módszerekkel már sokkal nehezebb megkülönböztetni a két fajt.

A maradványok vizsgálatai kimutatták, hogy a törzsek kizárólagosan a *Taxodiaceae* család tagjai. Ez alapján, illetve, hogy az itt található fajok hihetetlen módon hasonlítanak egymásra xylotómiai módon,



6. ábra Hossztracheidák szabályos elrendeződés (5-ös minta)

Figure 6 Regular pattern of longitudinal tracheids (sample nr. 5)



7. ábra Udvaros gödörkék 1–3 sorban helyezkednek el (11-es minta)

Figure 7 Bordered pits arranged in 1–3 rows (sample nr. 11)

valamint az azonos rokon fajok is, amelyek már kihaltak, szintén szoros hasonlóságot mutatnak a ma élő fajtársaikkal. A kontroll minták közé kellett venni a kínai mamutfenyőt is, ami szintén a *Taxodiaceae* család tagja, és így egy lehetséges alternatíva lehet. A fentiek alapján a vizsgálatok kiterjedtek mind a ma élő, mind a már kihalt fajokra, hogy azok alkothatták-e az egykori erdőállományt.

Az 1. táblázat szürke mezőiben a mikroszkópos jegek alapján besorolható törzsek kódjai láthatók, amelyek segítségével egyértelműen beazonosíthatók a törzsek fafajai. A táblázat jól mutatja a mai élő három lehetséges faj közötti különbségeket. Kitűnik, hogy gyakorlatilag a kínai mamutfenyőt ki lehet zárni, mivel a mikroszkopizálás eredményei több ponton is eltérő eredményekre mutatnak. Ugyanez elmondható a már kihalt *Glyptosrobus europaeus* fajról is.

A lehetséges fosszilis fajok vizsgálatánál látható, hogy gyakorlatilag a ma élő *Taxodium distichum* és a már kihalt *Taxodioxyylon germanicum* között nincs különbség, így a két törzs fajtája bármelyik lehet (2. táblázat). A tengerparti mamutfenyő és a már szintén kihalt *Sequoioxylon* fajok közötti különbségek is elhanyagolhatók, így a vizsgált törzsekből három, a még ma is élő tengerparti mamutfenyő (*Sequoia sempervirens*), vagy a már kihalt *Sequoioxylon* fajok egyike.

Összefoglalás

A Bükkábrányban 7,2 millió éven át a föld alá temetett mocsárerdő felszínre kerülésével páratlan jelentőségű fosszilis növénymaradványok vizsgálatára kerülhetett sor. Célunk volt, hogy a mocsárerdőt alkotó törzsek átfogó anatómiai, fafizikai vizsgálatát megvalósítsuk, amely kiterjed a beazonosított fajok mikroszkópos és makroszkópos jellemzőinek meghatározására. Eddig öt törzs fajtájának meghatározása történt meg. A minták histológiai elemzése egyértelműen rámutat arra a tényre, hogy a megtalált törzsek egykoron egy fenyőerdő részei voltak. A vizsgálatok kezdetén már látható volt, hogy mindegyik törzs a *Taxodiaceae* család tagja, erre utalt a törzsek morfológiája, alakja, ill. a kéreg jellemzői, annak barázdáltsága, vastagsága, valamint szerkezete. A xylotómiai vizsgálatokból világosan kiderült az eddig meghatározott törzsek alapján, hogy az öt törzsből kettőnek a fajtája mocsárciprus (*Taxodium distichum*), vagy a már kihalt *Taxodioxyylon germanicum*, három törzs fajtája pedig tengerparti mamutfenyő (*Sequoia sempervirens*), vagy a már kihalt *Sequoioxylon* sp fajok egyike.

1. táblázat A három modern fafaj közötti eltérések összesítése**Table 1** Summary table of the differences between the three contemporary species

Eltérések		Taxodium distichum		Sequoia sempervirens		Metasequoia glyptostroboides	
1.	illat	változó		változó, vagy hiányzik		hiányzik	
2.	sűrűség	0,46 g/cm ³		0,35–0,42 g/cm ³		–	
3.	korai – késői pászta átmenete	éles	5, 11	fokozatos, vagy éles	10, 2, 6	éles v. fokozatos	10, 2, 6
4.	kereszteződési mezőben a gödörkék átmérője	5–10 µm		2–5 µm, vagy 5–10 µm		–	
5.	tracheidák gödörkéi a radiális falban	1–2, vagy több soros	5, 11	kettő, vagy több soros	10, 2, 6	1–2 soros	5, 11
6.	tórusz terjedelme	hiányzik	5, 11	jelen van	10, 2, 6	hiányzik	5, 11
7.	udvarosgödörkék széle csipkézett	hiányzik		jelen van		hiányzik	
8.	axiális parenchima	szórt, vagy sávós	5, 11	szórt	10, 2, 6	kevés, szórt, v. sávós	5, 11
9.	harántfal	dudoros	5, 11	sima	10, 2, 6	sima v. dudoros	
10.	bélsugár	1–2 sejtsor széles	5, 11	egy sejtsoros	10, 2, 6	egy sejtsoros	10, 2, 6
11.	bélsugár felépítése	homogén	5, 11	heterogén	10, 2, 6	homogén	5, 11
12.	bélsugárparenchima végfala	sima	5, 11	dudoros, vagy sima	10, 2, 6	sima	5, 11
13.	bélsugárparenchima tangenciális fala	perforált		nem perforált		nem perforált	

2. táblázat A három modern fafaj közötti eltérések összesítése**Table 2** Summary table of the differences between the three primeval species

Eltérések		Taxodium distichum		Sequoia sempervirens		Metasequoia glyptostroboides	
1.	illat	–		–		–	
2.	sűrűség	–		–		–	
3.	korai – késői pászta átmenete	éles	5, 11	fokozatos, vagy éles	10, 2, 6	fokozatos	10, 2, 6
4.	kereszteződési mezőben a gödörkék átmérője	5–10 µm		2–5 µm, vagy 5–10 µm		–	
5.	tracheidák gödörkéi a radiális falban	1–2, vagy több soros	5, 11	kettő, vagy több soros	10, 2, 6	kettő, vagy több soros	5, 11
6.	tórusz terjedelme	hiányzik	5, 11	jelen van	10, 2, 6	hiányzik	5, 11
7.	udvarosgödörkék széle csipkézett	hiányzik		jelen van		hiányzik	
8.	axiális parenchima	szórt, vagy sávós	5, 11	szórt	10, 2, 6	kevés, szórt, v. sávós	5, 11
9.	harántfal	dudoros	5, 11	sima	10, 2, 6	sima v. dudoros	
10.	bélsugár	1–2 sejtsor széles	5, 11	egy sejtsoros	10, 2, 6	egy sejtsoros	10, 2, 6
11.	bélsugár felépítése	homogén	5, 11	heterogén	10, 2, 6	homogén	5, 11
12.	bélsugárparenchima végfala	sima	5, 11	dudoros, vagy sima	10, 2, 6	sima	5, 11
13.	bélsugárparenchima tangenciális fala	perforált		nem perforált		nem perforált	

Irodalomjegyzék

- Hably L. (2008) Magyar Florida, avagy Bükkábrány igazi arca, Természet Világa, 139. évfolyam, 4. szám, 178–180.
- Erdei B., Dolezych M., Hably L. (2009) The buried Miocene forest at Bükkábrány, Hungary. Review of Palaeobotany and Palynology, Elsevier, 155: 69–79.
- Kázmér M. (2007) Taxodium mocsárerdő a bükkábrányi felsőpannon rétegekben. Kirándulásvezető a Magyarhoni Földtani Társulat Őslénytan-Rétegtani Szakosztályának 2007. július 24-i terepbejárásához. 2.
- Molnár S., Fehér S., Börcsök Z., Ábrahám J. (2007) A bükkábrányi Taxodiaceae leletek anatómiai és kémiai vizsgálatának néhány eredménye. Nemzetközi Konferencia, Miskolci Herman Ottó Múzeum, Miskolc, 2007. szept. 10.
- Molnár S., Albert L., Fehér S., Börcsök Z., Ábrahám J., Hofmann T., Antal E. (2008)

- Anatomical and chemical characteristics of Miocene Taxodiaceae species from Bükkábrány (Hungary). Wood Matters – A celebration of the work of John Barnett, The Linnean Society of London, International Academy of Wood Science, International Association of Wood Anatomists, 29–30. May 2008. London
- Tuzson J. (1901) A tarnóczi kövült fa (Pinus tarnocziensis n. sp.). Természettudományi Füzetek, 24: 273–316.
- Pinna G., Meischner D. (2000) Europäische Fossilagerstätten. European Palaeontological Association, Springer Verlag
- Ötvös Z.: Bükkábrányi fák ősi klímáról beszélnek, Népszabadság, 2007. augusztus 2.



Az ablakok légzárési teljesítményének változása a környezeti hőmérséklet függvényében*

BENCSIK Balázs¹, KOVÁCS Zsolt¹, DÉNES Levente¹

¹ NymE FMK Fa- és Papíripari Technológiák Intézet

Kivonat

A nyílászárók – mint az épületeink szerves részét képező elemek – elsődleges funkciója, hogy kapcsolatot biztosítsanak a zárt komforttér és a külső környezet között úgy, hogy közben biztosítsák a zárt térben tartózkodó személy megfelelő hő-, akusztikai-, valamint vizuális komfortszintjét. Az épületek tervezése során a nyílászárókat az adott felhasználáshoz előírt teljesítményjellemző értékeik alapján választják ki, azonban azzal nem számolnak a tervezők, hogy a használatból és a környezeti hatásokból kifolyólag azok értékei változhatnak. A beépített nyílászárók az épület homlokfelületén nagy hőingadozásnak vannak kitéve, ami jelentős légáteresztés-változást is eredményezhet. Vizsgálatokkal igazoltuk, hogy a hőmérséklet emelkedésével az ablak légzárása kismértékben javult, míg alacsony hőmérsékleten nagyobb légáteresztés volt tapasztalható. A növekvő légáteresztés nagyobb filtrációs hővesztéséget eredményez, ami kedvezőtlenül befolyásolja az épület energiamérlegét és a bentlakók komfortszintjét.

Kulcsszavak: ablak, teljesítőképességi jellemző, hőmérséklet hatása, károsodás

The air tightness efficiency change of the windows depending on the environment temperature

Abstract

The primary function of doors and windows as organic parts of a building is to assure a link between the closed comfort space and exterior environment. This connection must guarantee the appropriate thermal, acoustical and visual comfort level of the persons staying in that space. During the design of a building doors and windows are chosen according to their performance characteristics prescribed by different regulations. However, due to the use and environmental effects the initial characteristics' values may change throughout the life cycle of products. For example windows placed on facades suffer from high thermal impact and variations which may cause a significant modification in air tightness of the window. According to the measured values the increasing temperature improved the air tightness of the windows and opposite to this, below the freezing point the air tightness slightly decreased. The growing air leakage results in a higher heat loss by filtration influencing negatively the energy balance of the building and the comfort level of residents.

Key words: windows, performance characteristics, thermal impact, degradation

*A kutatás a Talentum – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2010-0018 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

This research - as a part of the Development of Student Talent Fostering at WHU, TAMOP 4.2.2. B-10/1-2010-0018 project - was sponsored by the EU/European Social Foundation. The financial support is gratefully acknowledged.

Bevezetés

Az ablakok átlátszó üvegezett felületeivel a zárt komforttér vizuális határait a külső környezet vizuális határáig lehet növelni, ami kedvező hatással van a helyiség komfortmegítelésére. Az ablakok további kiemelt funkciója, hogy nyitásával biztosítható a komforttérben tartózkodó személyek számára szükséges friss levegő mennyisége. A jó légzárású ablakok azonban az üzemeltetés során mind épületgépészeti, mind pedig komfortelméleti kérdéseket vethetnek fel, mivel csak megfelelő légcserével biztosítható a lakóépületben felszabaduló páratartalom, szén-dioxid és szaghatás eltávolítása, hogy elkerüljük a beteg épület szindrómát (Bánhid, 2000). Modern, magas energiahatékonyságú épületek, vagy esetleg passzívház esetében a belső térbe a szükséges friss levegő mennyiségét a tervezett légvezetési rendszeren (LRV) keresztül juttatják be és szívják el az elhasznált levegőt. Ez utóbbi esetben az ablakoknak alapvetően nem kellene nyithatóknak lenniük, azonban az épületgépészeti rendszer üzemzavara, és egy esetleges tüzeset, vagy bármely más katasztrófa bekövetkezésekor komoly problémát jelenthet az ablakok nyithatóságának hiánya (Magyar, 2007). Ebből az okból, valamint a bezártság érzés elkerülése végett a tervezők igyekeznek nyitható nyílászárók beépítésével megteremteni a külső és a belső tér közötti kapcsolatot. A modern lakóépületek tervezésekor, valamint épület felújításakor, a tervezőnek számos szabványt és előírást kell ismernie és alkalmaznia ahhoz, hogy egy alacsony energiaigényű és jó komfortérzetű épületet hozzon létre. Napjaink építőanyagai és építési technológiák alkalmazásával lehetővé váló racionális fűtési-hűtési energia felhasználás reális igényként jelenik meg az építetők részéről (Specht, 2010); (Sieberath, 2010). A tervezőnek az épület jó energiatanúsítása mellett törekednie kell arra, hogy az MSZ CR 1752-es hatályos hazai és nemzetközi szabványban meghatározott, adott kategóriába tartozó komfortjellemzőknek is megfeleljen. A két igényt kompromisszumok nélkül a legtöbb esetben csak komoly épületfizikai tervezőmunkával és épületgépészettel lehet maradéktalanul kielégíteni. Egy épület energetikai mérlegében nagy szerepet töltenek be a különböző nyílászáró szerkezetek, melyekre az új EU termékszabványában rögzített teljesítményjellemzők vonatkoznak. A teljesítményjellemzők között szerepel az ablakok légzárási követelményértéke is, amit egy adott használatra szánt ablaknak a beépí-

tés pillanatában teljesítenie kell. A beépített ablak a használat következtében számos degradáló hatásnak van kitéve, amelyek a teljesítményjellemzők megváltozásához vezetnek, vagy kedvezőtlenebb esetben a teljes működésképtelen állapot is bekövetkezhet. A modern nyílászáróktól elvárható, hogy teljesítményjellemzőik a működési élettartamuk során célirányos karbantartással, állagmegóvással, bizonyos határok között tartható legyen (Kovács, 2002). A környezeti és használatból következő hatásoktól megnövekedett légáteresztési érték, ami a legtöbb esetben további teljesítményjellemző csökkenéséhez is vezet. A környezeti degradáló hatások között szerepel a napfény fotodegradációja, az ingadozó napi és évszakonkénti hőmérséklet, a csapadék, valamint a szél torlónyomása, amelyek hatással vannak mind a tok és a szárny anyagára és benne a rugalmas gumitömítések anyagminőségére, mind pedig a működtető fém vasalatrendszerre is. Az ablakok rendeltetésszerű működtetése során a megfelelő kenőanyag hiányában elindul a vasalatrendszer mozgó alkatrészeinek a kopása, valamint a rugalmas tömítések elöregedése, kimozdulása a megfelelő pozícióból. Mindegyik hatás az időben halmozódik és a teljesítményjellemzők megbízhatóságát, a hibamentes működés valószínűségét csökkenti. Annak érdekében, hogy olyan terméket tudjunk tervezni, amely a tervezett élettartama során a légzárási teljesítményét adott valószínűséggel a kívánt értéken tudja biztosítani, szükséges ismernünk a termékben adott idő és adott behatás során végbe menő változásokat, amelyek ismeretében felírható a termék teljesítményjellemzőjének megbízhatósági függvénye. Jelen cikkünkben a környezeti degradáló hatások közül a hőmérsékletváltozás befolyásoló hatását vizsgáltuk. A légzárási eredményeket a nyomás függvényében diagramokban ábrázoltuk, valamint a variancia-analízis alkalmazásával meghatároztuk az egyes vizsgálati beállításokon mért értékek egyezőségét. Hőkamera segítségével meghatároztuk az ablak tok és szárny kerülete mentén a szivárgási helyek pozícióját is.

Elméleti háttér

A nyílászárók légzárásának vizsgálati szabványa (MSZ EN 1026:2002) meghatározza, hogy az ablakokat milyen klímán kell vizsgálni, továbbá megadja, hogy a minősítő osztályozáshoz szükséges hőmérséklet, valamint atmoszférikus nyomás kompenzációt milyen összefüggés alkalmazásával kell elvégezni:



$$V_0 = V_x \cdot \frac{293}{273 + T_x} \cdot \frac{P_x}{101,3} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad [1]$$

ahol: V_0 - standardizált légáteresztés [m^3/h]
 V_x - vizsgálati hőmérsékleten mért légáteresztés [m^3/h]
 T_x - vizsgálati hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
 P_x - vizsgálat ideje alatt az atmoszférikus nyomás értéke [kPa]

A kompenzációra azért van szükség, mert a hőmérséklet, valamint a gáz nyomásának változásával a gázok sűrűsége is megváltozik, amely tömegáram változást eredményez. Az [1] összefüggést felhasználva kiszámítható az adott vizsgálati hőmérsékleten és légköri nyomáson mért levegő mennyiségével mért, 20°C -fokos és 101,3 MPa nyomású levegő mennyisége.

Adott hőmérsékletű gáz tömegárama egyenesen arányos a szállított térfogatárammal és a gáz adott hőmérsékletéhez tartozó sűrűséggel:

$$\dot{m}_x = \rho_x \cdot \dot{V}_x \quad [2]$$

ahol: \dot{m}_x - adott hőmérsékletű gáz tömegárama [kg/m^3]
 ρ_x - adott hőmérsékletű gáz sűrűsége [kg/m^3]
 \dot{V}_x - térfogatáram [m^3/h]

A [2] összefüggésből következik, hogy a hőmérséklet csökkenéséből adódó sűrűsénövekedés növekvő tömegáramot eredményez. A nyílászárók résein, valamint a különböző szerkezeti elemeken, építési hézagokon átáramló levegő tömege pedig arányos a filtrációból származó hőárammal, amit az alábbi összefüggéssel számíthatunk:

$$\dot{Q}_{\text{filtráció}} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta t \quad [3]$$

ahol: $\dot{Q}_{\text{filtráció}}$ - filtrációs hőáram
 \dot{m} - tömegáram [kg/h]
 c - fajhő [J/kgK]
 Δt - hőmérséklet különbség [K]

Mivel a beépített ablakok általában két különböző hőmérsékletű teret választanak el, ezért szerkezetükben hőmérséklet gradiens jön létre, ami belső feszültségeket és dilatációt eredményezhet. A lucfenyő (*Picea abies*) hűrirányú lineáris hőtágulási együtthatója $34,6 \cdot 10^{-6} \cdot \alpha$ (Molnár, 1999). Ez azt jelenti, hogy egy 78 mm vastagságú profil 40°C

hőmérsékletkülönbség hatására 0,1 mm-t zsugorodik. A dilatáció mellett a hőmérséklet változásával az ablak szerkezeti elemeinek a rugalmassági modulusza is változik. Különösen fontos a fa alkatrészekben hűtés következtében bekövetkező merevség növekedés, ami lucfenyőből (*Picea abies*) készült alkatrészeknél 1°C hőmérsékletkülönbségre 0,45% merevség-növekedést eredményez (Bodig 1982). A laboratóriumi minősítő vizsgálatok során azonban a vizsgálati szabvány előírja a próbatetek kondicionálását. Ezzel a standardizált módszerrel mért légáteresztési értékek egymással jól összehasonlíthatók, azonban ezek az értékek megváltoznak, mielőtt az ablak beépítésre kerül és valóságos környezeti hatások érik. A hőmérséklet okozta dilatációs méretváltozás mellett jelentős dimenzióváltozást okoz a faanyag nedvességtartalmának változása is. A fa alkatrészek igyekeznek a levegő nedvességtartalmának megfelelő egyensúlyi fanedvességre beállni, ami méretváltozást von maga után. A szerkezet dagadása, valamint zsugorodása következtében a tok és a szárny közötti rések is változnak, ami a zárási szorosság változását eredményezi. Vizsgálatunk elsődleges célja az volt, hogy kimutassuk a hőmérsékletváltozás hatását az ablakok légzárási teljesítményére. A vizsgálat másik célja az volt, hogy hőkamerás felvételek segítségével meghatározzuk a légzárási vizsgálat során kialakuló szivárgási helyek pozícióját. Ennek során az ablakvizsgáló berendezéshez csatlakozó levegő előkészítő egységgel felhevítettük, majd jelenősen lehűtöttük az ablak külső felületét és úgy végeztünk légáteresztés vizsgálatokat.

Anyagok és módszerek

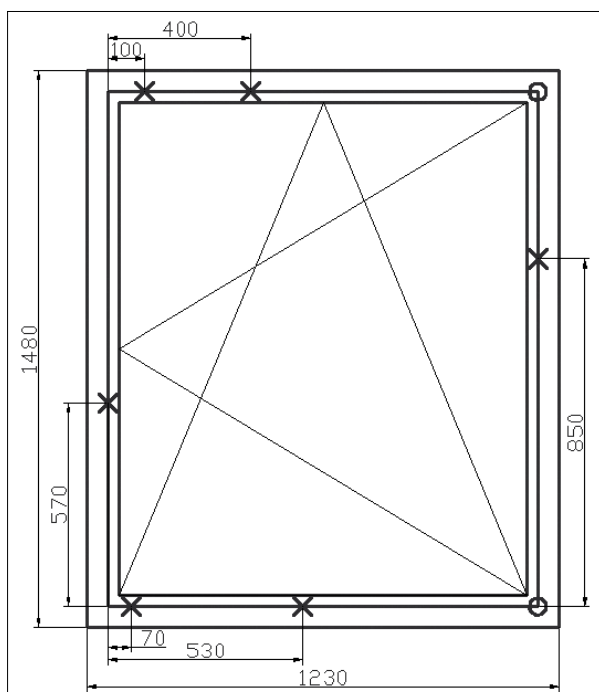
A vizsgálatokhoz egy 1230x1480 mm befoglaló méretű, bukó-nyíló vasalattal szerelt, lucfenyő (*Picea abies*) fafajból készült egyszárnyú, 3 rétegű, hőszigetelt üvegezéssel rendelkező ablakot választottunk, IV 78 Eurofalzos profilalakítású szárnyal. A próbatetet Sigienia-Aubi Titan vasalatrendszerrel szerelték, amely 6 helyen biztosított záródást. A zárfogadók pontos pozícióját az 1. ábra mutatja. Az ablakszárnyban kettő darab EPDM gumitömítés biztosította a rugalmas ütközést. A 78 mm-es profilvastagságnak és a háromrétegű üvegezésnek köszönhetően a vizsgált ablak hőátbocsátási tényezője $1,10 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ volt.

A légzárási vizsgálatok elvégzéséhez Holten VHEPC ablakvizsgáló berendezést használtunk, amelyhez egy levegő előkészítő egység is tartozott, ami képes 2 m^3 vizsgáló levegőnek a hőmérsékletét

-40 °C és +50 °C között temperálni. A kalibrált berendezés az ÉMI Nonprofit Kft. Épületfizikai Szakági Laboratóriumában található. A vizsgálatokat az MSZ EN 1026:2002 vizsgálati szabvány alapján végeztük. Méréseink során a szabványos módszertől csak a vizsgálati hőmérséklet megváltoztatásával és a negatív nyomásfokozatokon mért légáteresztés-vizsgálat elhagyásával térünk el.

A mérésorozat első lépéseként az ablakon vasalatállítást és a gumitömítés épségének ellenőrzését hajtottunk végre, majd 23 °C-on és 62%-os relatív légnedvességgel háromszori ismétléssel légzárási vizsgálatot végeztünk. Ezután következett az ablak vizsgálókamra felőli oldalának felfűtése 45 °C-ra. A kamra felfűtéséhez meleg levegőt használtunk, amelyet a vizsgáló berendezéshez kiépített 1 m³-es levegő előkészítő berendezésben állítottunk elő. Mivel a berendezés a környezetből beszívott 23 °C-os és 62%-os relatív nedvességtartalmú levegőt melegítette fel, ezért a levegő relatív páratartalma – a Moliere-féle h-x diagram szerint – 23%-ra csökkent, míg hűtés során a levegő telítetté vált.

Amikor a kamra elérte a beállított hőmérsékletet, akkor háromszori ismétléssel megmértük az ablak légzárását, majd a hőmérsékletet fenntartva további két mérést végeztünk szintén három ismétléssel 1 órás időközönként. A méréseket követően a próbatestet 18 órán keresztül pihentettük, ami alatt mind az ablak, mind pedig a vizsgáló berendezés lehűlt



1. ábra Zárófogadók helyzete az ablak tokjában

Figure 1 Fastening hardware positions in the window frame

23 °C-ra. Az alacsony hőmérsékleten történő mérések előtt történt egy újabb 23 °C-os légáteresztés vizsgálat, ami után megkezdődött az ablak kamra felőli oldalának -10 °C-ra történő hűtése. A beállított hőmérséklet elérésekor háromszori légzárási mérés következett, majd ezt követte az ablak továbbhűtése -20 °C-ig és háromszori légáteresztés mérés. A torlónyomás hatására kialakuló tok-szárny közötti rések okozta filtráció helyének meghatározására, a több lehetséges megoldás közül, a hőkamerás felvételt választottuk, kihasználva az ablak két oldalán jelentkező hőmérséklet különbséget. A fényképek elkészítéséhez egy VarioCam HR típusú hőkamerát alkalmaztunk.

Eredmények és értékelés

A légzárási vizsgálatok során mért légáteresztési értékeket a [2] összefüggést felhasználva átszámítottuk tömegáramra, biztosítva a különböző hőmérsékleten mért áteresztett levegőmennyiségek összehasonlíthatóságát. A 2. számú ábrán a különböző kamrahőmérsékleteken mért légáteresztési értékeket ábrázoltuk a vizsgálati nyomás függvényében. Látható, hogy a hőmérséklet csökkenésével a légáteresztési értékek növekedtek.

Ebből az következik, hogy az ablak légáteresztési értékei és a vizsgálati nyomás, valamint a környezeti hőmérséklet közötti kapcsolatot csak egy két-paraméteres függvénnyel tudjuk a legjobban közelíteni. Az ablak résein keresztül kialakuló filtrációs tömegáramot a hőmérséklet és a vizsgálati nyomás függvényében a 3. ábra szemlélteti.

A 3. ábrán látható mérési pontokra illesztett felület egyenlete megadja a tömegáram, a nyomás és a hőmérséklet közti függvénykapcsolatot:

$$f(x, y) = 0,2831 + 0,0187x + 0,0239y + 0,0007x^2 - 0,0003xy + (1,164 \cdot 10^{-5})y^2 \quad [4]$$

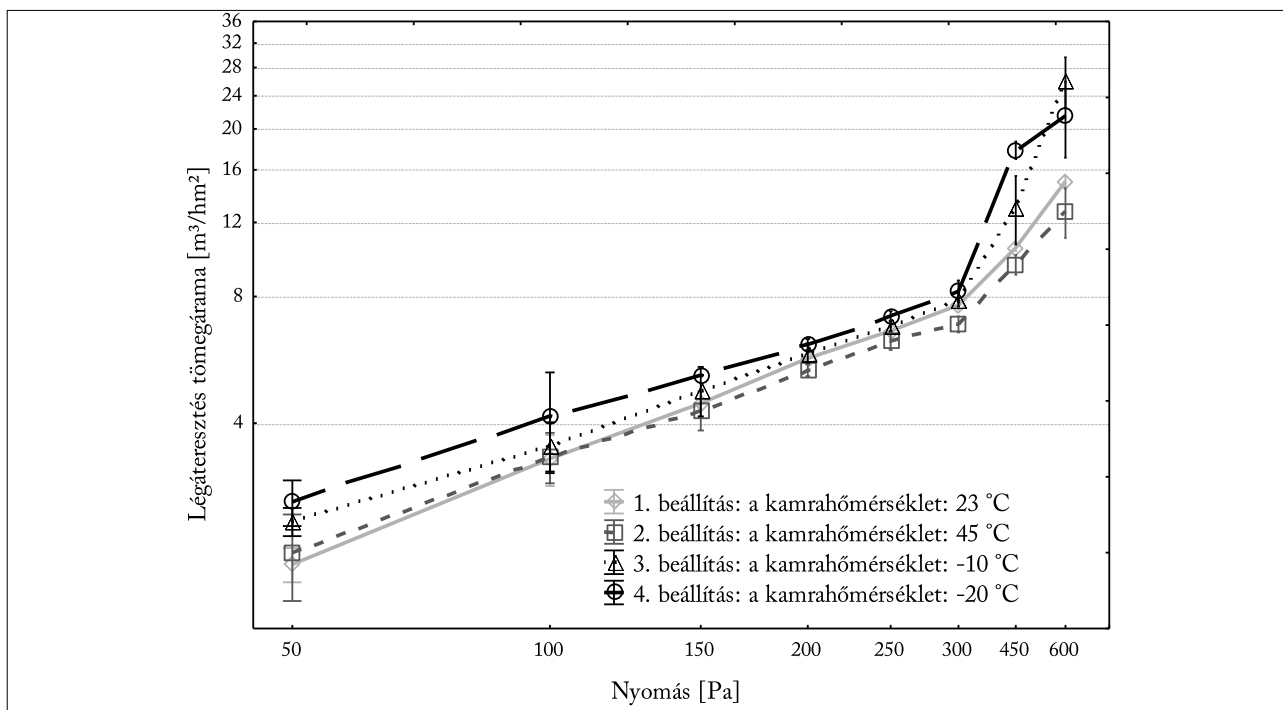
Az 1. táblázat az ablakon átáramló levegő tömegértékének variancia-analízis eredményeit mutatja.

Látható, hogy mindkét faktor F-értéke magas, ami azt jelenti, hogy mind a nyomás, mind pedig a hőmérséklet hatása az ablak légzárására 95%-os megbízhatósági szinten szignifikáns. A Tukey-teszt eredményei azt mutatják, hogy a hőmérsékletnek – mint jellemző környezeti tényezőnek – csak alacsony hőmérsékleti értékeken van jelentős hatása a vizsgált szerkezeti kialakítású ablakok légzárására (2. táblázat).

A jelenség egyik lehetséges magyarázata az, hogy a hőmérséklet emelkedésével a szárnyban található gumitömítés is felmelegedett, aminek hatására annak rugalmassága javult és képes volt kompenzálni

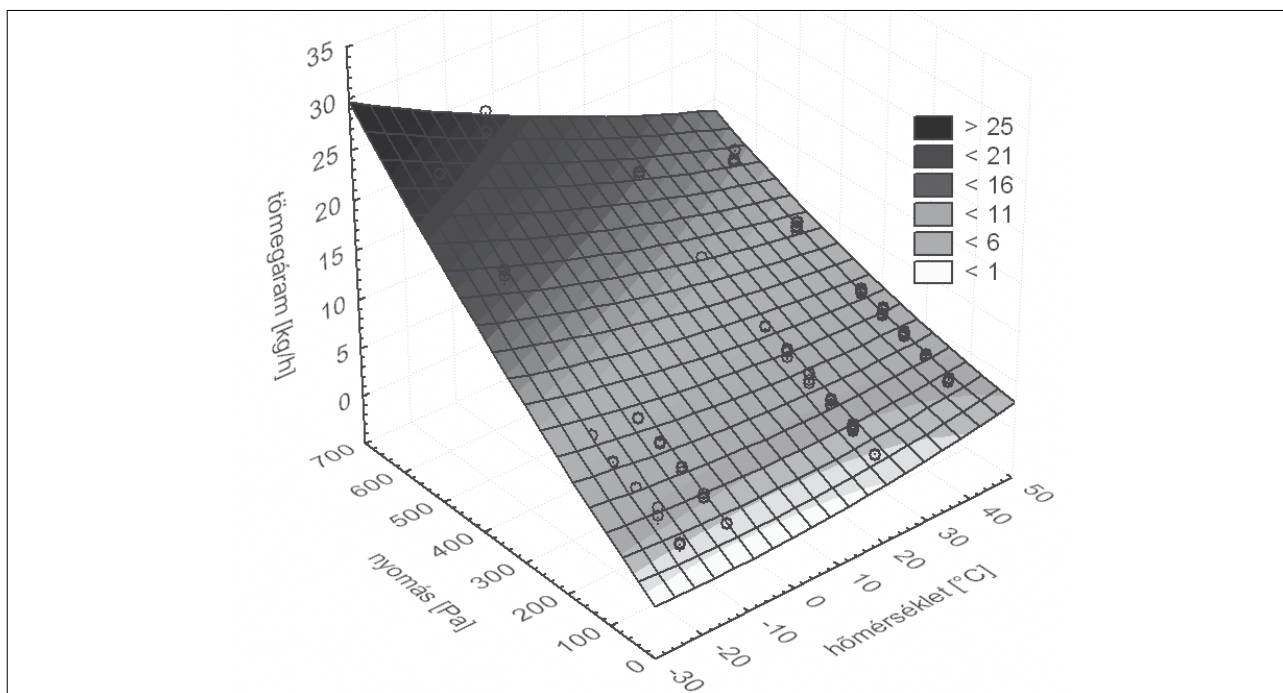
a felmelegedett tok merevségvesztéséből bekövetkező, a felületi torlónyomás hatására kialakuló deformációt. A 45 °C-on mért kedvező légzárasi teljesítményhez még az is hozzájárulhatott, hogy a fa alkatrészek a hőmérséklet emelkedésével változtatták keresztmetszeti méretüket. A filtráció helyének meghatározása érdekében készített hőkamerás fel-

vételeken jól látható, hogy a nyomás növekedésével egyre hosszabb szakaszokon jelenik meg légszivárgást jelző lehűlt, vagy éppen felmelegedett terület a tok és a szárny találkozása mentén (4-5. ábra). Mind melegítés, mind pedig hűtés hatására a szivárgás először az ablak felső vízszintes tok-szárny kapcsolatánál jelentkezett, majd a nyomás emel-



2. ábra A mért légáteresztési értékekből átszámított tömegáram a hőmérséklet függvényében

Figure 2 Mass flow calculated from the measured air leakage values depending on the temperature



3. ábra Az ablakon átáramló levegő tömegárama a nyomás és a hőmérséklet függvényében

Figure 3 Mass flow through the window depending on the pressure and the temperature

kedésével folyamatosan terjedt a sarkok felé, majd megjelent a függőleges csatlakozásoknál is. Melegítés hatására kevésbé jelentkezett a pánt felőli oldalsó sarkában megjelenő szivárgás, azonban $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on már jól látható a légáteresztést helyét jelző elszíneződés. A képeken megfigyelhető, hogy a pánt felőli oldalon elhelyezett záródási pont környékén nincs szivárgás, ami a megfelelő záródás szorosságára utal. A felső vízszintes tokon elhelyezett két záródási pont körül nem figyelhető meg semmilyen színbeli elváltozás, ami azt jelenti, hogy nem töltötték be funkciójukat és a torlónyomás hatására a szárny elmozdult. Az egyik legintenzívebb elszíneződés az ablak jobb felső sarkától balra, a vízszintes szakaszon jelentkezett ott, ahol a bukó-nyíló vasalat ollókarja is található. A másik kritikus pont pedig az alsó sarokcsapágnál található. Az ablak kerülete mentén jelentkező légszivárgás helye és intenzitása jól összevethető az irodalomban megtalálható hasonló kialakítású ablakon műszeres méréssel meghatározott légszivárgási adatokkal (Kovács 1989).

Összefoglalás és következtetések

Az ablakok légzárási teljesítményét befolyásoló környezeti tényezők közül a hőmérséklet hatását vizsgáltuk meg, két hőmérsékleti érték, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ között. A környezeti hőmérséklet változásával az ablak szerkezeti elemeinek méretei az ere-

1. táblázat Az ablakon átáramló levegő tömegértékének variancia-analízis eredményei

Table 1 Variance analysis results of the air mass value flowing through the window

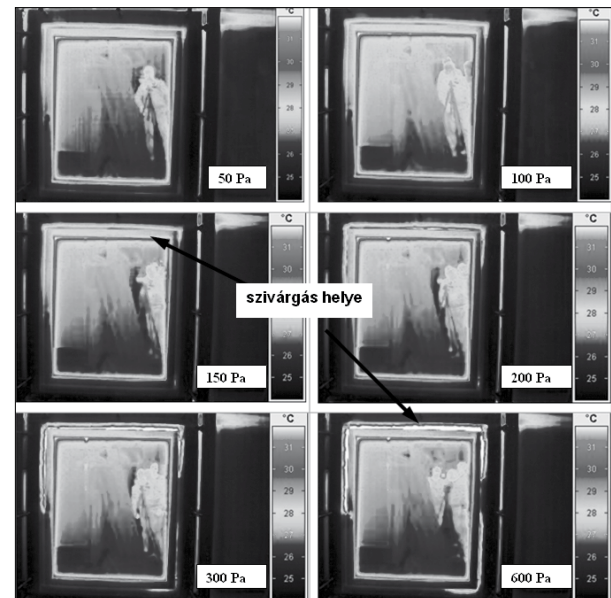
Forrás	df	SS	MS	F	p
nyomás	7	2996,49	428,07	120,71	<0,001
hőmérséklet	3	270,74	90,24	25,45	<0,001
teljes	1	7779,01	7779,01	2193,65	<0,001
maradék	157	556,74	3,54		
Összesen	168	11603	8300,875		

2. táblázat A hőmérséklet faktorhatásának kimutatására elvégzett Tukey teszt eredményei

Table 2 Results of the Turkey's test to demonstrate the factor effect of the temperature

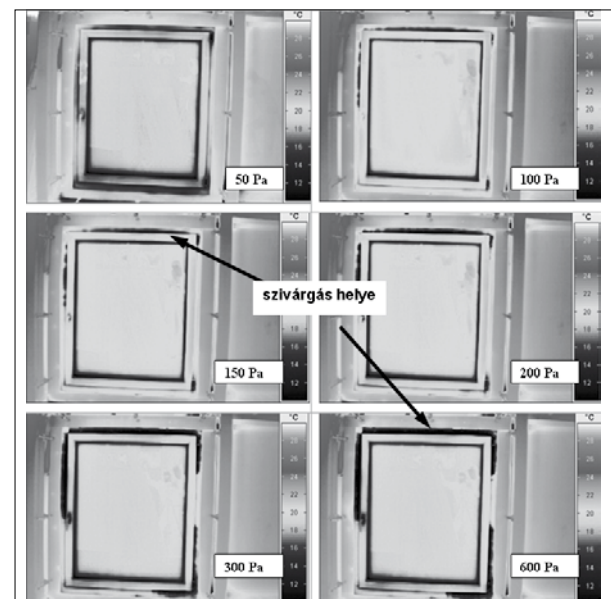
hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]	"p" valószínűségi változó értékei			
	-20	-10	23	45
-20	-	0,93488	0,00001	0,00001
-10	0,93488	-	0,00001	0,00001
23	0,00001	0,00001	-	0,68943
45	0,00001	0,00001	0,68943	-

deti dimenziójukhoz képest megváltoznak (dilatál), valamint változik a merevségük is, ezért ennek az összetett jelenségnek köszönhetően a valóságban beépített, különböző hőmérsékleti hatásoknak kitett ablakok légáteresztési teljesítménye nem egyezik meg a szabványos módszerrel meghatározott légáteresztési értékekkel. A vizsgált ablak légáteresztési értékei és a vizsgálati nyomás, valamint az ablak hőmérséklete közötti kapcsolat csak egy kétparaméteres függvény-



4. ábra Az ablak hőkamerás felvételei $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os kamrahőmérsékleten

Figure 4 Heat camera images at a chamber temperature of $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$



5. ábra Az ablak hőkamerás felvételei $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os kamrahőmérsékleten

Figure 5 Heat camera images at a chamber temperature of $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$



nyel írható le, ami azt bizonyítja, hogy az ablak szerkezetében a hőmérséklet hatására változások mennek végbe. A vizsgált ablakon feltárt kritikus szivárgási helyek megegyeznek a szakirodalomban közölt, műszeres méréssel megállapított szivárgási helyekkel, ezért megállapítható, hogy a hőkamerával készített felvételek jól alkalmazhatók a szobahőmérséklettől eltérő kamrahőmérsékleten történő légzárásvizsgálat közbeni szivárgási rések feltérképezésére.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az intelligens termékek, regionális stratégiája c. TAMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0006 V. alprojekt keretében valósult meg.

Irodalomjegyzék

- Bodig, J., Jayne; A. B. (1982) *Mechanics of Wood and Wood Composites*. Van Nostrand Reinhold Publishing, New York, N.Y. 572. old.
- Bánhidi L., Kajtár L. (2000) *Komfortelmélet*. Műegyetemi Kiadó, Budapest 187-202. old.
- Hessinger J. (2010) User comfort through sound insulation and adequate air quality. *International Rosenheim Window & Facade Conference* (2010) Rosenheim 7–8 October 2010, Germany
- Kovács Zs. (1989) *Ablakok és ajtók műszaki jellemzőkre való tervezése*. Oktatási segédlet, Sopron. 12-14. old.
- Kovács Zs. (2002) *Ajtók, ablakok épületfizikai és szilárdsági jellemzői*. In: Molnárné Posch P. szerk. *Faipari Kézikönyv II. Faipari Tudományos Alapítvány*, Sopron. 271-290. old.
- Magyar T. (2007) *A helyiség-átöblítés szerepe a légtechnika energiatudatos tervezésében*. *Magyar Épületgépészet, LVI. Évfolyam*, 2007/5 7-11. old
- Molnár S. (1999) *Faanyagismeret. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest*. 241. old.
- MSZ EN 1026:2001; *Ablakok és ajtók. Légzáróság. Vizsgálási módszer*.
- MSZ EN 12207:2001; *Ajtók és ablakok. Légáteresztés. Osztályba sorolás*.
- MSZ CR 1752:2000; *Épületek szellőztetése. Épületek belső környezetének tervezési alapjai*.

Néhány hazai fafaj kérgének hőszigetelő képessége*

RONYECZ Ildikó¹, MOHÁCSI Kristóf¹, PÁSZTORY Zoltán¹

¹ NymE FMK Innovációs Központ

Kivonat

Manapság egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek a különböző szigetelőanyagok tulajdonságainak javítására. Emellett számos tanulmány és vizsgálat igazolja, hogy a fa építési felhasználása kevesebb szén-dioxid kibocsátással jár, alacsonyabb energiafelhasználású, újrahasznosítható és ezáltal sokkal környezetkímélőbb, mint egyéb, általánosan elterjedt építőanyagoké.

Kutatásainkban arra kerestük a választ, hogy a különböző lombos illetve tűlevelű fafajok aprított kérgé mennyire állja meg a helyét a szigetelőanyagok körében. A következő öt fafaj kérgét vizsgáltuk meg: fehér akác (*Robinia pseudoacacia*), Pannónia nyár (*Populus euramericana cv. Pannónia*), vörösfenyő (*Larix decidua*), lucfenyő (*Picea abies*) és erdeifenyő (*Pinus silvestris*). A vizsgálatot nedves állapotban és az összehasonlíthatóság miatt 12%-os nedvességtartalmon is elvégeztük. Az eredmények arra utalnak, hogy a fafaj mellett a nedvességtartalom is döntő mértékben befolyásolja az apríték hőszigetelő képességét. A kapott eredményeink egyértelműen igazolják, hogy néhány fafaj kérgéből készített aprítéknak létjogosultsága van a szigetelőanyagok között. A legtöbb hagyományos szigetelőanyaggal szemben a kéreg

*A kutatás a Talentum – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2010-0018 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

This research - as a part of the Development of Student Talent Fostering at WHU, TAMOP 4.2.2. B-10/1-2010-0018 project - was sponsored by the EU/European Social Foundation. The financial support is gratefully acknowledged.

szén-dioxid mérlege lényegesen jobb, megújítható forrásból táplálkozik, az életciklusa végén pedig újrahasznosítható, ráadásul az erdészet és a faipar „mellékterméke”.

Kulcsszavak: kéreg, hőszigetelő képesség

Thermal insulation capacity of several domestic wood species

Abstract

Nowadays it is emphasized the importance of improving insulation property of different insulation materials. Next to this several investigations proved that using wood as building material results less CO₂ emission, needs less energy consumption, reusable and thus it is more environment friendly than other building materials.

In the present research investigated the heat insulation capacity of different chipped coniferous and broadleaves wood barks. Five bark species was measured such as black locust (*Robinia pseudoacacia*), pannónia poplar (*Populus euramericana* cv. *Pannónia*), larch (*Larix decidua*), spruce (*Picea abies*) and scots pine (*Pinus silvestris*). The measurements were done in wet condition and in also 12% water content for comparability. According to the results some of wood barks have the possible consumption as heat insulation material, were proved by the investigation.

The CO₂ balance of wood bark is excellent facing other generally used insulation materials. The bark is mainly “byproduct” of wood industry and the bark insulation can be reuse on the end of life cycle.

Key words: bark, thermal insulation

Bevezetés

A ffeldolgozás az egyik leginkább környezetkímélő iparág. Az alapanyag a természet jóvoltából alacsony energiabefektetéssel és a környezet károsítása nélkül terem az erdőben. A termék alakítás folyamata is csekély mennyiségű energiafelhasználást igényel a fémekhez, műanyagokhoz vagy akár a szilikát bázisú anyagokhoz képest. Az élő fa – biológiai és mechanikai szempontból is – fontos része a külső, védő szövete, a kéreg. A kéreg választja el a fatestet a környezettől és védelmezi a víz, hőmérséklet, napsütés, valamint a biológiai károsítókkal szemben. Ismert (Molnár et al. 2007), hogy a kéreg (*cortex*) két fő részre bontható: háncsra (*floem*) vagyis belső kéregre és héjkéregre (*ritidoma*). A háncs fontos élettani funkciókat tölt be, mivel a koronából szállítja az asszimilátumokat a fatest felé. Kimondottan rostos szerkezetű, de az egyes fafajok között igen jelentősek a különbségek. A teljes kérgen belül vastagsági aránya 10–30%. Hőszigetelés szempontjából döntő szerepe van a külső héjkéregnek, amely jelentős mennyiségben tartalmaz parasejteket (*fellom*). Egyes kéregtípusok rostokban gazdagok (pl. akác, nyár, tölgyek), mások rostszegények (pl. erdei fenyő, vörös- és lucfenyő, platán) (Lotova 1987). A kéreg szerkezete a korrallal változik.

A hazai erdőben kitermelt faanyagról eltávolított kéreg mennyisége évente országosan eléri az 500–600 ezer köbmétert, ami összességében óriási mennyiséget képvisel, amely folyamatosan oszlik el az elsődleges ffeldolgozás folyamatában (Molnár 2004). A kéreg a ffeldolgozás során a legtöbb esetben – jellegéből fakadóan – melléktermék szerepbe szorul. Fő felhasználási területei az energia-termelésre és bizonyos fafajok esetében a talajtakarásra korlátozódnak. Számos reményteljes kísérlet folyt hazai és nemzetközi viszonylatban az elmúlt évtizedekben, amelyek hasznos felhasználási területet kerestek a kéreg számára. A kutatások közül kiemeljük Winkler András munkáját (Winkler 1978), aki különböző tulajdonságú és rendeltetésű lemezeket állított elő kísérletei során.

Mivel a kéreg nem rendelkezik megfelelően nagy dimenziókkal és szilárdsággal, a felhasználása főként darabos apríték vagy őrlemény formájában kínálkozik. Ilyen formában való felhasználása azonban nem egyszerű feladat. Napjainkban a kéreg fő felhasználási területe a talajtakarás (CMGP, 2009), de kémiai összetétele miatt több hazai fafaj nem alkalmas e célra. Napjaink egyik fő problémája az energia szűkössége. Ezért kézenfekvő megoldás lehet a kéreg energiatermelésre való felhasználása, ezáltal a fa hosz-

szű növekedési ideje alatt megkötött szén-dioxid gyorsan visszakerül a légkörbe, ráadásul a magas nedvességtartalma miatt a kinyerhető hőenergia is csekély lehet (Harkin és Rowe 1971).

Jelen kutatómunkában a kéreg speciális felhasználási lehetőségeit kerestük olyan területen, ahol az elégetésnél lényegesen nagyobb energia és szén-dioxid megtakarítási egyenleget érhetünk el.

Vizsgálatainkban arra kerestük a választ, hogy a különböző faanyagok aprított kérgei milyen hőszigetelési tulajdonságokat mutatnak egymáshoz és a szokványosan alkalmazott szigetelőanyagokhoz képest, valamint mi a nedvességtartalom befolyása a hővezetési tényezőre.

Anyagok és módszerek

Az anyag kiválasztása

Vizsgálatunkhoz az erdészeti és faipari gyakorlatban leginkább kérgezésre kerülő fajokot választottuk, a lombos fajok közül a fehér akácot (*Robinia pseudoacacia*) és a nyárfát (*Populus euramericana* cv. *Pannónia*). Döntésünket nagyban befolyásolta az is, hogy a magyarországi lombos fák közül az akác és a nyár a legnagyobb mennyiségben kitermelt fajok között szerepel (1. táblázat). A hazai erdőtelepítésekben kiemelkedő e két lombos faj jelenléte. Mindkettő különösen nagy kéreghányadú (a törzsátmérőhöz viszonyítva 12–28%), a kérjükben azonban nagy a rostok aránya és sok a járulékos ún. inkrusztáló anyag, ami miatt nem alkalmasak talajtakarásra. Ezért szeretnénk előnyös, környezetbarát alternatívát kidolgozni hasznosításukra. A nyárfa héjkérge mélyen repedezett, míg az akácé vastag, hálózatosan repedezett kéreg. Mindkettő síkvidéki faj, de a dombvidékeinken is megtalálhatóak, ültetvényekben egyetlenül telepítik őket.

A fenyőfélék közül a vörösfenyőt (*Larix decidua*), a lucfenyőt (*Picea abies*) és az erdei fenyőt (*Pinus silvestris*) választottuk kísérleteinkhez. Az erdei fenyőnek és a lucfenyőnek pikkelyekben leváló héjkérge van, a vörösfenyő kéregcserepei szélesek, vastag kérű fajok, melyek a Nyugat-Dunántúlon váltak elterjedtté (Börscsök 2010). Az erdei fenyő a legkeresettebb talajtakaró a kertészetekben, de utánaprítással a lucfenyő kérget is felhasználják ezen célra. A téli időszakban azonban nincs talajtakarási igény és így jelentős fenyőkérgekészletek keletkezhetnek (pl. Erdért Tuzsér).

Az 1. táblázatban a magyarországi erdők fajcsoport megoszlása, illetve a Magyarországon 2007-ben kitermelt fajok mennyisége látható.

A kéreg előkészítése a kísérletekhez

Tömegállandósági vizsgálattal meghatároztuk a minták nedvességtartalmát az alábbi képlet alapján:

$$u = \frac{m_u - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad [1]$$

ahol: u - nettó nedvességtartalom (%)
 m_u - nedves tömeg (g)
 m_0 - abszolút száraz tömeg (g)

Következő lépésben egy POSCH CHIPWORKER 150 típusú késes erdészeti daráló segítségével a kérgeket leaprítottuk. Mivel a daráláshoz ugyanazon berendezést használtuk az összes fafajnál, így a héjkéreg szemcsemérete csekély eltéréstől eltekintve azonos, melyet a 2. táblázat foglal össze. A lombos fafajoknál a hánccs (*floem*) nagyobb részaránya és eltérő anyagszerkezete miatt akár 100 mm-es szálak is megjelentek a darálékban, tehát a lombos és a fenyő kéregapríték struktúrája eltérő lett. Meg kell említeni a különböző fafajokhoz tartozó kéregaprítékok eltérő dimenzióját.

- A magas hánccsstartalom miatt az aprításkor a fenyőkérgekkel szemben az akác és a nyár hánccs teste nem korongszerű alakzatra tört, hanem szálás szerkezetű lett, mely a fafajonként különböző mennyiségű hánccsstartalomnak tudható be. A szálak pedig térhálósító szerepet töltenek be az aprítékban. A kéregelemek között további légrétegeket alakítanak ki, csökkentve a kéregdarabok egymáson felülő felületeit. A szálás szigetelőanyagokhoz – mint az ásvány és üveggyapot – hasonlóan a szálak levegőrétegeket zárnak maguk közé, és ezzel javítják a rendszer levegőkitöltési arányát.
- A vizsgált fafajoknál alapvető különbség, hogy a nyitvatermők csoportjába tartozó fenyőfélék hánccs testében rostasejtek vannak, míg a zárva-termők közé sorolható lombos fáknál rostacsövek, ami több sejt fúziójából alakul ki, tehát a kérge sokkal porózusabb szerkezetű, következésképpen sűrűsége alacsonyabb.
- A szilárdító elemek szempontjából a hánccs szerkezet szerint az erdei fenyő csak pótló hánccsrostokkal rendelkezik, a luc- és vörösfenyő pedig csak kősejtekkel. A vizsgált két lombos faj kősejtekkel és hánccsrostokkal egyaránt rendelkezik.

A kísérlet leírása

A hőszigetelési tulajdonságok vizsgálatához hővezetési tényező mérő berendezést alkalmaztunk, mely laboratóriumi mérésekre készített, szigetelő és

1. táblázat Magyarországi erdők fafajcsoport megoszlása és a Magyarországon kitermelt fafajmennyiség (bruttó) (Molnár, Fahasznosítás, 2008; MTA: Erdőgazdálkodás és fahasznosítás: jelen-jövő, 2009, Budapest)

Table 1 Distribution of wood species in the Hungarian forests and the gross amount of wood yield in Hungary (source: Molnár, Fahasznosítás, 2008; MTA: Erdőgazdálkodás és fahasznosítás: jelen-jövő, 2009, Budapest)

Fafaj	1000 m ³	%	1000 ha	%	Kéreghányad %*
Tölgy	1089	16,6	380,6	21,9	15
Akác	1206	18,2	385,0	22,2	20
Nyár	1076	16,2	165,1	9,5	15
Cser	832	12,6	198,1	11,4	16
Bükk	649	9,8	109,5	6,3	5
Gyertyán	309	4,7	104,3	6,0	8
Egyéb lombos	509	7,7	168,5	9,7	-
Fenyő	938	14,2	226,7	13,0	10
Összesen	6609	100	1737,8	100,0	-

*A kéreghányadot vastag véghasználati faanyagra vettük figyelembe (Schopp 1974)

egyéb anyagok hővezetési tényezőjének meghatározására alkalmas.

A mérőműszer számítógépes vezérlésű. A műszer megfelelő működését, beállításait és az adatok feldolgozását a számítógépre telepített program biztosítja. A próbatesten keresztül folyó hőáramot hőmérsékletkülönbség hozza létre. Az adott hőmérsékletkülönbség hatására fellépő hőáram függ az anyag hővezetési tényezőjétől (λ) és az anyag vastagságától, valamint a hőmérsékletkülönbségtől. A mennyiségek közötti összefüggést a következő egyenlet adja meg:

$$Q = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{d} \quad [2]$$

ahol: Q - hőáram (W)

λ - hővezetési tényező (W/mK)

A - próbatest felülete (m²)

ΔT - hőmérsékletkülönbség a próbatest két oldalán (K)

d - próbatest vastagsága (m)

A mérés során a hőáramok iránya miatt a próbatest vastagsági méreteihez képest nagy szélességi

2. táblázat A szemcseméret alakulása az aprítékban háncselemek nélkül

Table 2 Particle size in the wood chips without phloem

	Szemcseméret [mm]
Vastagság	1–26
Szélesség	1–27
Hosszúság	1–48

méreteket választottunk és ezen felül az oldalirányú hőáramokat az oldal mentén elhelyezett szigetelésel csökkentettük.

A vizsgálatokat 500x500 mm keresztmetszetű, 50 mm magasságú mintákon végeztük. A vizsgált kéregaprítékok tömegét nem vettük figyelembe, mivel az eltérő sűrűségük miatt nem mérvadó, a mérést az adott térfogat kitöltése alapján végeztük.

A mérés a stacionárius állapot elérése után indult, melyet követve percenként végeztük a méréseket, majd 100 mérést átlagolva kaptuk meg az eredményeket.

Eredmények

A különböző fafajok kéregmintáinak hővezetési tényezőjét az induló nedvességtartalommal, majd 12%-os nedvességtartalomra szárítva határoztuk meg.

A kapott eredményeket a következő, 3. táblázat tartalmazza. A kéregminták hővezetési tényező értékeit mutatja be az 1. ábra.

Következtetések

A vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy mind az egyes fafajok kérgéből készült aprítékok, mind pedig az adott fafaj kérgének különböző nedvességtartalomnál mért hővezetési tényezője között jelentős eltérések tapasztalhatók.

A méréseink egyértelműen alátámasztják a nedvességtartalom szerepét a kéregaprítékok hőszigetelő képességében. A víz magas fajhője és jó hővezető képessége révén a rendszer hővezetési értékeit kedvezőtlen irányba befolyásolta. Részben kitölti a sejtüregeket és a sejtfallal is jobb „hőkontaktust” biztosít, másrészt maga a vízgőz magas faj- és látens hője révén nagy hőmennyiség szállítására képes.

Az eredmény jelentősnek tekinthető, ha figyelembe vesszük a következő tényeket:

- A kéreg szigetelőanyag előállításához az üveg és a közet olvasztásával szemben elenyészően csekély energiát használtunk fel az aprításra és a szárításra. Tehát a fajlagos szigetelő hatásra vetített szén-dioxid mérleg is feltehetően jobb, mint más szigetelőanyagoké. Pontos meghatározása további vizsgálatokat igényel (Nyári 2009).
- Az általunk készített „szigetelőanyag” megújítható forrásból táplálkozik, ráadásul az erdőgazdálkodás és a faipar melléktermékéről van szó.
- A kéregszigetelés az életciklusa végén környezetkárosítás nélkül újrahasznosítható, energetikai vagy más célra. A szigetelőanyagként „eltöltött ideje alatt” a kéregben akkumulálódott szén-dioxid nem a légkört terhelte, hanem kötött formában já-

rult hozzá ahhoz, hogy tovább csökkentsük a légkörbe juttatott üvegházhatású gáz mennyiségét.

- A kéreg nagyobb mértékben tartalmaz védő szerepet betöltő anyagokat (csersav, szuberin stb), mint a faanyag, hiszen a természetben is a kéregnek van védő szerepe a biotikus károsítókkal szemben, így a kéreg hordozva ezen anyagokat kevésbé szorul vegyszeres védelemre, mint a fa.

Összességében az is megállapítható, hogy a kéregaprítékok hőszigetelő képessége lényegesen jobb, mint ugyanazon fafajok hőszigetelő képessége (Szatmári 2010). A magyarázat egyértelműen a sejtszerkezetre és az aprítás hatására kialakult közbezárt levegőre vezethető vissza. A kéreg sejtszerkezete „lazább”, mint a tömör fa szövetei. Egy anyag hővezető képessége szoros összefüggésben van annak sűrűségével. Esetünkben a szakirodalomban (Molnár 2004) található sűrűségadatok is mutatják a fatest és a kéregtest közötti sűrűségkülönbségeket.

3. táblázat A vizsgált kéreg hővezetési tényezője különböző nedvességtartalomnál

Table 3 Thermal conduction conductivity of the investigated bark for different moisture content

	Nedvességtartalom (%)	Hővezetési tényező (λ) [W/mK]
fehér akác	14,3	0,0652
	12,0	0,0613
nyár	40,2	0,1127
	12,0	0,0649
erdei fenyő	35,9	0,1041
	12,0	0,0667
lucfenyő	22,8	0,0883
	12,0	0,0765
vörösfenyő	24,2	0,0842
	12,0	0,0662

Mérési eredményünk alátámasztja a sűrűség rendkívül fontos szerepét a hővezető képességben.

Az aprított kéregelemek geometriájuknál fogva pontszerűen és élek mentén ülnek fel egymáson. A köztük lévő szabad teret levegő tölti ki. Köztudott, hogy az általánosan használt szigetelőanyagok is a levegő kedvező hőszigetelő képességét használják ki az által, hogy a levegőt kis térrészekre választják szét és megakadályozzák (vagy jelentősen nehezítik) szabad áramlását. A nyugvó levegő pedig 0,025 W/mK-es szigetelő képességével előnyösen járul hozzá a rendszer hővezető képességéhez.

Eredményeink rávilágítanak arra, hogy a témának mind tudományos, mind gyakorlati szempontból jelentős szerepe van.

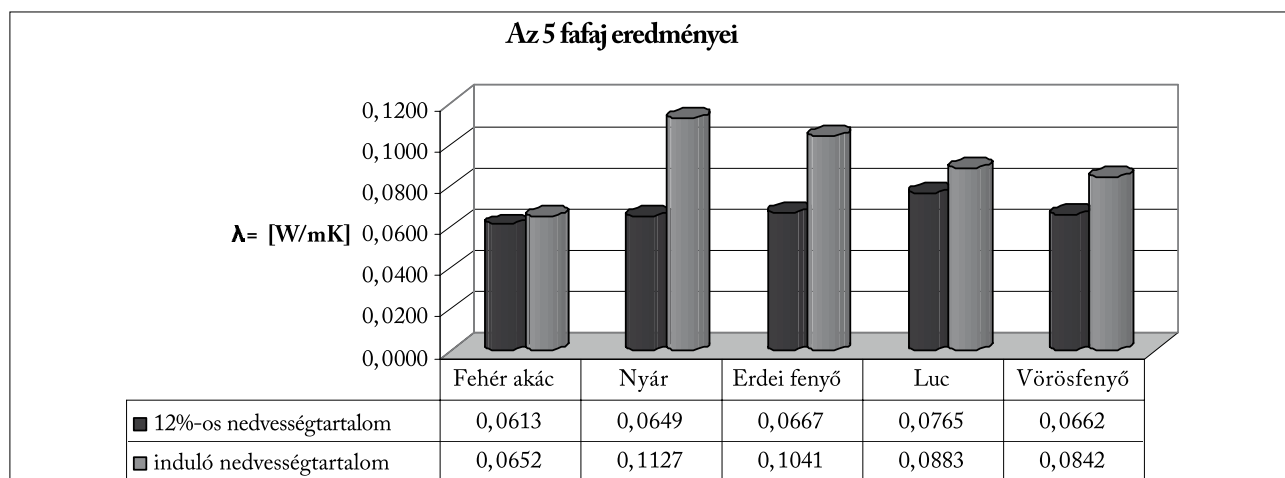
Tudományos szempontból a kéreg ilyen irányú felhasználása számos részlet feltárását igényli, a feltárt összefüggések, technológiai megoldások, esetleg modifikációs eljárások nyithatják meg a kaput egy várhatóan nagyon jó ökomérleggel rendelkező termék fejlesztésének irányába.

További kutatásokra van szükség a téma mélyebb kidolgozásához, az optimális szigetelő képesség eléréséhez. Ehhez a fafaji sajátosságok, a faanyagvédelem, a nedvességtartalom és az összenyomás mértékének figyelembe vétele egyaránt szükséges.

Irodalomjegyzék

Börcsök Z. (2010) Erdő- és fagazdálkodás, elektronikus oktatási segédlet, Sopron

Whiting D., Wilson C., Moravec C., Reeder J. (2009) Mulching with Wood/Bark Chips, Grass Clippings, and Rock, Colorado Master Gardeners Program, Colorado State University Extension, Colorado



1. ábra A vizsgálatba bevont 5 fafaj kéregmintáinak hővezetési tényező értéke

Figure 1 Thermal conductivity value of the bark samples of the 5 investigated wood species



- Harkin J. M., Rowe J. W. (1971) Bark and its possible uses, Forest Service U. S., Madison
- Lotova (1987) Anatomia kory hvojn, Lesznaja promislennost, Moszkva
- Molnár S. (2004) Faanyagismeret, Szaktudás Kiadó, Budapest
- Molnár S. (2008) Magyarországi erdők fafajcsoport megoszlása, Fahasznosítás Magyarországon, NymE-kiadvány, Sopron
- Molnár S., Peszlen I., Paukó A. (2007) Faanatómia, Szaktudás Kiadó, Budapest
- MTA (2009) Erdőgazdálkodás és fahasznosítás: jelen-jövő, MTA-kiadvány, Budapest
- Nyári E. (2009) Útmutató az elérhető legjobb technika meghatározásához az üveggyártás engedélyeztetése során, Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest
- Schopp L. (1976) Fatömegszámítási táblázatok, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- Szatmári Z. (2010) Hőhídmentes épületszerkezetek, III. MEPS konferencia, Budapest
- Winkler A. (1978) A fakéreg struktúrájának és megfelelő fizikai-mechanikai tulajdonságú fakéreglapok gyárthatóságának kapcsolata, kandidátusi disszertáció, Sopron
-

Az ergonómiai minőség tervezése *

HORVÁTH Péter György¹

¹ Nyme FMK Terméktervezési és Gyártástechnológiai Intézet

Kivonat

Az ergonómiai minőséget több, a tárgyat, berendezést használó személy által értékelt jellemző határozza meg. Ezek mindegyike a termék kialakításának több mérhető és/vagy minősítési jellemzőjétől (tervezési paraméterek), valamint esetleges nem tervezhető jellemzőitől és környezeti, használati tényezőktől (zajtényezők) függ. Ezért az ergonómiai minőség összetevőit olyan függő változóknak tekinthetjük, amelyek mindegyikét a független változók (mennyiségi és kategorikus változók) egy csoportja befolyásol, így vizsgálatukra a faktoros kísérlet módszere alkalmas. A következőkben annak vizsgálatát szeretném bemutatni, hogy az egyes műszaki paraméterek egymással, illetve a vevői igényekkel milyen kapcsolatban vannak. Vizsgálom az egyes műszaki jellemzők hatását, esetleges kölcsönhatását.

Kulcsszavak: ergonómia, terméktervezés, minőségirányítás, QFD, tervezett kísérlet

Design for ergonomic quality

Abstract

Ergonomic suitability has a number of components each of which is determined by a given set of product properties. Therefore, ergonomic quality can be satisfied by using complex methods of analysis. Such methods could be Quality Function Deployment (QFD). The adaptability of this methodology for ergonomic design of seats is confirmed as a result of our study. It further has been found that the components of ergonomic quality can be treated as dependent variables the level of which is determined by quantitative and categorical product-related independent variables. A model

*A kutatás a Talentum – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2010-0018 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

This research - as a part of the Development of Student Talent Fostering at WHU, TAMOP 4.2.2. B-10/1-2010-0018 project - was sponsored by the EU/European Social Foundation.

The financial support is gratefully acknowledged.

for evaluating and designing ergonomic quality on the basis of the method of design of experiments (DOE) is conceived as a complement to the QFD-based approach and is demonstrated for seats.

Key words: ergonomics, product design, quality management, QFD, DOE

Bevezetés

Gyakran felmerül a kérdés, hogy miként lehet egyszerűen értékelni egy termék ergonómiai helyességét. Milyen módszerek segítségével tudjuk már a tervezőasztalon a lehető legjobban kielégíteni a felhasználó ergonómiai igényeit. Mivel nem vagyunk egyformák, igényeink is eltérők, így nagyon nehéz erre válaszolni. Az irodalom többféle, főleg kérdőíves módszert ajánl, de nagy részük nem eléggé objektív, s az eredmények nehezen reprodukálhatóak. Munkámmal javaslatot szeretnék tenni egy olyan módszerre, mely az ergonómia lehetőségeit a matematikai statisztika eszközeivel egészíti ki.

Egy termék jellemzői mind az elvárások kifejezettsége, mind a jellemzők megvalósulási szintje által kiváltott vevői és társadalmi elégedettség szempontjából különböző kategóriákba sorolhatók. Ez az ergonómiai jellemzőkre is érvényes. A Kano modell szerint a termék jellemzőit három csoportba tudjuk sorolni. Az első csoportba azokat a terméktulajdonságokat sorolhatjuk, melyeket a felhasználó nem fogalmaz meg, mert azokat természetesnek vesz, s magasabb szintű kielégítése sem vált ki nagyobb elégedettséget. Általában a termék használatára vonatkozó biztonságossági tulajdonságokat tudjuk ebbe a kategóriába sorolni. A második kategóriába olyan jellemzőket sorolhatunk, melyek alapvetően nincsenek a termékbe „beleértve”. Meglétiük kellemes benyomást gyakorol a használóra. A harmadik csoportba azon tulajdonságokat sorolhatjuk, amelyeket a vevők nem csak elvárnak, hanem minél magasabb fokú kielégülésükön keresztül értékelik a terméket.

Az előbbi csoportosítás alapján láthatjuk, hogy mind a termékjellemezők, mind pedig azok szerepe igen összetett. Mindezek mellett azt is látnunk kell, hogy az egyes termékjellemezők megítélése az időben változik.

Alkalmazott módszer

Igényelemzés

A vevői igényekre épülő tervezésnek feltétele a vevői igények megismerése és az igényeknek a tervező szakmai, műszaki, ergonómiai nyelvére való lefordítása, újra fogalmazása. A cél a vevő által elvárt jellemzők teljesítése. Az elvárásoknak való pontos megfelelés azért lényeges, mert a gyengébb minőséget a vevő észleli, aminek gazdaságilag hátrányos

következményei várhatóak. A jelentősen jobb tulajdonságoknak viszont legtöbbször olyan többletköltségei vannak, melyek vagy a termék nyereségeségét, vagy az ár vevő általi elfogadhatóságát teszik kérdésessé. A kialakítandó kompromisszumnak összességében a vevő értékrendjét kell tükröznie. A QFD (Quality Function Deployment = minőségi funkciók felsorakoztatása/lebontása) módszere alkalmas arra, hogy a vevőktől a termékről megszerzett információkat, mint bemenő adatokat szolgáltatassa, amelyek a gazdasági és szakmai tervezés során hasznosíthatók (Koczor Z., 2000).

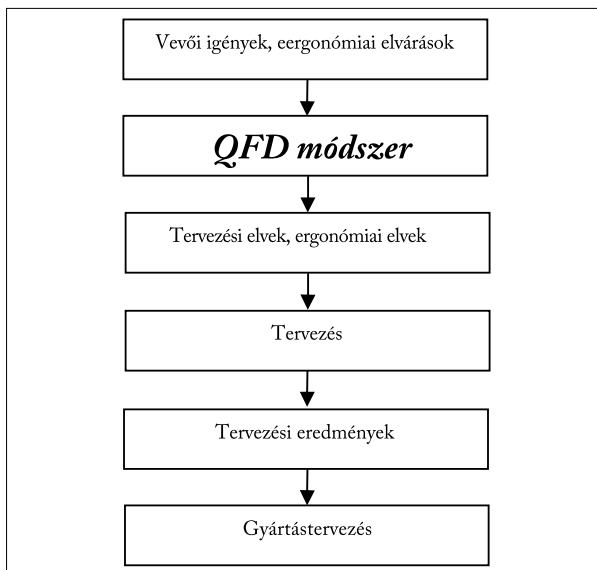
Az alábbi ábrán (1. ábra) a terméktervezés hagyományos módját az ergonómiai elvárásokra szabott QFD módszerrel történt kiegészítés után szemléltethetjük. Az ábrán jól látható, hogy a nevezett módszer a hagyományos tervezési menethez igazodik, a tényleges tervezés és a vevői igények felmérése közé ékelődik.

A QFD módszer előnyei:

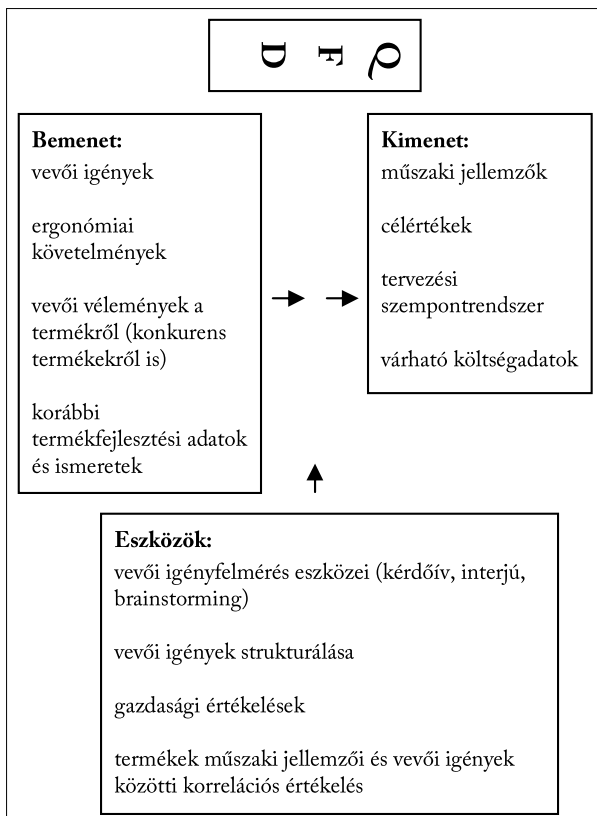
- jó, és használható tervet tudunk készíteni: nem csak a műszaki paramétereket, hanem a vevő ergonómiai igényeit is kellőképpen tudjuk érvényesíteni a tervezés során
- a tervezés előtt már rendelkezésre állnak a konstrukció által teljesítendő követelmények: a vevő és a piac szubjektív elvárásait objektív módon tudjuk szolgáltatni a tervezők számára
- ergonomikus, gazdaságos és költséghatékony gyártást tudunk megvalósítani
- tervezés előtti sokrétű adatgyűjtés javíthatja az ergonómiai minőséget

A keresett összefüggések feltárásához ismernünk kell azokat a kimenő-bemenő információkat a termékkel kapcsolatban, melyek között a relációt keressük. Az alábbi (2. ábra) a QFD kimenő és bemenő információt szemlélteti.

A QFD módszer alkalmazásához elengedhetetlen a vevői igényeknek és piaci elvárásoknak az ismerete, máskülönben a tervezés eredménye kétséges. Ezeket az információkat hagyományos marketingeszközök segítségével szerezhetjük be. Gyűjtésekhez hasonlóan itt is minél szélesebb körben, és a lehető legpontosabban behatárolt felhasználói csoporttól kell adatokat gyűjtenünk. Várhatóan ezek az adatok a műszaki élet számára zavarosak, túlságosan szub-



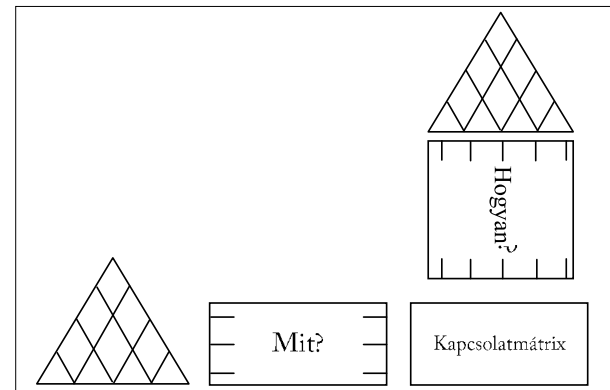
1. ábra Tervezés menete QFD módszerrel kiegészítve
Figure 1 Design process with integrated QFD method



2. ábra A QFD módszer információs irányai
Figure 2 Directions of informations at QFD method

jektívek. Ennek megfelelően a begyűjtött adatokat szűrni és rangsorolni kell. Szűrésnél csak a tervezés szempontjából hasznos adatokat engedhetjük tovább. A hasonló és szinonim igényeket is ki kell szűrni, illetve megfelelően kell értelmeznünk. A 3. ábra a QFD módszer felépítését mutatja. Az ábra „Mit?” mezője a vevői igényeket tartalmazza, a felső „Hogyan?” mező pedig a műszaki paramétereket.

A kapcsolatmátrix a vevői igények és a műszaki paraméterek összefüggéseit jelöli. A bal oldali tetőmátrix a vevői igények közti kapcsolat feltüntetésére szolgál. A felső tetőmátrix az egyes műszaki paraméterek közti összefüggéseket jelöli. A középső kapcsolatmátrix elemei a vevői igények és a kielégítésükhöz szükséges műszaki paraméterek kapcsolatának erősségét fejezik ki.



3. ábra A QFD (minőség háza) felépítése, az egyes területek funkciói

Figure 3 The structure of the QFD (House of Quality), the function of each area

A vevői igények összegyűjtése kérdőíves módszerrel történhet. Az oszlopba a legtöbbet szerepelt és strukturált vevői igények kerültek. Az alábbiakban esettanulmányon keresztül mutatom be a módszer ergonómiai tervezésre való adaptálását. A tanulmány általános használati célú székek ergonómiai megfelelőségének tervezésére vonatkozik, saját vevői igényfelmérésre alapozottan (1. táblázat). A felsorolásból kitűnik, hogy a vevői igények – noha legtöbbször logikusak –, azonban csak a legkisebb mértékben irányulnak kézzelfogható műszaki jellemzőkre, paraméterekre. Az igények egyaránt vonatkoznak a tényleges használatra, valamint a bútordarab és annak környezetével való kapcsolatára.

A mátrix másik fontos területe a „Hogyan?” kérdésre válaszoló függőleges oszlopok. Ide a módszernek megfelelően a vevői igények kielégítését célzó műszaki megoldások és műszaki paraméterek kerültek. Ezen felsorolást az alábbi táblázat tartalmazza (2. táblázat). A felhasznált műszaki paraméterek ergonómiai szempontból jellemzik a terméket, jelen esetben a székeket. A paraméterek konkrét értékekkel, illetve tartománnyal jellemezhetőek. Azonban az egyszerűbb kezelés, és a vevőkkel történő kommunikáció miatt némely esetben (pl.: kárpit keménysége) önkényes paramétersort érdemes alkalmazni (pl.: lágy, félkemény). Mivel a mátrix

1. táblázat Vevői igények felsorolása

Table 1 Consumer demands

stabil legyen
teherbíró legyen
kényelmes ülést biztosítson
használatra sérülést ne okozzon
kényelmes tapintás, megfelelő felületi kialakítása legyen
tisztítható felületek
esztétikus legyen
környezetbe illeszkedő legyen
pihentető testhelyzetet biztosítson
tehermentesítse a felsőtestet
tehermentesítse a lábakat
tartós legyen
rakásolható legyen
asztalhoz illeszkedjen

2. táblázat Vizsgált műszaki paraméterek felsorolása

Table 2 The investigated technical parameters

szerkezeti merevség
szerkezeti kötések erőssége
felületek kopásállósága
ülőlapp szélessége
ülőlapp mélysége
ülőlapp magassága
ülőlapp dőlésszöge
támla szélessége
támla magassága
támla dőlésszöge
karfa szélessége
karfa magassága
karfa hossza
támla görbülete
alkatrészek éllekerekítése
kárpit vastagsága
kárpit keménysége
szék tömege
felületi minőség
kárpitos felület légáteresztésének mértéke
kárpit felület hőszigetelő képessége
kárpitos felület páraáteresztésének mértéke
vegyszerállóság mértéke
szín

kiindulási adatai jórészt szubjektívek, így bizonyos határok között a konkrét diszkrét értékeket is lehet így értelmezni.

A mátrix kitöltése előtt az egyes vevői igényeket súlyozni kell. A súlyozást páros összehasonlítással végeztem, konzisztencia-becsléssel ellenőrizve. A páros összehasonlítás eredményeként megkapjuk, hogy az egyes vevői igények teljesülése mennyire fontos a vevők számára. Az eredményt a következő 3. táblázat szemlélteti.

A kapcsolatmátrixban (4. táblázat) azokat a jelöléseket, illetve számokat láthatjuk, melyek azt jelzik, hogy az egyes vevői igények az egyes műszaki jellemzőkkel milyen kapcsolatban vannak. Több lehetséges jelölés közül itt a három fokozatú jelölést láthatjuk. Ha semmilyen kapcsolat nem fedezhető fel az egyes vevői igény, illetve valamely műszaki paraméter között, akkor azon sor adott oszloplemebe nem kerül szám. Az 1-es szám a gyenge, a 3-as a közepes, 9-es szám pedig az erős összefüggést jelenti az igény és a műszaki paraméter között. A kapcsolatmátrixban adott sor súlyszámát az oszloplemmezeléssel összeszorozva, majd oszloponként összeadva megkapjuk, hogy a vevői igények alapján melyek azok a műszaki paraméterek, melyek a legfontosabbak. Jelen felmérés szerint az ülőlapp magassága, az ülőlapp szélessége, valamint az ülőlapp mélysége a legfontosabb a nevezett vevői igények szerint. Továbbá a módszer levezetése alapján az is bizonyított, hogy a műszaki gyakorlattal ellentétben – mint azt az esetek döntő többsége mutatja – nem egy-egy jellemzővel elégítünk ki egy-egy vevői igényt, hanem a műszaki jellemzők együttese, egy csoportja határozza meg és elégíti ki az adott vevői igényeket. A módszer alkalmazása során a kapcsolatmátrix két további mezővel került kiegészítésre. A táblázat tetején található egy tetőmátrix, mely az egyes műszaki jellemzők közti kapcsolatot mutatja. A kapcsolat erősségét a már korábban leírt számhármassal jellemeztem. Mindezek mellett a hagyományos QFD táblázatot a szokásostól eltérően egy további táblázattal egészítettem ki. Ez a mátrix a táblázat bal oldalán található. Itt az egyes vevői igények közötti kapcsolatot lehet feltüntetni. A kapcsolat erősségét szintén a használt számhármassal (1, 3, illetve 9) jelöltem.

Az egyes műszaki paraméterek összetett fontossági mutatójának (vevői igények fontossági súlyszámának és a kapcsolat erősségének szorzatösszege) meghatározása és rangsorolása a célértékek meg-



mérséklésének lehetőségét kínáló kísérlettervezési módszert alkalmaztam, ami teljesen új termék esetén is lehetővé teszi a műszaki paraméterek optimális értékeinek megtervezését.

A műszaki jellemzők célértékeinek meghatározása

Általánosságban elmondhatjuk, hogy a kísérleteket mindig azért végezzük, hogy eredményeikből valamiféle információt nyerjünk, következtetéseket, megállapításokat vonjunk le. A kísérletek lehetnek aktívák, illetve passzívák. A két lehetőség között a különbség az, hogy ha a kísérleti körülményeket matematikai módszerekkel úgy választjuk meg, hogy a kísérlet információtartalma valamilyen értelemben maximális legyen (az adott információ megszerzéséhez a legkevesebb kísérletet kelljen elvégeznünk), akkor aktív kísérletről beszélünk. Ezzel szemben passzív esetben a kísérletek matematikai-statisztikai értelemben nem tervezettek. Maga a kísérlettervezés azt jelenti, hogy kijelöljük a független változók terének azon pontjait, amelyekben kísérleteket fogunk végezni.

A kísérlettervezés célja szerint két fő irány különböztethető meg: a tudományos/oktató és a fenomenológikus/pragmatikus célú információszerzés. Jelen esetben fenomenológikus célúról beszélhetünk, hiszen oktatási kapcsolatokat nem akarunk meghatározni. Vizsgálataink során a független változóknak az optimális működés tartományát jellemző értékeit keressük. Mindezek mellett a függő változóknak az egyes független változók megváltoztatására való érzékenységet akarjuk megismerni, és becsülni kívánjuk a függő változó értékét a független változók valamilyen beállításánál.

A faktorok befolyásának megismerésére (célparaméterre gyakorolt hatásuk meghatározására) kísérleteket végzünk, melyek során szándékosan változtatjuk az egyes faktorok értékét, és meghatározzuk a célparaméter felvett értékét.

A befolyásoló paraméterek célparaméterre gyakorolt hatását vizsgálhatjuk úgy, hogy egyszerre csak egy paraméter beállítási szintjét változtatjuk, a többi faktor szintjének állandósága mellett. Célszerűbb a többfaktoros kísérleti terv, amikor is egyszerre több befolyásoló paraméter (faktor) szintjét változtatjuk. Ilyenkor az egyes faktorok beállítandó értékeiként a variációs intervallum két szélét vesszük fel (kétszintű faktoros kísérletek) illetve a centrumát is (háromszintű faktoros kísérletek). A kísérlet tervében az egyes faktorok így meghatározott szintjeinek a különböző kombinációit alkal-

mazzuk, ezek lesznek az egyes kísérleti beállítások. Leggyakrabban polinomiális modellt illesztünk az eredményekre. Kétszintű kísérleteknél az egyes faktorok csak első hatványon szerepelhetnek. A matematikai modell általános alakja:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \times 1 + \beta_2 \times 2 + \beta_3 \times 3 + \dots + \beta_{12} \times 1 \times 2 + \dots + \varepsilon \quad [1]$$

amelyben,

y - a célparaméter valamely beállításnál mért értéke,

β_1 - a faktorok lineáris hatásainak együtthatói,

β_{12} stb. - az egyes faktorok közötti kölcsönhatások együtthatói a modellben,

ε - a kísérleti hiba

A kísérleti hiba tartalmazza az y mérési hibája mellett a figyelembe nem vett (vizsgálatba be nem vont) többi faktor (köztük a kézben nem tartható faktorok) ingadozásának hatását is.

A valódi β modellegyütthatók mért értékek alapján nyert becsléseit jelöljük b betűvel és a megfelelő indexszel. Az együtthatók becslése ortogonális elrendezésű kísérlettervből az alábbi általános összefüggéssel lehetséges:

$$b_j = \frac{\sum_i y_i x_{ij}}{\sum_i x_{ij}^2} \quad [2]$$

ahol,

i - az i -edik beállításra,

j - a j -edik faktorra utal (b_0 kiszámítása esetén egy fiktív x_0 faktort veszünk fel, melynek értéke az ortogonális kísérlettervben minden beállításnál +1).

A modellegyütthatók becslött értékeivel felírt egyenlet a célparaméternek a regressziós modellel becslött értékeit adja meg:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \dots + b_{12} x_1 x_2 \quad [3]$$

A vizsgálatok során passzív kísérletekkel (változó kialakítású, meglévő ülőbútorok vizsgálata) szimuláltuk az aktív kísérlettervezést. A kísérleti beállításokat az általános használatra szánt székek sokaságából az adott kialakítású egyedek (mintaelemek) kiválasztása, illetve módosítása jelentette. A minták jellemző paramétereit a 5. számú táblázat tartalmazza.

A vizsgált mintákról egy előre összeállított kérdőív segítségével felhasználói véleményeket gyűjtöttem. A módszer levezetését két vevői igényen (kényelmes használat biztosítása, felsőtest tehermentesítése) kívánom bemutatni.

5. táblázat Vizsgált mintatestek paraméterei**Table 5** Parameters of the investigated sample specimens

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ülőlapp szélessége	460	370	440	460	390	480	435	390	460	390	410	460	410	375	460
ülőlapp mélysége	450	410	400	460	420	440	410	400	370	360	425	380	405	390	445
ülőlapp magassága	435	440	450	470	440	450	420	460	420	450	435	440	450	440	440
ülőlapp dőlésszöge	2	3	5	3	2	2	4	2	2	2	5	5	2	3	3
támla szélessége	435	330	360	530	420	430	415	390	430	380	410	460	400	395	445
támla magassága	390	390	600	585	375	410	400	375	400	335	380	400	340	380	550
támla dőlésszöge	105	100	100	95	95	95	97	105	100	100	100	95	95	105	95
karfa szélessége	475			470		480									
karfa magassága	170			120		200									
karfa hossza	440			430		400									
támla görbüllete	370	360	660	1765	350	555	455	325	450	470	850	1700	520	575	820
kárpit vastagsága	15		35	40	20	20			15		10	50	30		50
kárpit könnyösége	1	2	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	2	1
kárpitos felület megafeszítésének mértéke	2	1	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	2	1	2
kárpitos felület páratartósságának mértéke	2	1	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	2	1	2

A nevezett két vevői igényrel kapcsolatban öt különböző műszaki paraméter befolyását vizsgáltam. Ezek a műszaki jellemzők a vizsgálatban nevesített faktorok (független változók). Mivel egy-egy vevői igény teljesülési szintjét több faktor befolyásolja, így többfaktoros kísérlettervezésről beszélhetünk. Jelen vizsgálat során minden faktornál két faktorszintet határoztam meg. A 6. táblázat mind a faktorok elnevezését, mind pedig azok szintjeit mutatja.

6. táblázat Faktorszintekhez tartozó értékek**Figure 6** Value of different factor levels

Faktorok	1. szint	2. szint
ülőlapp szélessége	370-425	426-480
ülőlapp mélysége	360-409	410-460
támla szélessége	330-429	430-530
támla magassága	335-467	468-600
támla dőlésszöge	90-97	98-105

A vizsgálat során a faktorok számához igazodóan L8-as kísérlettervet választottam (T. B. Barker, 1990). Az alábbi táblázat az egyes faktorok beállítási szintjeit mutatja:

7. táblázat L8-as kísérletterv beállítási szintjei**Table 7** Setup levels of the L8 test scheme

Kísérleti beállítás sorszám	1	2	3	4	5	6	7
8	1	1	1	2	2	2	2
7	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	1	2	1	1	2
3	2	2	1	1	2	2	1
6	1	2	2	2	2	1	1
5	1	2	2	1	1	2	2
4	2	1	2	1	2	1	2
1	2	1	2	2	1	2	1

Ez a kísérletterv hét faktor hatásának vizsgálatára alkalmas, azzal a megkötéssel, hogy a 3., 5. és 6. oszlopokat azon faktorok beállítására használjuk, amelyek nem állnak kétfaktoros kölcsönhatásban egyetlen faktorialtal sem. Öt faktor esetén célszerűen alkalmazott beállítások:

8. táblázat Kísérlethez alkalmazott beállítások, ahol F_1 - ülőlapp szélessége, F_2 - támla szélessége, F_3 - támla magassága, F_4 - ülőlapp mélysége, F_5 - támla dőlésszöge

Table 8 Setup for the test, where F_1 - seat width, F_2 - back with, F_3 - back height, F_4 - seat depth, F_5 - back angle

Kísérleti beállítás sorszám	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5
8	1	1	1	2	2
7	1	1	1	1	1
2	2	2	1	2	2
3	2	2	1	1	1
6	1	2	2	2	1
5	1	2	2	1	2
4	2	1	2	1	2
1	2	1	2	2	1

Eredmények és értékelésük

A QFD séma kitöltött és összegzett kapcsolatmátrixát az alábbi módon értékelhetjük. A számolt súlyszámokat a mátrix bal oldalán találhatjuk a preferenciaarány oszlopban. A számokból kiolvashatjuk, hogy melyek azok a sorok (vevői igények), melyeket a vevő a legjobban preferál. Láthatjuk, hogy a megkérdezett felhasználók a kényelmes használatot, valamint az alsó- és felsőtest tehermentesítését tartják a legfontosabbnak a székekkel kapcsolatban. A vevők ezen felmérés szerint a székek rakásolhatóságát, valamint esztétikáját tartják ergonómiai szempontból a legkevésbé fontosnak (lásd a 4. táblázat). A kísérlettervezési módszer eredményeit először a kényel-



mes használatra vonatkozó kísérleten mutatjuk be. A 9. táblázat „Paraméter nagysága” oszlopa a megfigyelések eredményére illesztett lineáris regresszió modell paramétereit (konstans, illetve együtthatók) tartalmazza, mely utóbbiak itt az egyes független változók alapszintről (0 kódolt érték) az 1. szintre (-1-szeres kódolt érték) történő változtatásának hatását jelentik. A táblázatból kiolvasható értékek alapján a kényelmes használatra vonatkozó regressziós összefüggés a következő:

$$y = 3,9296 + 0,2734 \cdot x_1 - 0,1328 \cdot x_2 + 0,2266 \cdot x_3 + 0,0116 \cdot x_4 + 0,0703 \cdot x_5 \quad [4]$$

ahol

$x_1 \dots x_5$ - adott faktor beállításainak kódolt értéke
 y - vevői igénypontra (kényelmes használat) kapott osztályzat

A táblázatból továbbá az is kiolvasható hogy a 4-es és 5-ös faktor hatása elhanyagolható (5%-osnál csak lényegesen magasabb szinten szignifikáns). Az 1-es és 3-as faktor hatása döntően befolyásolja a vizsgált tulajdonságot, a 2-es faktor hatását nem célszerű figyelmen kívül hagyni. A következőkben a már bemutatott módon egy másik vevői igény (felsőtest tehermentesítése) elemzését láthatjuk.

A 10. táblázat „Paraméter nagysága” oszlopa a megfigyelések eredményére illesztett lineáris regresszió modell paramétereit (konstans, illetve együtthatók)

9. táblázat A „kényelmes használat”-ra vonatkozó kísérletből meghatározott modell paramétereit. VAR1...5 – faktor, független változó: VAR1 - ülőlap szélessége, VAR2 - támla szélessége, VAR3 - támla magassága, VAR4 - ülőlap mélysége, VAR5 - támla dőlésszöge, paraméter nagysága - függő változó (ez esetben a „kényelmes használat”, mint vevői igény)

Table 9 Modell parameters based on the test for „comfortable use”. VAR 1...5 - factor, independent variable: VAR1 - seat width, VAR2 - back with, VAR3 - back height, VAR4 - seat depth, VAR5 - back angle parameter value – dependent variable (in this case the „comfortable use” as consumer demand)

Paraméter-bebecslések					
Hatás	Hatás szintje	Paraméter nagysága	Paraméter standard hibája	t-próba statisztika	Valószínűség
Modell konstans		3,9296	0,0999	39,3054	0,0000
VAR1	1	-0,2734	0,0999	-2,7349	0,0110
VAR2	1	0,1328	0,0999	1,3284	0,1955
VAR3	1	-0,2266	0,0999	-2,2661	0,0320
VAR4	1	-0,1016	0,0999	-1,0158	0,3190
VAR5	1	-0,0703	0,0999	-0,7033	0,44881

tartalmazza. A táblázatból kiolvasható értékek alapján a „felsőtest tehermentesítésére” vonatkozó regressziós összefüggés a következő:

$$y = 3,5313 + 0,2813 \cdot x_1 + 0,1875 \cdot x_2 + 0,3125 \cdot x_3 + 0,0938 \cdot x_4 + 0,1875 \cdot x_5 \quad [5]$$

ahol

$x_1 \dots x_5$ - adott faktor beállításainak kódolt értéke
 y - vevői igénypontra (kényelmes használat) kapott osztályzat

10. táblázat A „felsőtest tehermentesítése”-re vonatkozó kísérlet paramétereit. VAR1...5 – faktor, független változó: VAR1 - ülőlap szélessége, VAR2 - támla szélessége, VAR3 - támla magassága, VAR4 - ülőlap mélysége, VAR5 - támla dőlésszöge, paraméter nagysága - függő változó (ez esetben a „felsőtest tehermentesítése”, mint vevői igény)

Táblázat 10 Parameters of the test for „bust load release”. VAR 1...5 - factor, independent variable: VAR1 - seat width, VAR2 - back with, VAR3 - back height, VAR4 - seat depth, VAR5 - back angle parameter value – dependent variable (in this case the „bust load release” as consumer demand)

Paraméter-bebecslések					
Hatás	Hatás szintje	Paraméter nagysága	Paraméter standard hibája	t-próba statisztika	Valószínűség
Modell konstans		3,5313	0,0997	35,395	0,0000
VAR1	1	-0,2813	0,0997	-2,8190	0,0090
VAR2	1	-0,1875	0,0997	-1,8793	0,0714
VAR3	1	-0,3125	0,0997	-3,1323	0,0042
VAR4	1	-0,0938	0,0997	-0,9396	0,3560
VAR5	1	-0,1875	0,0997	-1,8793	0,0714

Összegzés és megállapítások

Az illusztrációs céllal bemutatott kísérletsorral azt kívántam igazolni, hogy a faktoros kísérlet módszerére alapozottan – folyamatosan és tervszerűen gyűjtött kísérleti adatok felhasználásával – az ergonómiai megfelelésre való tervezés működőképes modellje építhető fel.

A modell felépítése:

- Az ergonómiai megfelelés használati, értékelési tényezőinek az azonosítása.
- Az értékelési tényezőket befolyásoló termékjellemzők (szerkezeti, méreتي, anyagi, termékműködtetési, stb.) számbavétele.
- Az egyes termékjellemzők értéktartományainak felmérése. Szintek meghatározása a kétszintű, ill. háromszintű kísérletekhez.
- Racionális méretű kísérlettervek felállításának a befolyásoló tényezők hatásának vizsgálatához.

A kísérletterv kísérleti beállításainak megvalósítása:

- Célrányosan készített termékkel/modellel
- Célrányosan megkeresett meglévő termékkel
- Célrányosan módosított meglévő termékkel
- A kísérleti beállítások értékelése, az ergonómiai tényezők teljesülési szintjének megítélése használati próbával
- A kísérletterv kiértékelése
- Jelentős hatású tervezési jellemzők meghatározása
- Jelentős kölcsönhatások azonosítása
- Matematikai (regressziós) modell meghatározása
- A jelentős hatású termékjellemzőkkel esetleges háromszintű kísérletek elvégzése, kiértékelése.
- Az eredmények gyakorlati implementálása: adott ergonómiai tényezők kívánt szintjét eredményező termékjellemzők megválasztása a regressziós modell segítségével.

Az előzőekben a QFD és a kísérlettervezés új lehetőségeit mutattuk be. A módszer kiegészítés lehet más, hagyományos módszerek mellett. Véleményünk szerint a kísérlettervezéses módszerben további lehetőségek rejlenek, melyek kihasználása nagyobb adatbázis megteremtésével lehetséges.

Irodalomjegyzék

- Barker T. B. (1990) *Engineering Quality by Design*, Marcel Dekker, Inc., ASQC Quality Press
- Dénes L. (2006) *Új furnéralapú termék kifejlesztése kísérlettervezéssel*, doktori értekezés, NymE FMK TGYI
- Hayes B. E. (1991) *Measuring Customer Satisfaction, Development and Use of Questionnaires*, ASQC Quality Press
- Horváth P. Gy. (2010) *Épített és bútorozott környezet ergonómiájának elemzése, ergonómia gyakorlati alkalmazása*, doktori értekezés, NymE FMK TGYI
- Iványi A. Sz. (1980) *A gyártmányok versenyképességének fokozása értékelemzéssel*, KIK
- Kemény S. (1998) *Statisztikai minőség- (megfelelőség) szabályozás*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- Kemény S., Deák A. (2000) *Kísérletek tervezése és értékelése*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- Kindler J., Papp O. (1972) *Komplex rendszerek vizsgálata*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- Koczor Z. (2000) *Bevezetés a minőségügybe*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- Kovács Zs. (2008) *Minőségtervezés, elektronikus jegyzet*, tgyi.fmk.nyme.hu
- Kovács Zs. (2009) *Kísérlettervezés, elektronikus jegyzet*, tgyi.fmk.nyme.hu
- Roozenburg N. F. M., Eekels J. (1995) *Product Design*, John Wiley & Sons
- Taguchi G. (2000) *Robust Engineering*, McGraw-Hill

Papírhulladék hasznosítása lapalapú biokompozit előállítására II.*

TAKÁTS Péter¹, VARGA Norbert², TAKÁTS Alexandra³

¹ NymE FMK Fa-és Papíripari Technológiák Intézet

² Okleveles faipari mérnök

³ NymE FMK Informatikai és Gazdasági Intézet

Kivonat

A kutatómunka során a nagy mennyiségben keletkező és papíripari célra is nehezen újrahasznosítható színes reklámújság lignocellulóz alapú kompozitban történő hasznosítására sikerült megoldást találnunk. A cél egy olyan biokompozit termék előállítása volt, melynek gyártása során külön, a kompozit mátrix részét biztosító kötőanyag nem kerül felhasználásra. Az így elkészített ökotermék a közepes sűrűségű farostlemezhez (MDF) hasonló fizikai-mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik.



A színes újságpapírból készült rost a lapgyártás folyamatába könnyen beilleszthetővé válhat, miközben jelentős környezeti terheléstől képes közvetlenül megszabadítani a természetet, lehetővé téve ezzel egy környezetorientált termékpolitika létrejöttét. Az újrahasznosított hulladék papír felhasználásával készült lapalapú kompozitok így alkalmassá tehetők környezetbarát termékek tervezésére, kialakítására egy ún. öködesign irányvonal bevezetése révén.

Kulcsszavak: papírhulladék, rostkompozit, kötőanyagmentes, öko-termék, környezetorientált termékpolitika, öködesign

Paper waste recycling in bio-composite boards - Part 2

Abstract

In the course of our research we have found a solution for recycling colour advertising papers in a lignocellulose-based composite. These papers arise in mass quantities and can be recycled even in paper industry with difficulties. Our aim was to produce a kind of bio-composite that doesn't contain any adhesives that constitute the matrix part of the composite. An eco-product generated this way has similar physical and mechanical attributes to medium density fiberboard (MDF). Fiber made of colour newspapers can easily be adopted to board production, while nature can be protected from significant environmental threats, allowing the development of an environment-oriented product policy. Composite boards produced by utilizing recycled waste paper can be used for designing and creating environment-friendly products by introducing a so-called eco-design trend.

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

Bevezetés

A papír évszázadok óta az egyik legtöbbet használt kompozit termék, melyet tovább feldolgozása során az alkotórészeinek eredeti esztétikai megjelenésétől eltérő színűre kell változtatni. A kiindulási rostanyagok általában sárgás árnyalatúak és mivel a kékes árnyalat fehérebbnek látszik, az általános gyakorlat az, hogy a rostanyagokat igyekeznek elkíteni. Színes papírokhoz a színárnyalat, színjelleg, színerősség, színtelítettség elérése érdekében megfelelő színű és mennyiségű színezéket kell hozzáadni. A színezékek ill. színhordozók különböző eredetűek és tulajdonságúak lehetnek: vízben oldódók és vízben nem oldódók. Színtartósságuk a különböző behatásokkal (víz, gőz, sav, lúg, hő, fény, stb.) szemben eltérő, de hamutartalmuk is különböző.

- Vízben nem oldódó ásványi festékek:
 - » természetes szerves ásványi festékek
 - » mesterséges szerves ásványi festékek

- Vízben oldódó és nem oldódó színezékek:
 - » természetes szerves színezékek (növényi színezékek)
 - » mesterséges szerves színezékek (anilin)
- Külön színezékként említhető a gázkorom.

A mesterséges szerves anilin színezékek bevezetése előtt kizárólag földfestékeket, mesterséges ásványi festékeket és növényi színezékeket használtak. Ezek használata és a színezés előtt közvetlen előállításuk körülményes volt. A szintetikus színezékek bevezetésével jelentős változás történt, mivel alkalmazásuk sokkal egyszerűbb, vízben könnyen oldódnak, nagy a színező képességük, élénk színűek és mindazonáltal olcsóbbak.

A színezék abszorpció útján kapcsolódik a rosthhoz, e kapcsolódást a rost nedvszívó tulajdonsága is javítja (Rab, 1999). A fontosabb szerves színezékek növényi eredetű színezékek, melyek fényállósága kisebb, mint a földfestékeké és as-

*A kutatás a Talentum – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2010-0018 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

This research - as a part of the Development of Student Talent Fostering at WHU, TAMOP 4.2.2. B-10/1-2010-0018 project - was sponsored by the EU/European Social Foundation. The financial support is gratefully acknowledged.

ványi eredetű festékeké, ezért ezeket ma már egyáltalán nem használják.

a.) A mesterséges szerves színezékek ezeket minden tekintetben pótolják:

- bázikus színezékek (jánus színezékek)
- savas színezékek (rezorcin, alizerin, fanal)
- direkt-, szusztantív színezékek (sirius, immediál vagy kryogén, kénes színezékek)
- pigment színezékek (fanal pépes, permanent)

b.) A földfestékek különböző elnevezésekkel kerülnek forgalomba:

- okker: barnássárga festék, vas-oxidot ill. vas-oxid-hidrátot és kaolint, néha mangánt is tartalmaz
- siennai föld: tiszta vas-hidroxid, vörösbarna festék.

A mesterséges ásványi festékek vízben nem oldódnak, szemcséik a földfestékekénél kisebbek, nagyobb festőképességűek, vasércet égetésekor nedves úton és körülményesebb eljárásokkal nyerik. Az ólomtartalmúak mérgező hatásúak is pl. a króm, sárga. Ezeknek az anyagoknak az alkalmazását ma már erősen korlátozzák. A mesterséges szerves színezékek első fajtája a bázikus színezékek, színezékbázisok sósavas sói, vagy színezékbázisok klór, cink kettsósói, nagy színező képességű, élénk színű, kisebb fényállóságú, olcsó színezékek, rövidebb használatra szánt papírok színezésére használják.

Belátható tehát, hogy a színes papírhulladék rendkívül komplex szerkezetű kompozit termék, melynek bármilyen újrahasznosítását nagymértékben befolyásolják a különböző adalékanyagok összetétele és mennyisége, különös tekintettel a színezőanyagokra.

A kutatómunka módszere

A kutatómunka során színes papírhulladék számára kerestünk egy olyan lehetséges hasznosítási módot, ahol elkerülhető az adalék- és színanyagok rendkívül költséges kémiai úton történő feltárása és eltávolítása, hozzájárulva ezáltal környezetünk fenntartható fejlődéséhez (Kerekes és Szlávik, 2003). A faipar területén előszeretettel alkalmazzák a közepes sűrűségű farostlemezt (MDF), mely farostalapú felépítésének köszönhetően homogén struktúrával rendelkezik, és széleskörű felhasználással bír (Winkler, 1999). A színes papírhulladék alkalmazásával – mint alternatív alapanyag lehetőséggel – ugyanakkor elkerülhetővé válna a rostfából, rendkívül energiaigényes módon történő aprítékképzés művelete, mivel a papír feldolgozása előaprítást követően egy előnyösen megválasztott utánaprítóval megoldható (Takáts, 2007). A kuta-

tómunka céljának tekintettük tehát, hogy laboratóriumi úton, színes papírhulladék felhasználásával, első lépésként kötőanyag alkalmazása nélkül, síkpréselt kompozitot állítsunk elő.

Felhasznált anyagok, előkészítés

A kísérletekhez felhasznált alapanyag közel azonos tulajdonságú és minőségű hulladék papírokból álló nyersanyag volt. Alapanyagként a lakossági hulladékból szelektív papírgyűjtés útján kinyert, kizárólag színes, magas fényű papírhulladék nyert alkalmazást. A színes papírhulladékot magazinok, reklámújság, folyóiratok, szórólapok, katalógusok, televízió műsorújság képezte. A színes papírhulladék mintavételezésére ismereteink szerint sem egységes elvek, sem egységes gyakorlat még nem alakult ki, ezért az alapanyagot a háztartásban elkülönítve tárolt színes papírból, ill. szelektív hulladék konténerekből gyűjtöttük be, majd átválogatás során eltávolítottuk a kísérletet zavaró idegen anyagokat (műanyag zacskó, gémpapoc, stb.). Az átválogatott és idegen anyagoktól mentesített színes papírhulladékot kötegekbe rendeztük a könnyebb kezelhetőség és szállíthatóság érdekében. Az előkészítésnél a faiparból ismeretes újrafeldolgozási technológiákból kiindulva a fokozatosság elvét követtük (osztályozás, durva aprítás, rostosítás). Az aprítás mechanikai úton történt egy VIKING GE 110 típusú aprítógéppel.

Rostosítás

A rostelőállítás során verőképes rostosító berendezést használtunk és arra törekedtünk, hogy kéméletes úton nagy mennyiségű ép rostot készítsünk (1. ábra). A feltárás során az alkalmazott conidur szita (2,0 mm) hatására a farostok felületén a mechanikai változáson kívül a hő és nedvesség hatására számunkra előnyös kémiai folyamatok is végbe mentek, melyek később elősegítették a rostok közötti adhéziót. A conidur szita alakosságánál fogva ugyanis az elemi rostsál-képződést biztosította a filcelődéshez, a lejátszódó hidrotermikus folyamatok pedig a papírban eredetileg bent lévő hőre lágyuló természetes alapú kötőanyagot (pl. kolofónium) a majdani kötéshez aktív állapotba hozta. A fenti-eket később raszter elektronmikroszkópos (REM) felvételekkel is sikerült igazolnunk.

Rostméret meghatározás, frakcionálás (ISO 3310)

A papírostok karakterizálását 8-10% rostnedvesség mellett a NymE Fa- és Papíripari Technológiák Intézete által üzemeltetett lézeres szemcseanalizáló



1. ábra Retsch Mühle SK1-es típusú rostosító berendezés
Figure 1 Retsch Mühle SK1 type grinder

berendezéssel végeztük (2. ábra). A mintavétel véletlenszerűen, a rendelkezésre álló rostanyagból történt. A gép egyszerre maximum 10 különböző lyukmérettel ellátott szitát volt képes befogadni. A rázási idő eltelével a program kérte a sziták anyaggal együtt történő, egymás utáni lemérését, fordított sorrendben, mint a mérés elején. Megállapításra kerültek az üres és a szitán fennmaradt anyaggal együtt mért tömegek különbségei, majd a program ebből százalékosan halmozott és egyéni eloszlást készített az egyes szitalyuk méretekhez, amit táblázatban, diszkrét számadatokkal tüntetett fel. Az egyes mérések különböző mérési paraméterek alkalmazásával történtek (1. táblázat). Az első mérésből arra következtettünk, hogy az amplitúdót (A) a filcelődő anyag miatt 1,5 mm-ről 2,5 mm-re kell növelni és a rázás megszakításának időintervallumát sűríteni kell, hogy a filcelődés hatását csökkentjük. A különböző frakciók a rázás időtartama alatt ennek eredményeképpen egymástól megfelelő elkülönülést mutattak, miközben a rázás időtartamát (T) 30 percről 40 percre megnöveltük.



2. ábra A rostfrakció vizsgáló gép részei
Figure 2 Fibre fraction analysis setup

1. táblázat Az egyes mérésekhez tartozó üzemi paraméterek
Table 1 Measurement parameters for each test

Paraméterek*	A (mm)	T (min)	T _m (s)	m (g)
1. mérés	1,5	30	10	29,8
2. mérés	2,5	30	5	24,4
3. mérés	2	40	5	21,2
4. mérés	2,5	40	5	25,1

* A: rázási amplitúdó (mm), T: a rázás időtartama (min), T_m: két rázás megszakítása között eltelt idő (s), m: a mért mintamennyiség kezdeti tömege (g)

Terítékképzés, előpréselés

A rostosítást követően a farostlemezgyártásban a rostanyagot ragasztóval és adalékanyagokkal keverik. A kísérlet során kötőanyag tudatosan nem nyert alkalmazást, ez azonban nem zárja ki annak a lehetőségét, hogy a termék tulajdonságjavítása érdekében a jövőben esetlegesen érdemes ilyen kísérletet is végezni. A magas, „vattaszerű”, kissé labilis szerkezetű terítéket a hőpréselés előtt előpréseléssel tömörítettük a kezelhetőség érdekében. A kívánt sűrűségű lapokhoz (1000; 1200; 1400 kg/m³) felhasznált rostmennyiséget tömegméréssel állapítottuk meg; a terítéket 16x300x300 mm méretben készítettük, formázókeret segítségével. Valamennyi laptípusból 5-5 darab minta készült.

Hőpréselés

A hőpréseléskor általánosan ismert, hogy a tömörítés folyamata során a térfogati sűrűség, s vele a rugalmassági modulus érték is gyorsan növekszik. A rost alapú agglomerátumok préselés alkalmával viszkoelasztikusan viselkednek, ezért a nyomás-deformáció összefüggés az időtől, illetve a sebességtől is függ. Hő hatására a természetes anyagok plasztikussá válnak, ezáltal az adott térfogati sűrűség kisebb nyomással érhető el, s az összenyomott anyag a tehermentesítést követően kevésbé rugózik vissza, ugyanakkor az állandó nyomáson tartott anyag kúszik, vagyis tovább tömörödik.

A hőpréselés tehát egy komplex thermo-dinamikai folyamat, amelyben több, egyidejűleg és párhuzamosan lefolyó jelenség van kölcsönhatásban egymással. Ezt a kölcsönhatást használtuk ki, egy általunk kikísérletezett speciális préselési eljárás alkalmazása révén. A hőpréseléskor fellépő belső hőmérsékleti viszonyok gyakorlatilag közel azonosak a magas hőmérsékleten való szárítási viszonyokkal, így akár túlhevített gőz is kialakulhat. A fölmele-

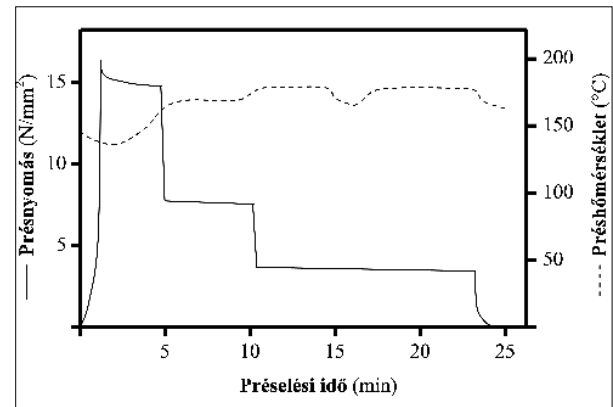
gedést követően egy közbülső szakaszban a belső hőmérséklet $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ körül állandósul, és ekkor a hő egy része a víz elpárologtatására fordítódik. A belső nyomás maximális értéke befolyásolja a lap minőségét, elsősorban a lapra merőleges húzószilárdságot. Ha a belső nyomás meghaladja az $1,0\text{ N/mm}^2$ értéket, akkor a présnyitást követően ún. „laprobbanás” is bekövetkezhet, ami rontja a lapra merőleges húzószilárdsági értéket. A fentiekén kívül a rostok geometriai méretei is alapvetően meghatározzák a belőlük készült lemez minőségi mutatóit.

Bizonyított tény, hogy minőség szempontjából alapvető szerepet játszik a rostátmérő, a hosszúság, farost esetén a sejtfal vastagsága, a lumen mérete és a rostok felülete is. A rostok tömöríthetőségét a sejtüreg-sejtfal vastagság viszony határozza meg. A vékony falú és nagyobb üregű sejtek jobban összenyomhatók. A papírost esetében ugyanakkor ezek a primer farostoknál tapasztalt hátrányos tulajdonságok már nem tapasztalhatók.

A rostfinomság növekedésekor nagyobb térfogati sűrűség, s ezzel nagyobb hajlítószilárdság érhető el, jelentős vastagsági dagadás és a vízfelvétel csökkenés mellett. A préselést egy SIEMPELKAMP $600\times 600\text{ mm}$ laboratóriumi hőpréssel végeztük átlagosan $185\text{ }^{\circ}\text{C}$ préshőmérsékleten. A nyomás és a présidő a sűrűségértéktől függően került beállításra. A 3. ábra egy tipikus présdiagramot mutat be.

Klimatizálás, kondicionálás

A lapgyártás egyik legfontosabb műveletének tekintendő a klimatizálás, mivel a hőpréselés után közvetlenül a meleg lemezek egymásra helyezve szilárdságuk jelentős részét elveszíthetik, ugyanis $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ fölött és viszonylag magas relatív páratartalom mellett ún. hidrolízis effektus jön létre, amely jelentős szilárdságcsökkenést – a kötések felbomlását – eredményezi. A kompozitlemezeket ezért tárolás előtt élükre állítva lehűtöttük, majd a későbbi vetemedések elkerülése érdekében a lapokat egymásra helyezve és súllyal terhelve két napig állni hagytuk, ezáltal lassabban, kíméletesen hűltek le és az egyensúlyi nedvességtartalmuk is fokozatosan állt be. Ezt követően klimatizálásnak vetettük alá, ami 4-5 nap időtartamú, továbbá $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérséklet és 65% relatív légnedvesség-tartalom mellett történő tárolást jelentett. A hőprésből kikerülő lapok hőmérsékletének fokozatos csökkentése és végző nedvességtartalma ugyanis sarkalatos pontként jelentkezett a végszilárdság kialakulásában. Mivel nem



3. ábra Présdiagram – a hőmérséklet és a nyomás viszonyai egy tipikus lemez esetében

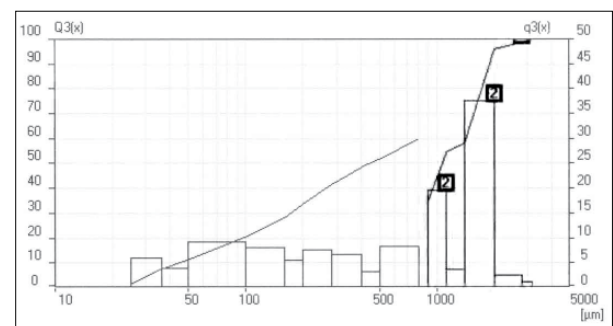
Figure 3 Press diagram – temperature and pressure characteristics for a typical panel

kevertünk a rostokhoz külön kötőanyagot, így az eredetileg a papírban lévő, a gyártás során alkalmazott kötő- és adalékanyagok vettek részt a szilárdulás folyamatában.

Eredmények

Rosteloszlás

A mérések során egyértelműen bizonyítást nyert, hogy a lapszerkezet, ill. a későbbi laptulajdonságok szempontjából döntő jelentőséggel bír a mindenkor alkalmazott aprító gép felépítése és rostosítás technológiája, valamint az előállított roststruktúra. Az eredmények oszlop- és vonaldiagram formájában a lyukméret és a százalék függvényében kerültek ábrázolásra (4. ábra). A vizsgálat során a $25\text{ }\mu\text{m}$ -es szemcsénél kisebb méret csak elenyésző mennyiségben volt jelen a mintában. A bemért mennyiségben jó közelítéssel a szemcseméreték egyenletesen oszlottak meg. A mintában előforduló további szemcseméreték 36, 50, 100, 160, 200, 280, 400, 500, 800, 1000, 1250, 1400, 1600, 1800, 2240, 2800,



4. ábra A 4. rostfrakció minta vizsgálatának eloszlási grafikonja – $Q_3(x)$ súlyeloszlás (%); $q_3(x)$ sűrűség eloszlás (%)

Figure 4 Distribution diagrams for fibre fraction sample nr. 4. – $Q_3(x)$ mass distribution (%); $q_3(x)$ density distribution (%)

3150, 3550 μm . A vizsgálatból kihagytuk a további megfigyelésből azokat a szemcseméretű szitákat ahol 0,0%-os eloszlás adódott (1000-3550 μm), ezzel magyarázható hirtelen szitályuk méret növekedés a grafikon vízszintes tengelyén.

Laptulajdonságok

Az elkészült lemezek sűrűségét, vastagsági dagadását és hajlítózilárdságát a megfelelő MSZ EN szabványok szerint értékeltük (2. táblázat). A lapsíkra mérőleges csavarállósági vizsgálatot UNI 6952 Typ AB 4,2x38 csavarral (magátmérő: 2,9 mm) és 12 mm csavarási mélység alkalmazása mellett végeztük el a Fa-és Papíripari Technológiák Intézet Roncsolásmentes Faanyagvizsgáló Laboratóriuma által kifejlesztett készülékkel (Gergely, 1999) (5. ábra).

A farostlemezekre vonatkozó előírásokat tartalmazó 2. táblázat, és a kifejlesztett lemezek tulajdonságait összefoglaló 3. táblázat alapján megállapítható, hogy:

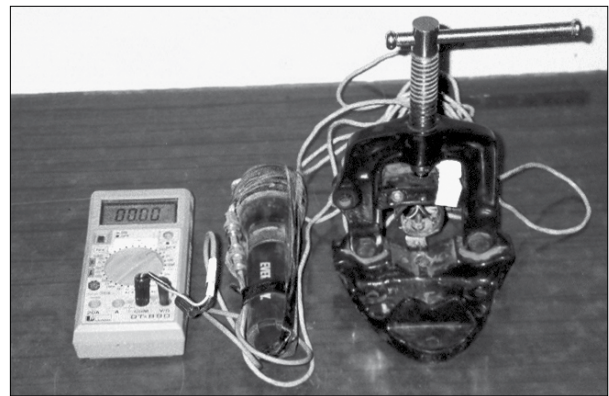
- A hajlítózilárdsági értékek alakulása egy esetben kötőanyag nélkül is megközelítette az MDF lap értékét, ugyanakkor negatívumként meg kell említeni, hogy mindez igen magas sűrűségi érték mellett történt.
- A csavarállóság tekintetében azonban jó értékek adódtak. Mindegyik esetben megfelel a kívánt követelményeknek.

2. táblázat A rostlemezekre vonatkozó követelmények (MSZ EN 622-1-5.)

Table 2 Standard values for fibre boards according to MSZ EN 622-1-5

Megnevezés	MDF lapvastagság (mm)				
	<6	6-12	12-19	19-30	>30
Sűrűség kg/m ³ (MSZ EN 323)	560-900	560-900	560-900	560-900	560-900
Nedvességtartalom % (MSZ EN 322)	4-11	4-11	4-11	4-11	4-11
Vastagsági dagadás 24 órás % (MSZ EN 317)	30	15	12	10	8
Hajlítózilárdság N/mm ² (MSZ EN 310)	23	22	20	18	17
Lapsíkra merőleges csavarállóság (N)	-	-	1050	950	950

- Komoly hátrányt jelent viszont a vastagsági dagadás érték alakulása. A papír rendkívül higroszkópos anyag. A kétórás áztatás után a szerkezeti integritás (összetartás) majdnem teljesen megszűnt, olyan mértékben, hogy a próbatetek terhelésre már teljesen alkalmatlanok voltak, kötőanyag nélkül ugyanis külső erőhatásra már réteges elválást mutattak.
- A papírost alkalmazása azonban új lehetőségként értékelendő a rostalapú kompozit lemezek területén, különös tekintettel az esetleges alapanyag kiszélesítés területére.



5. ábra Csavarállóság vizsgálati berendezés

Figure 5 Screw withdrawal testing setup

3. táblázat A kifejlesztett biokompozit termék legfontosabb tulajdonságai

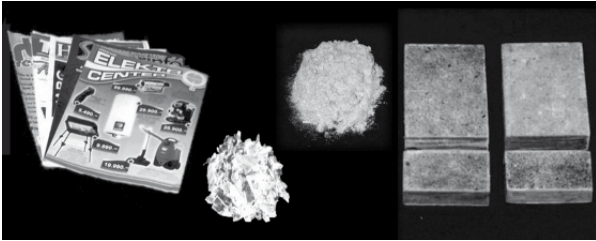
Table 3 Characteristic values of the developed biocomposite panel

Megnevezés	Biokompozit	
Sűrűség kg/m ³ (MSZ EN 323)	900 kg/m ³ <	
Nedvességtartalom % (MSZ EN 322)	9 ± 3	
Vastagsági dagadás % (MSZ EN 317)	80	
Hajlítózilárdság N/mm ² (EN 310)	1000 kg/m ³	8
	1200 kg/m ³	13
	1400 kg/m ³	26
Lapsíkra merőleges csavarállóság N (MSZ 2364)	1000 kg/m ³	1052
	1200 kg/m ³	1055
	1400 kg/m ³	1058

Összefoglaló

A lemezek tulajdonságait és felhasználási területét vizsgálva megállapítottuk, hogy:

- A papírost mint alapanyag már önmagában is környezetkímélő tulajdonsággal bír, az általunk

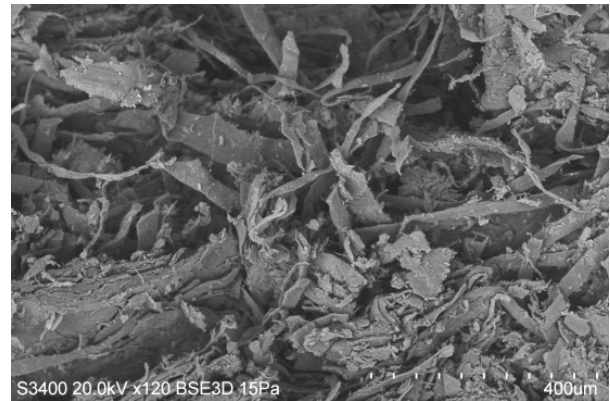


6. ábra Az alapanyagtól a végtermékig

Figure 6 From raw material to final product

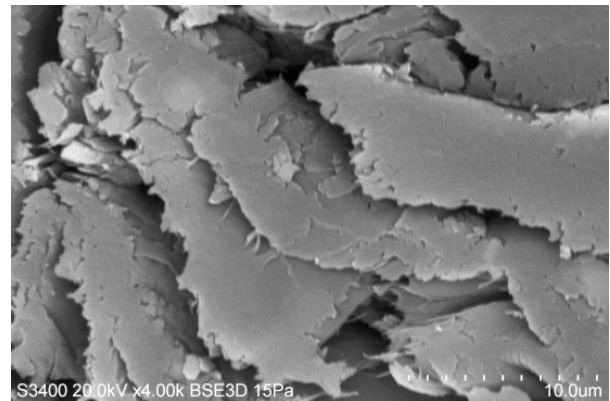
javasolt viszonylag egyszerű újrahasznosítási módja miatt pedig sok lehetőséget rejt magában ez a biokompozit termék.

- Ez a fafelhasználási mód megoldást kínál a színes papír újrahasznosításának környezeti problémáira, mivel a papíripari újrahasznosítással szemben lényegesen környezetkímélőbb ez a feldolgozási technológia.
- Az alapanyag-ellátást vizsgálva könnyen beláthatjuk, hogy nagy mennyiségben előforduló viszonylag olcsón és könnyen beszerezhető anyagról van szó.
- A technológia teljes körű kidolgozása és alkalmazása új dimenziókat nyithat meg a papírhulladék hasznosítása, ill. a lignocellulóz kompozit termékek terén (6. ábra).
- A színes papír hulladék thermo-viszkoelasztikusan viselkedik, így a nyomástartás javítja a belső sűrűségeloszlást a lapban.
- A hőprésből kikerülő lapok hőmérsékletének fokozatos csökkentése és a hidroszkópikus egyensúlyi állapot hatására azt követően beálló egyensúlyi nedvességtartalom (9,0%) a legfontosabb tényezők a szilárdsági tulajdonságok szempontjából.
- A gyártás során mivel nem kevertünk a rostokhoz külön kötőanyagot, így a szilárdulás folyamatában csak a papírban eredetileg bent lévő termoplasztikus kötő- ill. adalékanyagok vettek részt. A rost-rost kapcsolatok és a cellulóz molekulák közötti másodlagos kémiai kötések jelenlétét a REM felvételek is egyértelműen bizonyítják (7. és 8. ábra).
- A kísérletek során kapott eredmények a bútoriparban használt MDF lemezek követelményeit megközelítették, azonban csak azoknál jóval magasabb sűrűség mellett.
- A kötőanyag felhasználása további tulajdonságjavító szereppel bírhat, csökkentve ezzel a fokozott higroszkóposág okozta hátrányokat és javítva a felhasználhatósági lehetőségeket ezen új ökotermék számára.



7. ábra Rost-rost közti kapcsolat a lapszerkezetben (nagyítás: 120x)

Figure 7 REM of fibre-to-fibre adhesion within the panel (Magnification 120x)



8. ábra Rostkapcsolat és másodlagos kötések a papírlemez vágásfelületén (nagyítás: 4000x)

Figure 8 Fibre-to-fibre adhesion and intermolecular bonding on the cut surface of paperboard (Magnification: 4000x)

Irodalomjegyzék:

- Rab A. (1999) A papír újrahasznosítása; doktori (PhD) értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron
- Winkler A. (1999) Farostlemezek, Mezőgazdasági Szaktudás Könyvkiadó, Budapest
- Molnár S. (2000) Faipari kézikönyv I., Faipari Tudományos Alapítvány
- Kerekes S., Szlávik J. (2003) A környezeti menedzsment közgazdasági eszközei, KJK Kerszöv, Budapest
- Náray-Szabó G. (2006) Fenntartható a fejlődés? Akadémiai Kiadó, Budapest
- Gergely L. (1999) Csavarállóság mérése. In: Divós F. szerk. Roncsolásmentes faanyagvizsgálat, Mérési útmutató, Soproni Egyetem, Sopron 25-31. old.
- Takáts P. (2007) Szeretlen kötésű kompozitok, ankönyv, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. 122 old.

Megemlékezés Dr. Nagy Béla Gézaról, a FATE volt elnökhelyetteséről



Dr. Nagy Béla Géza

okleveles faipari mérnök

*FATE Örökös Tag
(2011)*

69 éves korában, hosszú, türelemmel viselt betegség következtében elhunyt Dr. Nagy Béla Géza faipari mérnök, a FATE volt elnökhelyettese, örökös tagja. Emlékezzünk meg tisztelettel és kegyelettel életének főbb állomásairól, szakmai munkásságáról:

1943. február 12-én született Jászalsószentgyörgyön egy faiparral és építészettel foglalkozó családban. 1962-ben kitűnő eredménnyel érettségizett a Verseghy Ferenc Gimnáziumban Szolnokon.

A Tisza Bútorgyárban kezdett dolgozni és sikeres felvételi vizsgát tett Sopronba, az Erdőmérnöki Főiskolára, ahol 1962-től faipari mérnök hallgatóként megkezdte a tanulmányait. Aktív résztvevője volt az egyetemi életnek és kiválóan tanult. Az Erdészeti és Faipari Egyetem Faipari Mérnöki Karán 1967-ben szerezte meg diplomáját a Tisza Bútoripari Vállalat ösztöndíjasaként.

1969-ig üzemvezetőként és műszaki osztályvezetőként, 1970-1981-ig főmérnökként, majd gyárigazgatóként dolgozott a Tisza Bútoripari Vállalat szolnoki gyárában és irányította a gyár modernizálását, fejlesztését egészen a nyugdíjazásáig.

1982-ben műszaki doktori címet szerzett a Faipari Mérnöki Karon. Felületkezelő anyagok és felületkezelő gépsorok alkalmazása volt a fő kutatási területe. Több elemes konyhabútort tervezett, amelyek gyártása évekig biztosította a szolnoki gyár sikeres működését.

Szakmai tevékenységének elismeréseként megkapta a Kiváló Feltaláló és Újító arany fokozatú kitüntetések, az Eötvös Lóránd-díjat és a Faipari Fejlesztéséért Emlékérmet. A Faipari Tudományos Egyesület munkáját országos elnökhelyettesként segítette, és vezette a szolnoki FATE csoport munkáját.

Kimagasló, kreatív szakmai és társadalmi munkássága mellett családapaként (egy fiú, egy leány) és nagyapaként (5 unoka) is példamutató életet élt. Szakmai munkáját tovább viszi fia, Dr. Nagy Béla Norbert PhD, a NymE Faipari Mérnöki Kar címzetes egyetemi docense, a Heitz Élfurnér Művek Kft. ügyvezető igazgatója.

Dr. Nagy Béla Géza faipari mérnök, FATE alelnök emlékét az Alma Mater és a Faipari Tudományos Egyesület kegyelettel megőrzi.

Szellemitulajdon-védelemről középiskolásoknak

A Szellemi Tulajdon Nemzeti Hivatala és a NYME-ERFARET Nonprofit Kft. a VIVACE (Vállalkozói Iparjogvédelmi Versenyképességet Alapozó Cselekvési Akcióprogram) keretében első ízben fog rendhagyó osztályfőnöki órák formájában a középiskolások számára szellemitulajdon-védelemről ismereteket átadni.

Az együttműködő felek fontosnak tartják, hogy a jövő vállalkozói, akik nagyon gyakran középfokú végzettséggel rendelkeznek, találkozzanak a szellemitulajdon-védelemmel (tudják mi a védjegy, mi a szerzői mű, mi az a műszaki találmány), tisztában

legyenek azzal, hogy ingyenes segítségért fordulhatnak a hivatalhoz és annak országos információs hálózatához (PATLIB-központok és a Magyar Kereskedelmi és Iparkamara területi képviselői).

A kísérleti órák a NYME Roth Gyula Gyakorló Szakközépiskola és Kollégium együttműködésével valósulnak meg, melyért a program szervezői külön köszönetet mondanak.



Szellemi Tulajdon
Nemzeti Hivatala



A FAIPAR megjelenését támogatta a

Talentum

Talentum – Hallgatói tehetséggondozás komplex feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen
 Projektazonosító: TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2010-0018

A projekt célja a Nyugat-magyarországi Egyetem tehetséggondozási koncepció, a tudományos utánpótlás-nevelés magas színvonalú megvalósításának biztosítása komplex feltételek megteremtése által, amelyek lehetővé teszik a tehetségek számára az egyéni és közösségi tudományos fejlődést. Ennek az oktatói és hallgatói igények harmonizálásával kell megvalósulnia, a TDK, szakkollégiumi és doktori iskolai tevékenységek hatékony egyetemi koordinálásával, a karokon átívelő regionális, interdiszciplináris hálózat létrehozásával.



Nyugat-magyarországi Egyetem
 cím: 9400 Sopron, Erzsébet u. 9.
 telefon: 06 99 518-453
 e-mail: talentum@sopron.nyme.hu
 web: <http://talentum.nyme.hu>

Nemzeti Fejlesztési Ügynökség
www.ujszechenyiterv.gov.hu
 06 40 638 638



A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Tudományos cikkek benyújtása a Faipar részére

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

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

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

Varga Dénes

NymE-ERFARET Nonprofit Kft.

9400 Sopron Bajcsy-Zsilinszky u. 4.

E-mail: vargadenes@nyme.hu

Tel.: 99/518 602 Fax: 99/518 601

FAIPAR

A FAIPAR TUDOMÁNYOS FOLYÓIRATA

Szerkesztőség:

Bejő László főszerkesztő

Varga Dénes szerkesztő

Farkas Péter, Somos András tördelőszerkesztő

Kantó-Simon Ildikó olvasószerkesztő

Szerkesztőbizottság:

Molnár Sándor (elnök), Albert Levente,

Csóka Levente, Hargitai László,

Kovács Zsolt, Peszlen Ilona,

Szalai József, Tóth Sándor,

Varga Mihály, Winkler András

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

Kiadja a NymE-ERFARET Nonprofit Kft.

Design: Farkas Péter

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

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

Megjelenik negyedévente.

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

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

Készült a soproni ReproLan Kft. nyomdájában, 500 példányban.

HU ISSN: 0014-6897

Címlap:

Mocsárciprus lelet a bükkábrányi bányában – kapcsolódó cikkünk az 5. oldalon (fotó: Börcsök Zoltán, 2007)