

Tudományos tartalom:

- Szezonális hőtároló rendszer lehűlési folyamatának számítógépes modellezése ...6
- Fotodegradáció hatására fellépő felületéresedés vizsgálata az infravörös szinkép segítségével ...11
- Paraffinban végrehajtott hőkezelés hatása a bükk és a nyár faanyag egyes tulajdonságaira ...17
- Formaldehid-koncentráció egy új építésű vázszerkezetes épületben ...23

Scientific content:

- Computer modeling of the cooling process of a seasonal heat storage system ...6
- Roughness change analysis of photodegraded wooden surfaces by infrared spectroscopy ...11
- The effect of heat treatment in hot paraffin bath on selected properties of beech and poplar wood ...17
- Formaldehyde concentration in a newly built wooden frame house ...23

Tradíció és haladás egy névbe sűrítve:

Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar

Dr. Alpár Tibor L. dékán

Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar névre változik 2013. október elsejétől a Nyugat-magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Karának elnevezése. Erről – a kar tanácsának előterjesztésére – az egyetem Szenátusa döntött, egyhangúlag támogatva a név megváltoztatását. Sok éves előkészítő munkát takar ez a névváltás, és a fokozatos fejlődésen alapul. A Faipari Mérnöki Kar történetének 50 éve alatt az oktatási profil olyannyira kiszélesedett és az új területeken is olyan komoly értékek teremődtek, hogy ezek megjelenítése a kar nevében már nem várathatott magára tovább. A hosszú név részekre bontásával és ezek elemzésével sok kérdésre választ kaphatunk, főként a „miért” kezdetűekre.



Műszaki területen három alap- és négy mesterszakon, művészeti területen szintén három alap- és négy mesterképzési szakon, informatikai területen pedig egy alapszakon és ennek folytatását jelentő mesterszakon zajlik karunkon oktatás, összesen mintegy kilencszáz hallgatóval. Bár az országosan egyedülálló faipari képzés továbbra is központi jelentőségű, a faipari mérnökhallgatók aránya (nappali + levelező + mesterképzés) jelenleg kevesebb, mint 30%, ezért indokoltá vált egy, a kar teljes képzési és kutatási területét jobban kifejező név felvétele.

A kar nevében a kiemelt műszaki megnevezés a 84%-ban oktatott műszaki és informatikai szakokra utal, amelyek a hagyományos faipar mellett a mechatronika, az ipari termék- és formatervező mérnök, a műszaki menedzser és a gazdaságinformatikus. A kar évek óta stratégiája egyik alappillérenek tekinti a régió műszaki felsőoktatási és kutatási hátterének mind szélesebb körű, és megalapozott biztosítását.

Az Alkalmazott Művészeti Intézet – mely a formatervező művész, az építőművész és a tervezőgrafikus képzést gondozza – idén ünnepli fennállásának huszadik évfordulóját. Az eltelt két évtized alatt olyan rangot sikerült kivívnia magának a művészeti oktatásban, hogy pl. a HVG 2009-es rangsorában a nyolc vizsgált művészeti felsőoktatási intézmény között a legelőkelőbb, első helyen végzett. A rangsor több szempont figyelembevételével készült, vizsgálták pl. az oktatói minősítéseket és a hallgatók eredményességét is. Ennek a helyezésnek, és sok, nemzetközi szinten is kimagasló sikernek a folytatása, hogy a 2013 tavaszán zajlott kari akkreditáció lezárásaként készült bizottsági jelentés már javasolta a művészeti terület megjelenítését a kar nevében is.

A „faanyagtudomány” nevesítése a kar profiljában többszörösen is indokolt. Joggal merül fel a kérdés, hogy miért nem maradt a megszokott, és az ipar számára is jobban értelmezhető „faipari” név? A felsőoktatási képzések országos besorolásában a faipari mérnöki szak a műszaki képzésekhez tartozik, ennél fogva külön megjelenítése a névben nem lenne indokolt. A „faanyagtudományi” jelző viszont ez esetben



a legmagasabb szintű, doktori (PhD) képzés jelenlétére utal, amellet, hogy az első induló és máig meghatározó fontosságú, országosan egyedi szakterületünk megnevezését is szolgálja. A kar profiljának felsorolásából, ill. a részterületek összerakásából származó név azonban hosszú, nehezen megjegyezhető, és az emberek többsége közömbösen reagálna rá.

A Simonyi Károly név felvétele azonban – bár a hivatalos nevet még hosszabbá teszi – sok mindent megkönnyít, és mélységében, tartalmában is sokat tesz hozzá a kar nevének értelmezéséhez. Mindenekelőtt kifejezi azt, hogy őrizzük múltunk értékeit, nagyra becsüljük régi professzorainkat, az ő teljesítményeiket, és közülük választjuk példaképeinket.

Simonyi Károly professzor neve a karon jelenlevő többféle szakterület együttlétét egyértelműen hitelesíti, mint ahogy hazai és nemzetközi viszonylatban is elismert kiemelkedő műve, „A fizika kultúrtörténete” is kiváló példáját adja a természettudomány és kultúra, a műszaki és művészeti világ egységének. Simonyi Károly 1948–52 között dolgozott Sopronban. A kar Fizika és Elektrotechnika Intézetének jogelődjében megépített részecskegyorsító elismeréseként kapott Kossuth-díjat 1952-ben. Sopronba érkezéséről, itt szerzett első benyomásairól így nyilatkozott egy 1986-ban készült interjúban: » *Megdöböntett, mennyire erős fakultás a soproni, milyen színvonalas munkát végeznek a kutatók. Sopronban Tárczy-Hornoch Antalón kívül olyan világszerte ismert szakemberek oktattak, mint Boleman Géza, Verő József, Mika József és mások. Budapestről érkezvén is azt éreztem, nagyon-nagyon rá kell kapcsolnom, ha méltó akarok lenni a karon végzett munka színvonalához.* «

Simonyi kiemelkedő tudós-tanár volt, aki mintegy négy évtizeden át közvetlenül alakította és művein keresztül máig is alakítja a magyar mérnök-generációk szemléletét. Alkotásai mellett különleges értéket jelent az ő emberi és tanári teljesítménye, melyet diákjai és munkatársai egyaránt csodáltak és számos visszaemlékezésben meg is örökítettek.

Lux András kohómérnök, a Fizika-Elektrotechnika Tanszék akkori tanársegédje így emlékezett rá: » *Simonyi Károllyal töltött éveim kiemelkedő élményei voltak azok a szerda esti felajánlott előadásai, amelyeket az önként jelentkező asszisztensek, tanársegédek és adjunktusok számára hirdetett meg. Itt az atomfizika egyes fejezeteiből, illetve az elméleti villamosságtanból adott elő Igen fontos megnyilatkozásnak tartom Simonyi 1985-ben tett kijelentését, miszerint: Életem legeredményesebb és ugyanakkor legboldogabb időszaka az a fél évtized volt, amit Sopronban töltöttem.* «

Karlovits József kohómérnök szintén tanársegéd volt a tanszéken a kísérlet idején. Ő így nyilatkozott róla: » *Simonyi Károlyt 1952-ben Kossuth-díjjal tüntették ki. A professzort akkor nemcsak kiváló tudósnek, hanem nagyszerű embernek is megismerhettük. Az elismeréssel járó pénzjutalmat ugyanis hatfelé osztotta, mindenkinek adott belőle, aki a kísérlet előkészítésében, vagy végrehajtásában részt vett.* «

Wallner Ákos bányamérnök négy féléven át hallgatóként vehetett részt Simonyi Károly előadásain: » *Simonyi Károly egyike volt a legkiválóbb tanároknak, akiknek előadásait egyetemi tanulmányaim során alkalmam volt hallgatni. A világos, érthető, ugyanakkor tömör előadásokat a professzor úr sokszor fűszerezte hangulatos, humoros megjegyzésekkel, valamint a tárgytól távolabb eső közbevetésekkel is, amelyek tanúsították széleskörű, nem mindennapi tudását.* «

Az egyetem rektora és a kar dékánja levélben kérte Simonyi professzor özvegyétől a névfelvétel lehetőségét, amelyre 2013. szeptember 8-i keltezéssel megérkezett a család hozzájárulása.

Az új név tehát ezzel eldőlt és – ahogy a mondás is tartja – a név kötelez! A kar küldetésének tekinti, és minden szakterületén arra törekszik, hogy Simonyi Károly nevéhez és örökségéhez méltó lehessen. Ehhez sok munkára, igényességre, kiváló oktatói és kutatói teljesítményre van szükség. Bízunk abban, hogy néhány év múlva a „soproni Simonyi kar” említése is elég lesz ahhoz, hogy a hosszú név nélkül is mindenki tisztában legyen a kar szakterületeivel, pozitív asszociációi legyenek, ha egy itt végzett diplomással találkozik, és hogy talán a Simonyi név révén kicsit többen kerülnek közelebb a természettudományokhoz, a fizikához is, ami a 21. században szintén kiemelt fontosságú kérdés.

Prológus Prologue

Tradíció és haladás egy névbe sűrítve: Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar » *Dr. Alpár T.* « ... 3

Tudomány Science

Szezonális hőtároló rendszer lehűlési folyamatának számítógépes modellezése » *Horváth T. – Pásztor Z.* «
Computer modeling of the cooling process of a seasonal heat storage system » *T. Horváth – Z. Pásztor* « ... 6

Fotodegradáció hatására fellépő felületérsedés vizsgálata az infravörös szinkép segítségével » *Molnár Zs. – Tolvaj L. – Magoss E.* «
Roughness change analysis of photodegraded wooden surfaces by infrared spectroscopy » *Zs. Molnár – L. Tolvaj – E. Magoss* « ... 11

Paraffinban végrehajtott hőkezelés hatása a bükk és a nyár faanyag egyes tulajdonságaira » *Csordás D.* «
The effect of heat treatment in hot paraffin bath on selected properties of beech and poplar wood » *D. Csordás* « ... 17

Formaldehid-koncentráció egy új építésű vázszerkezetes épületben » *Patkó Cs. – Pásztor Z.* «
Formaldehyde concentration in a newly built wooden frame house » *Cs. Patkó – Pásztor Z.* « ... 23

Gazdaság Economy

Vietnam faipara: robbanásszerű fejlődés veszélyekkel » *Molnár A. – Pásztor Z.* «
The wood industry of Vietnam: a development boom with risks » *A. Molnár – Z. Pásztor* « ... 29

Élet Life

Telemetriai rendszer fejlesztése
Projektzáró bemutató Zalaegerszegen » *Prof. Dr. Varga M.* « ... 36

Az első Akkreditált Innovációs Klaszter cím a Nyugat-dunántúli régióban:
a Pannon Fa- és Bútoripari Klaszter megújulása » *Pakainé Dr. Kovács J.* « ... 37

Szerkesztői oldal Editorial

... 38



Szezonális hőtároló rendszer lehűlési folyamatának számítógépes modellezése

HORVÁTH Tibor¹, PÁSZTORY Zoltán¹

¹ NymE FMK Innovációs Központ

Kivonat

E tanulmányban elvégeztük egy virtuális, lakáscélú passzívházban elhelyezett szezonális, szenzibilis hőtároló rendszer lehűlési folyamatának számítógépes modellezését. A hőtömbnek elnevezett rendszer hőtani jellemzőinek számítása és elemzése (pl. az átlaghőmérséklet és a hőveszteség időbeli változása, a teljes hőveszteség nagysága) végelem módszerrel történt, megadott feltételek mellett. Kiszámítottuk és grafikonon ábráztuk az épület fűtését fedező tömbből kinyert hőenergia, valamint a konvektív felületi és lefelé irányuló hőveszteségek nagyságát és arányát. Megállapítottuk a modell elméleti korlátait és a hőtároló tömb alkalmazhatóságának körülményeit. A fűtési időszakban rendelkezésre álló napenergia felhasználásával, a vizsgált hőtároló rendszer alkalmas lehet egy passzív lakóépület fűtési energia igényeinek fedezésére.

Kulcsszavak: passzívház, hőtömb, szezonális hőtároló, szenzibilis hőtároló, TES, végelem módszer

Computer modeling of the cooling process of a seasonal heat storage system

Abstract

In this study, the cooling process of a seasonal, sensible thermal energy storage (TES) system placed in a virtual passive home was computer-modeled. With given conditions, the thermal characteristics (e.g. change of average temperature and heat loss over time, overall heat loss) of the TES system called the "heat container" were computed and analyzed, using finite element method. Quantity and the ratio of recovered heat for heating the building to the heat losses over the convective surface and through the base were calculated and plotted. The limitations of the model, and the circumstances of the applicability of the heat container were discussed. Utilizing solar energy available in the heating period, the examined thermal energy storage system may be able to cover the heating demands of a passive house.

Key words: passive house, heat container, seasonal heat storage system, sensible heat container, thermal energy storage, finite element method

Bevezetés

Napjainkban az épületek tervezésekor figyelembe vett tényezők közül egyre nagyobb hangsúlyt kap az üzemszerű működést jellemző energiamérleg becslése, számítása. Ennek létjogosultsága nem vitatható, tekintve, hogy az épületek éves energiafogyasztása általában jelentős részét teszi ki egy ország teljes energiafelhasználásának (Gordon és Holness 2008). Az Európai Unióban ezt az értéket 40%-ra becsülik, emellett az éves szén-dioxid kibocsátás 30%-át is az épületekhez kötik (European Commission 2005). Az elsődleges energiafelhasz-

nálást jelenleg döntően a fosszilis tüzelőanyagok fedezik (Fantazzini et al. 2011), melyekből számos fejlett ország jelentős importra szorul, s nem hanyagolható el a fejlődő országok növekvő igénye sem (Nuttall és Manz 2008). Ugyanakkor a fosszilis tüzelőanyagok hosszú távú elérhetősége erősen kérdéses (Nashawi et al. 2010), sőt egyes tanulmányok szerint a fosszilis tüzelőanyagok jelentős részét adó olaj kitermelésének üteme 2004-ben elérte a maximumát (Fantazzini et al. 2011). Mindeközben hosszú távon az energiaárak folyamatos emelkedése figyelhető meg, mely tendencia a jövőben várhatóan

még kedvezőtlenebbül alakul majd (Shafiee és Topal 2010). Nem elhanyagolható a fosszilis tüzelőanyagok elégetése során a légkörbe kerülő szén-dioxid üvegházhatást fokozó szerepe sem, melynek korlátozása egyik alapvető szempontja a fenntartható fejlődésnek. A felmerülő problémákra megoldást jelenthet a megújuló energiaforrások kiaknázása, bár ezek szerepe az energiaiparban még alacsonynak mondható (Fantazzini et al. 2011).

Az épületek üzemeltetése okozta „ökológiai lábnyom” csökkentése érdekében törekednünk kell az épületek energiahatékonyságának növelésére. Az Európai Unió 2010/31/EU 2010 direktívája szerint 2020 végéig el kell érni, hogy minden új épület nagyon alacsony vagy közel zéró energiaigényű legyen. Európában – ahol a lakóépületek fűtési és melegvíz-előállításra célú energiafogyasztása azok teljes energiafelhasználásának 82%-át is kiteheti (Linder és Bhar 2007) – az energiamérleg javításának az egyik leghatékonyabb módja az épületszigetelés javítása. E téren napjainkban is számos kutatást végeznek, például a konvekció hatásának csökkentése (Al-Hazmy 2010, Baïri 2008), illetve a reflektív szigetelőanyagok használata tekintetében (Saber 2012).

Az épületek fűtéséhez szükséges energia előállítására hosszú távon célszerűnek tűnik a megújuló energiaforrások (nap- és szélenergia, geotermikus energia) használata. Ezek közül Magyarországon a napenergia többnyire megfelelő mennyiségben áll rendelkezésre, azonban az év során eltérő mértékben: nyáron általában nagyobb, télen kisebb a besugárzás nagysága. Ugyanakkor, mint közismert, a fűtési igény az utóbbi időszakban jelentkezik fokozottan, s az ekkor hasznosítható napenergia sok esetben nem fedezi a fűtési energiaigényt. A nyáron jelentkező energiátöbblet fűtési időszakban történő hasznosításához szükséges tehát valamilyen hőtároló mechanizmus alkalmazása, mely biztosítja az elérhető napenergia lehető legteljesebb mértékű kihasználását. Az 1940-es évektől kezdve számos próbálkozás történt ilyen szezonális hőtároló (thermal energy storage, röviden TES) rendszerek kifejlesztésére. A témának jelentős szakirodalma van, több összefoglaló jellegű művel (Dincer és Rosen 2011, Agyenim et al. 2010, Pinel et al. 2011). E rendszerek csoportosítása általában az energiatárolás elve alapján történik: megkülönböztetnek (termo-) kémiai, látens és szenzibilis hőtároló rendszereket (Dincer 2002). Az első esetben a hőtárolás

egy adott, irányított kémiai folyamathoz kötődő energiaváltozásra támaszkodva valósul meg. A második esetben valamilyen fázisváltó anyag halmazállapot-változását kísérő hő elnyelődésén illetve felszabadulásán alapszik a hőtárolás. A szenzibilis hőtárolókban a rendszer hőmérsékletének emelésével érhető el a többlet energia tárolása. A három típus közül a szenzibilis hőtárolók a legolcsóbbak, mivel tároló közegük általában víz vagy kő, ugyanakkor ezeknél érhető el a legkisebb energiasűrűség. A viszonylag nagy működési hőmérséklet-tartományok miatt, az elérhető legkisebb felület-térfogat arány mellett, a lehető legjobb szigetelés kialakítására is ügyelni kell, így minimalizálva a nem kívánt hővesztéseket (Pinel et al. 2011). A hőtároló rendszerek méretezését napjainkban jelentősen megkönnyíti a számítógépes modellezés lehetősége, mely olyan előnyökkel bír, mint az ismételhetőség, a paraméterezhetőség és az alacsony költségvonat. E tanulmány célja egy szezonális, szenzibilis hőtároló rendszer – a továbbiakban: hőtömb – energiavesztésének számítógépes modellezése a fűtési időszakra vonatkozóan, adott feltételek mellett, s annak megállapítása, hogy milyen körülmények között van létjogosultsága a rendszer alkalmazásának.

Modellezés és módszer

A modellezés során egy 120 m²-es passzívházból indultunk ki, két különböző fűtési energiaigénnyel: 12 és 6 kWh/m²/év értékkel. Ebből következően, a teljes épület fűtési energiaigénye 1440 illetve 720 kWh/év, melynek biztosítását teljes mértékben a szezonális hőtároló rendszerre bíztuk. A fűtési idény hosszát 150 napnak vettük, és az épület éves fűtési energiaigényét kizárólag erre az időszakra vetítettük. Feltételeztük, hogy a fűtési idény során, a hőtömbből egyenletes mértékű hőkinyerés történik, ebből következőleg az energia kivétel nagysága folyamatosan 400, illetve 200 W volt.

A hőtömb viselkedésének modellezését a COMSOL Multiphysics 4.0 végelem szoftver segítségével végeztük. A tömb téglalapot alakú, szilárd, szilikát alapú hőtároló magja 4,20 m hosszú, 1,40 m széles és 1,95 m magas volt, mely körül egy háromrétegű szigetelőrendszer helyezkedett el. A rétegvastagságok belülről kifelé haladva 0,10 m, 0,28 m és 0,21 m, anyaguk ugyanebben a sorrendben: WDS Ultra, FOAMGLASS, illetve PIR. Az egyes anyagok hőtani jellemzői az 1. táblázatban olvashatók. A legtöbb esetben az anyagjellemzőket állandónak feltételeztük, a FOAMGLASS hő-

vezetési tényezője azonban nagyfokú hőmérsékletfüggést mutat, így ebben az esetben függvényt adtunk meg. A nedvességtartalom anyagtulajdonságra és geometriára gyakorolt hatását, valamint a kontakt hőellenállást elhanyagoltuk (tökéletes geometriát és az egyes szerkezeti elemek között tökéletes illeszkedést vettünk figyelembe).

1. táblázat A hőtömb szerkezeti elemeinek hőtani tulajdonságai
Table 1 Thermal properties of the structure elements of the heat container

Szerkezeti elem	ρ [kg/m ³] ^a	C_p [J/kgK] ^b	λ [W/mK] ^c
Hőtömb magja	2285	810	1,5
1. szigetelőréteg (WDS Ultra)	230	800	0,020
2. szigetelőréteg (FOAMGLASS)	105	840	$\lambda_F(T)^*$
3. szigetelőréteg (PIR)	30	1400	0,022

^a sűrűség, ^b fajhő, ^c hővezetési tényező

$$* \lambda_F(T)[\text{W/mK}] = 0,04497847 + 1,480487 \cdot 10^{-4} \cdot T[^\circ\text{C}] + 2,273659 \cdot 10^{-7} \cdot (T[^\circ\text{C}])^2$$

A modellben feltételeztük, hogy a hőtömb az épületen belül kerül elhelyezésre. A tömb függőleges oldalain és tetején ennek megfelelő konvektív hűtést számítottunk, 20 °C léghőmérséklettel és 5 W/m²K hőátadási tényezővel (másodfajú peremfeltétel). A sugárzásos hővesztesség külön történő modellezésétől eltekintettünk, figyelembe véve, hogy a hatékony szigetelőrendszernek köszönhetően, a hőtároló rendszer felületi hőmérséklete a környezetétől nem tér el jelentősen, valamint a külső szigetelőréteg alacsony emisszivitású bevonattal van ellátva. A hőtömb egy 0,2 m vastagságú alaplemeze került elhelyezésre, melynek vízszintes méretei minden irányban 0,2 m-rel meghaladták a tömb méreteit. Az alaplemez és a tömb közötti szigetelés ugyan olyan rétegrenddel lett kialakítva, mint a tömb oldalain. Az alaplemez feladata a tömb súlyának egyenletes elosztása az épület alapján. Alsó és oldalsó lapjain állandó 15°C-os hőmérsékletet vettünk figyelembe (elsőfajú peremfeltétel), a felső szegélyén a fent említett konvektív hűtést adtuk meg. A hőtömb és alaplemez között tökéletes illeszkedést feltételeztünk.

Az időben változó modellezéshez szükséges, kiinduló hőmérsékleti állapot megadását stacioner modellezéssel végeztük, melyet nevezhetünk „előfűtésnek”. Ennek során a hőtároló rendszer felfűtését

egy 3,00 m hosszú, 0,70 m széles, 0,05 m vastag vízszintes fűtőlappal valósítottuk meg, melyet 0,075 m-rel a hőtömb magjának vízszintes felezősíkja fölött, középen helyeztünk el. Ennek hőmérséklete 200°C volt. A hőtömbben egyensúlyi állapotban kialakult hőmérséklet- és hőáram-mező jelentette az időben változó modell kiindulási állapotát.

A hőtároló rendszer kihűlésének modellezésekor feltételeztük, hogy a hőtömbbe nem történik energia utánpótlás, hanem kizárólag abból a hőmenyiségből próbáljuk meg fedezni az épület fűtési energia igényét, amit az „előfűtés” a tömbbe juttattunk. A hőkivétel a tömb magjának a felső részén, a mag és a szigetelés közötti határfelület mentén, egyenletes eloszlással történt, a korábban említett állandó 400, illetve 200 W teljesítménnyel. A szimulációt addig futtattuk, míg a tömb magjának átlaghőmérséklete el nem érte az általunk még elfogadhatónak ítélt 30°C-os küszöbértéket.

A végelem-modellezés részét képező hálógenerálás során kvadratus, tetraéder térfogatelemeket alkalmaztunk. A hálóbontást addig növeltük, míg a stacioner modellezés során, a hőtömb felületén fellépő konvektív hővesztesség nagyságában a relatív eltérés (két különböző hálózás eredménye között) 0,001-re nem csökkent (0,1%-os eltérés).

Eredmények

A modellezés során vizsgáltuk a hőtömb magjára számított átlaghőmérséklet alakulását és a hőtároló rendszer hőenergia-vesztését az idő függvényében. Utóbbi három formában jelentkezik:

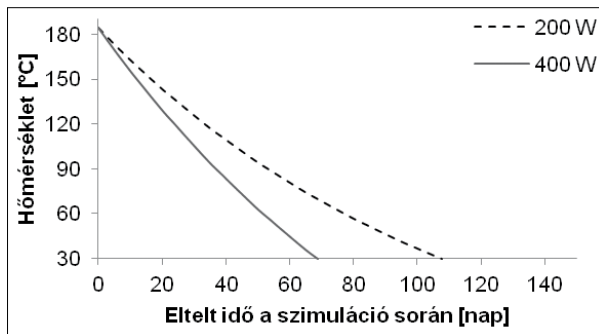
- az épület fűtési energiaigényét fedező *kinyert hő*,
- a hőtömb szabad felületén fellépő konvektív *hővesztesség*,
- a tömb alján az alaplemez irányába távozó *talapzati hővesztesség*.

A szimuláció alapján megállapítható, hogy 400 W teljesítményű hőkivétel mellett 69 napig, míg 200 W esetén 108 napig biztosítja a hőtömb az épület fűtési energia igényét, mielőtt a hőtároló mag átlaghőmérséklete eléri a küszöbértéket (1. ábra).

A hőtömb alaplemezzel érintkező alsó felületén, valamint a levegővel határos szabad felületén fellépő talapzati, illetve konvektív hőáram nagyságának időbeli változása a 2. ábrán követhető nyomon. Kezdetben a konvektív és talapzati hővesztesség aránya 4,12, ami nincs messze a hőtömb konvektív felületének és alsó lapjának felszínarányától (4,59). Az idő előre haladtával, a tömb hűlése miatt, a talapzati és konvektív hőáramok nagysága egyaránt

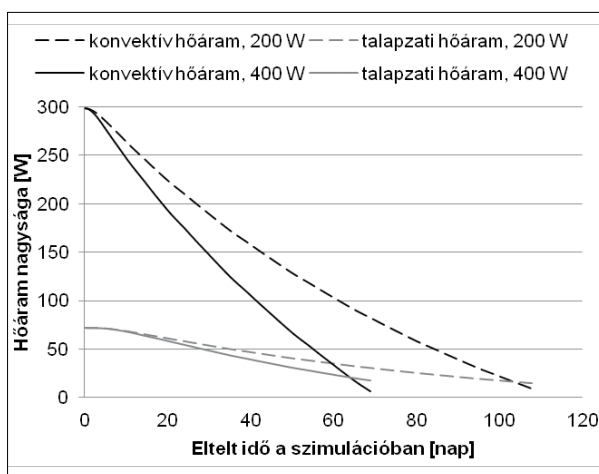
csökken, azonban az utóbbi nagyobb ütemben. Ez annak tudható be, hogy a hőkivétel a tömb felső részén történik, mely így gyorsabban hűl le, mint az alsó, és tekintve a hőtömb magjának alacsony hővezetési tényezőjét, a hőkiegyenlítődési folyamat túl lassú. A szimuláció végén a konvektív és talapzati hőáramok aránya, 400 W teljesítményű hőkivétel mellett 0,38, 200 W esetén 0,62.

Az átlagos hőáramsűrűségek tekintetében, a szimuláció végén még nagyobb eltéréseket kapunk. Kezdetben, a hőtömb konvektív felületére számított átlagos hőáramsűrűség ($4,68 \text{ W/m}^2$) és a tömb alsó felületére számított átlagos talapzati hőáramsűrűség ($5,22 \text{ W/m}^2$) aránya 0,90. A szimuláció végén, 400 W teljesítményű hőkivétel mellett a konvektív ($0,11 \text{ W/m}^2$) és talapzati ($1,29 \text{ W/m}^2$) átlagos hőáramsűrűség aránya 0,09. Amennyiben 200 W teljesítményű hőkivétel tör-



1. ábra A hőtömb magjának átlaghőmérséklete a szimuláció idejének függvényében

Figure 1 Average temperature of the core of heat container during the simulation period



2. ábra A talapzati és a konvektív hőáram nagyságának változása az idő függvényében 200 és 400 W teljesítményű hőkivétel mellett

Figure 2 Base and convective heat transfer change over time for a heat recover rate of 200 and 400 W

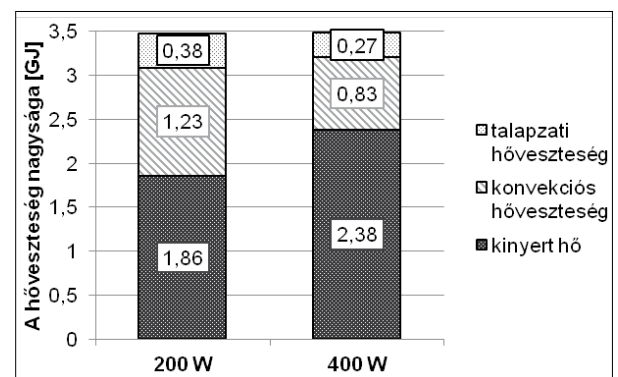
ténik, a konvektív ($0,14 \text{ W/m}^2$) és talapzati ($1,05 \text{ W/m}^2$) átlagos hőáramsűrűség aránya 0,13-ra csökken a modellezés végére.

Ha összehasonlítjuk a 400 W és 200 W teljesítményű hőkivétel során fellépő hőveszteségeket, azt látjuk, hogy mindkét esetben megközelítőleg ugyanakkora mennyiségű hőenergia távozik a hőtömbből a szimuláció végére, vagyis amikor a tömb magjának átlaghőmérséklete eléri a 30°C -ot (3. ábra). Az eltérés a kinyert és a veszteségként jelentkező hő arányában mutatkozik: az intenzívebb hőkivétel összességében nagyobb arányú hasznos hőt jelent. 400 W esetén a teljes hőveszteség 68,4%-a, 200 W mellett 53,6%-a a kinyert hő, a többi a tömb felületén távozik. Ugyanakkor nagyobb mértékű hőkivételkor a hőtömb rövidebb ideig képes biztosítani az épület fűtési energia szükségletét.

Következtetések

A modellezés szerint, a vizsgált nagyságú hőkivételeket tekintve, a hőtömb a tervezett 150 napnál kevesebb ideig képes fedezni az épület fűtési hőigényét, a megadott feltételekkel. Emellett a szimulációban feltételezett állandó teljesítményű hőenergia-kivétel valós körülmények között nehezen kivitelezhető, mivel a folyamat hajtóerejét jelentő hőmérséklet-különbség az idő során csökken. Így várhatóan a kinyert és a veszteség-hő aránya a számítottnál valamivel kisebb. Felhívjuk azonban a figyelmet, hogy a modell nem számolt a kontakt hőellenállással, mely a hőtároló rendszer szerkezeti elemei között fellép, s csökkenti a nem kívánt hőveszteséget.

Bár a peremfeltételek felállításakor úgy tekintettük, hogy a hőtömb az épületen belül kerül elhelye-



3. ábra A hőtömb energiavesztesége a szimuláció végére a vizsgált esetekben

Figure 3 Total energy loss of heat container by the end of the simulation for the examined cases

zésre, ezt a szempontot a hasznos hő számításakor figyelmen kívül hagytuk. Ugyanakkor a tömb szabad felületén fellépő konvektív hőveszteség is közvetlenül az épületben hasznosul, így valódi veszteségként csak a talapzati hőveszteség jelentkezik. Ez kezdetben kisebb, az idő előre haladtával azonban a konvektív hőveszteséghez viszonyítva számottevővé válik, és összességében sem elhanyagolható nagyságú: a tömb teljes hőveszteségének – beleértve a kinyert hőt is – 11%-a, illetve 7,8%-a (200 W, illetve 400 W hőkinyerés esetén). A konvektív hőveszteség figyelembe vételével a hőtömbből történő hőkinyerés mértéke csökkenthető (az épület fűtési energia igényének változatlan biztosítása mellett), így a rendszer a számítottnál hosszabb ideig képes a fűtési energia igényt fedezni. Tekintetbe kell azonban azt is vennünk, hogy egy 200 W fűtési energia igényű épület esetén a konvektív hőveszteség nagysága az első 27 napban meghaladja az épület energiaigényét (közel 300 W-ról indul, ahogy az a 2. ábráról leolvasható), így ezt valamilyen módon ellensúlyozni kell a túlmelegedés elkerülése miatt. Ennek érdekében a hőtömböt az épülettől hőtechnikailag el kell választani, például a tömbnek az épület föld alatti helyiségében való elhelyezésével vagy kiszellőztetésével.

A modellezés során egy „előfűtött”, de a téli időszakban ráfűtés nélkül üzemelő hőtömb segítségével próbáltuk biztosítani a virtuális épület fűtési energia igényét. A modellezést egyenletes hőigény mellett végeztük el, és figyelmen kívül hagytuk az időjárás ingadozásából származó hőigény ingadozásokat. Ezen felül nem számoltunk az épületen belüli esetlegesen tervezett hőmérsékleti beállítások változásaival és a fűtési idényben a környezetből kinyerhető energia mennyiségével sem. E két utóbbi tényező figyelembe vétele feltehetően kedvezőbbé teheti a hőtároló céljának elérését. A rendszer működésének modellszerű meghatározásához további tényezők figyelembe vétele is szükséges, melyeket későbbi publikációkban adunk majd közre.

Összefoglalva a modellezés eredményét megállapíthatjuk, hogy passzívházak esetén a megújuló energiaforrások alkalmazása szezonális hőtárolással kombinálva elméleti alternatívát kínál a téli hőigény kielégítésére.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Környezettudatos energia hatékony épület című, TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-

2012-0068 számú projekt támogatásával az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- Agyenim F., Hewitt N., Eames P., Smyth M. (2010) A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2): 615-628.
- Al-Hazmy MM. (2010) Numerical investigation on using inclined partitions to reduce natural convection inside the cavities of hollow bricks. *International Journal of Thermal Sciences* 49(11): 2201-2210.
- Baïri A. (2008) Nusselt–Rayleigh correlations for design of industrial elements: Experimental and numerical investigation of natural convection in tilted square air filled enclosures. *Energy Conversion and Management* 49: 771-782.
- Dincer I. (2002) On thermal energy storage systems and applications in buildings. *Energy and Buildings*, 34(4): 377-388.
- Dincer I., Rosen MA. (2011) *Thermal Energy Storage: Systems and Applications*. Wiley, Second Edition, ISBN 978-0-470-74706-3.
- Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32010L0031:EN:NOT>, megtekintve: 2012. november 22.)
- European Commission (2005) *Report on the Green Paper on Energy or Doing More With Less*. Brussels.
- Fantazzini D, Höök M, Angelantoni A (2011) Global oil risks in the early 21st century. *Energy Policy* 39(12): 7865–7873.
- Gordon VR., Holness RE. (2008) Improving Energy Efficiency in Existing Buildings. *ASHRAE Journal*, 50: 12-26.
- Linder S., Bhar R. (2007) Space conditioning in the residential sector in Europe. Deliverable 1, Ground Reach EU project, Ecofys.
- Nashawi IS., Malallah A., Al-Bisharah M. (2010) Forecasting World Crude Oil Production Using Multicyclic Hubbert Model. *Energy & Fuels* 24(3): 1788-1800.
- Nuttall WJ., Manz DL. (2008) A new energy security paradigm for the twenty-first century.



Technological Forecasting and Social Change
75(8): 1247-1259.

Pinel P., Cruickshank CA., Beausoleil-Morrison I.,
Wills A. (2011) A review of available methods
for seasonal storage of solar thermal energy
in residential applications. *Renewable and
Sustainable Energy Reviews*, 15(7): 3341-3359.

Saber HH. (2012) Investigation of thermal per-
formance of reflective insulations for different

applications. *Building and Environment* 52: 32-
44.

Shafiee S., Topal E. (2010) A long-term view of
worldwide fossil fuel prices. *Applied Energy*
87(3): 988-1000.

Fotodegradáció hatására fellépő felületérdesedés vizsgálata az infravörös színekép segítségével

MOLNÁR Zsolt¹, TOLVAJ László², MAGOSS Endre³

¹ NymE FMK PhD hallgató

² NymE FMK Fizika és Elektrotechnika Intézet

³ NymE FMK Gépészeti és Mechatronikai Intézet

Kivonat

A kültéren alkalmazott természetes faanyagok felületén a napsugárzás ultraibolya része okozza a legjelentősebb degradációt. Ezt követi az esővíz, amely kimossa a felületről a degradációs termékeket, így nyitva új felületet a napsugarak előtt. Ennek a két hatásnak köszönhetően növekszik a faanyagok felületének érdessége. Jelen kutatás célja volt imitálni ezt a két hatást mesterséges körülmények között, és az infravörös színekép mérésével követni a felületi érdesség változását. A vizsgálatokhoz akác, bükk, erdeifenyő, lucfenyő, nyár és tölgy mintákat sugároztunk be higanygőz lámpával, és a besugárzások között desztillált vízbe merítettük őket. Az egymást követő ismétlések – besugárzás és kimosás – száma 9 volt. Azt találtuk, hogy az infravörös színeképek alapvonalának eltolódása alkalmas az érdességváltozás követésére. A besugárzási idő növekedésével az érdesség és vele együtt az alapvonal eltolódás is egyre nagyobb lett. Hasonló eredményeket kaptunk mindegyik vizsgált faanyag esetében.

Kulcsszavak: ultraibolya sugárzás, fotodegradáció, infravörös színekép, alapvonal eltolódás, felületi érdesség

Roughness change analysis of photodegraded wooden surfaces by infrared spectroscopy

Abstract

The ultraviolet part of sunlight causes the most severe degradation on outdoor wooden surfaces. It is followed by the leaching effect of rain removing the degraded products and opening new surface for sunlight degradation. Due to these two effects the surface roughness increases. The aim of this study was to artificially imitate these two effects, and to monitor the change of surface roughness by the measurement of the infrared spectra. Black locust, beech, Scots pine, spruce, poplar and oak samples were irradiated by mercury vapour lamp then merged into distilled water. The irradiation-plunge cycle was repeated nine times. The baseline shift of infrared spectra was found suitable to



follow the change of surface roughness. The surface roughness and the baseline shift increased parallel with increasing irradiation time. The results were similar for all examined wood species.

Key words: ultraviolet radiation, photodegradation, infrared spectrum, baseline shift, surface roughness

Bevezetés

A kültéren alkalmazott faanyagok felülete az állandóan változó időjárási körülmények hatására folyamatosan változik, degradálódik. A degradáció több tényező együttes hatására jön létre, ezek: napsugárzás, hőmérsékletingadozás, csapadék, gomba- és rovarkárosítók. Annak ellenére, hogy ezek a tényezők kültérben együttesen fejtik ki a hatásukat, a degradációs folyamat pontos megismeréséhez az egyes tényezőket egymástól függetlenül, külön célszerű vizsgálni. Megállapítást nyert, hogy a kültéren alkalmazott faanyagok abiotikus degradációját legnagyobb mértékben a napsugárzás ultraibolya (UV) komponense okozza (Tolvaj és Mitsui 2005). A napsugárzás okozta degradációt fotodegradációnak nevezzük. A fotodegradáció jelenségének feltárása, megismerése – a több évtizedes kutatómunka ellenére – még mindig komoly kihívás a kutatók számára.

Az egyik legfőbb probléma a jelenség pontos megismerésében, hogy csak mesterséges körülmények között vizsgálhatók az egyes hatások külön, a kültéren óhatatlanul jelenlévő többi időjárási tényező miatt. A kitettségi vizsgálatok másik hátránya az időigényesség, mivel ezek a folyamatok a természetben nagyon lassan játszódnak le. Mesterséges körülmények között fényforrásként xenon, illetve higanygőz lámpát alkalmaznak a minták UV-fénnyel történő besugárzásához. A fény elnyelődése a faanyag alkotórészeinek molekuláiban a kötések felszakadását okozza. A beeső fény a felszín közelében gyorsan elnyelődik, emiatt a fotodegradáció felületi jelenség. Kültéren a felületen a felszakadó kötések miatt kialakuló degradációs termékeket az esővíz kimossa, így nyitva utat új felület degradációjához. Mesterséges körülmények között ezt a jelenséget vizes áztatással szimulálják. Az ultraibolya fény hatására a faanyag felszínén bekövetkező kémiai változásokat az infravörös abszorpciós színek felvételével lehet nyomon követni.

A faanyag fotodegradációjának kutatása az 1960-as évek közepén kezdődött. Az első kutatási eredményeket kültéren elhelyezett faanyagok szolgáltatták, és a kutatók a felületen megjelenő

változások pontos leírását próbálták megvalósítani. A fotodegradáció hatására bekövetkező változásokat többféle módszerrel értékelték. Ilyen módszer például a faanyag felületi kopásának mérése (Feist és Mraz 1978), szilárdságtani jellemzők vizsgálata (Derbyshire és Miller 1981), a minta súlycsökkenésének mérése (Evans et al. 1992), a minta színváltozásának és infravörös színekének mérése (Tolvaj és Faix 1995).

A faanyag mesterséges besugárzásánál a környezeti hatások jelentős része kizárható. A természetes és mesterséges besugárzások hatásainak összehasonlítására is folytak kutatások (Derbyshire et al. 1995), és megállapítást nyert, hogy a mesterséges besugárzás faanyagok esetében alkalmazható a fotodegradáció szimulálására.

A fotodegradáció hatására bekövetkező változások értékelésében az 1980-as évek közepétől kapott egyre nagyobb szerepet az infravörös spektroszkópia. Faanyag esetében az infravörös spektrum meghatározásához többféle technológia ismert. A kutatások kezdeti szakaszában a színeképeket transzmissziós technikákkal vették fel. A megörölt famintát kálium-bromid porba keverték és pasztillává préselték. A módszer hátránya, hogy a felvett színekép a faanyag egész térfogatáról nyújt információt, nem a felületről. A faanyag ultraibolya fény hatására bekövetkező degradációja viszont a felületen idéz elő változásokat. A felület spektroszkópiai tanulmányozásában jobbak a reflexiós technikák, amelyek a fény visszaverődésén alapulnak. A reflexiós technika alkalmazásában a Fourier-transzformációs infravörös spektrofotométerek megjelenése nagy előrelépést jelentett.

A fénybesugárzás degradáló hatása következtében a faanyag felületének az érdessége megváltozik (Molnár et al. 2013). Megállapították, hogy a P profilból számított felületi érdesség paraméterek fafajtól függetlenül összehasonlíthatóvá tették az UV-sugárzás hatására bekövetkező felületi elváltozás mértékét. Faanyag esetében a fotodegradáció mértékének legjobb indikátorai a P_z , a P_{max} és a P_l felületi jellemzők. A vizsgált 6 fafaj közül a bükknél jelentkezett legnagyobb mértékben a fotodegradáció okozta érdességnövekedés.

Az UV-kezelés hatására a lucfenyő és a nyár próbatestek felületén nem jelentek meg felületi repedések, a többiek felületén viszont igen.

Jelen kutatás esetében azt vizsgáltuk, hogy az infravörös reflexiós színek alkalmas-e a fotodegradáció hatására bekövetkező érdességváltozás követésére. Ez a lehetőség azért kínálkozik, mert a reflexiós színeképet a fényelnyelés és fényszórás együttesen alakítja ki. Az abszorpció karakterisztikus elnyelési sávokat produkál, míg a fényszórásnak csak kismértékű hullámhossz függése van. A fényszórás növekedésével a detektorra kevesebb reflektált fény jut, ezért a reflexiós értékek csökkennek. A jelenség az abszorpciós változásokat eltolja, ezért az abszorpciós szakirodalomban alapvonal-eltolódásnak nevezik. A fényszórás mértéke függ a felület érdességétől, ezért az alapvonal-eltolódás alkalmas lehet az érdesség változásának követésére. A módszerünk helyességét azzal teszteltük, hogy tudja-e követni azokat az érdességváltozásokat, melyeket a fotodegradáció és az áztatás külön-külön és közösen produkál.

Vizsgálati anyagok és módszerek

A kísérletekhez azt a hat hazai fafajt választottunk ki, melyeken az érdességmérések is megtörténtek: lucfenyő (*Picea abies* Karst.), erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.), kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* Liebl.), akác (*Robinia pseudoacacia* L.), rezgőnyár (*Populus tremula* L.) és bükk (*Fagus sylvatica* L.). A próbatestek méretét az infravörös spektrofotométer mintatartójának befogadó képessége szabta meg. Homogén, a felszínén csak egyféle pásztát tartalmazó, $40 \times 10 \times 2$ mm méretű lapkák készültek. Minden fafaj minden pásztájából 2 darab mintatest készült, kivétel a bükk, így összesen 22 próbatest került kialakításra. Bükk faanyag esetén csak egy-egy próbatest készült, mert a korábbi vizsgálatok azt mutatták, hogy a bükk faanyagnál nincs számottevő eltérés az egyes minták infravörös színeképei között. A vizsgálatoknál mesterséges körülmények között, higanygőz lámpákkal történt a megfelelően előkészített minták besugárzása. A két lámpa együttes elektromos teljesítményfelvétele 800 watt volt, és a minták 64 centiméterre helyezkedtek el a fényforrásoktól. A higanygőz lámpa emissziójának 80%-a az ultrabolya (UV) tartományba esik. A fahasábok a kísérletek elején egyszer 24 órás higanygőz lámpás kezelésben részesültek. Ezután a degradációs folyamat felgyorsítása érdekében 48 órás besugárzásokat alkal-

maztunk, majd legvégül egyszer 72 órás kezelést alkalmaztunk. A besugárzást 20 napig folytattuk. Az egyes besugárzási periódusok között egynapos desztillált vizes áztatással történt a kimosható degradációs termékek eltávolítása. A kezeléseket addig ismétlődtek, míg a besugárzási idő elérte a 20 napot. A besugárzó kamrában a hőmérsékletet konstans, 70°C -os értéken tartottuk.

Az egyes besugárzási periódusok, illetve a desztillált vizes áztatás előtt és után történt meg az infravörös színeképek felvétele. Az elkészült mintatestek az alkalmazandó kezeléstől, illetve a mérések elvégzésének időpontjától függően két csoportba kerültek. Az első csoportba került 11 próbatest – fafajonként 1 korai és 1 késői pászta, kivétel a bükk – felületén mindig csak UV-sugárzás után történt meg az infravörös színeképek felvétele, vizes áztatást ezek a mintatestek nem kaptak. A második csoportba tartozó mintatestek esetében az UV-sugárzás után is és vizes áztatás után is megtörtént az infravörös színeképek felvétele.

Az infravörös színeképek felvétele egy Jasco FT/IR 6300 típusú, Fourier-transzformációs spektrofotométerrel történt meg. A kutatás során az infravörös színeképek a $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ hullámhossz tartományban kerültek felvételre. Ebben a tartományban található az úgynevezett ujjlenyomat tartomány is, ahol legalább 20 egymástól jól elkülönülő elnyelési sáv található. Ezekhez a sávokhoz tartozó kémiai csoportokat mára a kutatók nagy pontossággal meghatározták (Faix 1991, Collier et al. 1992, Faix and Böttcher 1992). A színeképeket 64 mérés átlagából, 4 cm^{-1} felbontással készítette el a készülék számítógépe. A kapott színeképek kiértékelését a Spectra Manager nevű program segítségével végeztük el. Az érdességmérés eredményeit egy korábbi publikációban adtuk közre (Molnár et al. 2013).

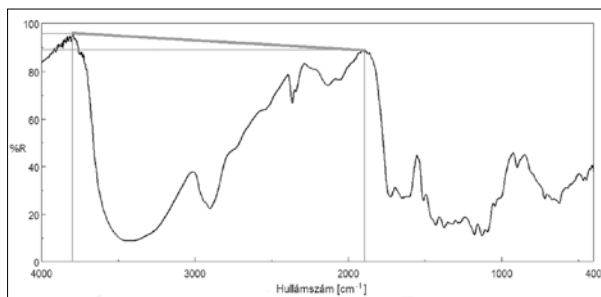
Eredmények és értékelés

A reflexiós színeképek együtt mutatja az abszorpció és a fényszórás hullámhosszfüggését. A fényszórás nem mutat olyan karakterisztikus hullámhosszfüggést, mint az abszorpció. Ezért a reflexiós színeképek alakját elsősorban az abszorpció határozza meg. Az infravörös színeképek által hordozott abszorpciós információk kinyerése érdekében a kutatók már a mért reflexiós színeképen alapvonal korrekciót végeznek. Ezt követi a Kubelka–Munk-elmélet alkalmazása, melynek eredményeként az abszorpcióval arányos színeképet kapunk. Az alapvonal

korrekcióhoz olyan pontokat kell választani, ahol a fényelnyelés nulla, különben a színek torzul. A reflexiós színeképeken általában kétpontos alapvonal korrekciót hajtanak végre.

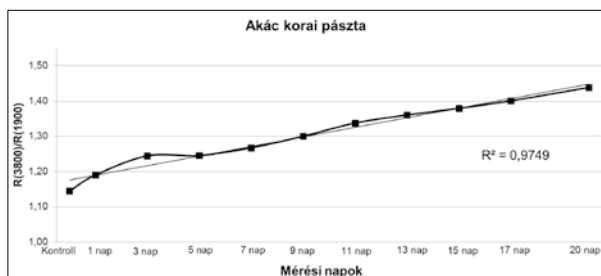
Jelen kutatás során alapvonal korrekciót nem végeztünk a mért színeképeken, csak a 3800 cm^{-1} illetve az 1900 cm^{-1} hullámszám értékekhez tartozó reflexióértékek kerültek meghatározásra a már említett program segítségével. Alapvonal korrekciónál éppen ezt a két pontot veszik alapul. Azt feltételeztük, hogy az 1. ábrán berajzolt alapvonal dőlésének változása alkalmas lesz a felületi érdességváltozás követésére. Az egyenes dőlésének jellemzésére képeztük a 3800 és 1900 cm^{-1} hullámszámoknál mért reflexióértékek hányadosát. A két reflexióérték hányadosát a kezelések előrehaladtával ábrázolva a 2. ábrán látható grafikonon rajzolódott ki.

A grafikonon az egyes csoportból származó (azaz vizes áztatásban nem részesülő) mintatestek közül az akác korai pászta látható. A kezelések hatására az alapvonal eltolódás mértéke egyre nagyobb a kezelési idő növekedésével. A kezelési idő és a reflexiók hányadosa között lineáris kapcsolatot találtunk. A vizsgált fajok mindegyikénél ugyanez



1. ábra Alapvonal eltolódás erdeifenyő késői pásztajánál 20 napos kezelés után

Figure 1 The baseline shift of the latewood of Scots pine after 20-day treatment



2. ábra Akác korai pásztajánál az alapvonal eltolódás mértéke a kezelések hatására

Figure 2 The baseline shift of black locust earlywood as a function of the treatment time

a tendencia figyelhető meg, azonban a területi korlátok miatt nem mutatjuk be mind a 11 grafikont, viszont a kapott R^2 értékek az 1. táblázatban megtalálhatók.

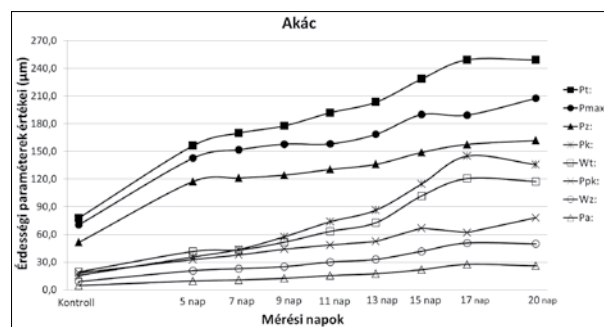
Minden fajtánál elmondható, hogy korai pászta esetében magasabb R^2 értékeket kaptunk, azaz a korai pászta esetén a kapott hányadosértékek jobban illeszkednek egy egyenesre. A fenyőknél az R^2 értékek nagyobbak voltak, mint a lombhullató fajoknál. Az utóbbi eredmény azzal magyarázható, hogy a fenyőfélék sejtszerkezete kevésbé változatos, mint a lombos fajoké.

Hasonló eredményt kaptunk az érdességméréssel is (3. ábra). Az UV-kezelés hatására nőttek az érdességi paraméterek értékei, ami arra enged következtetni, hogy növekedett a felületi érdesség. Amint az a grafikonokból kiderül, a legjobban három érdességi jellemző változása követi a minta

1. táblázat Az R^2 értékei a vizsgált fajok UV-kezelésénél (a 2. ábrának megfelelően)

Table 1 The values of R^2 parameter (according to Fig.2)

	Pászta	R^2
Akác	korai	0,9749
	késői	0,8171
Erdeifenyő	korai	0,9611
	késői	0,9124
Lucfenyő	korai	0,9747
	késői	0,9737
Nyár	korai	0,9628
	késői	0,9137
Tölgy	korai	0,9266
	késői	0,92
Bükk	-	0,9164

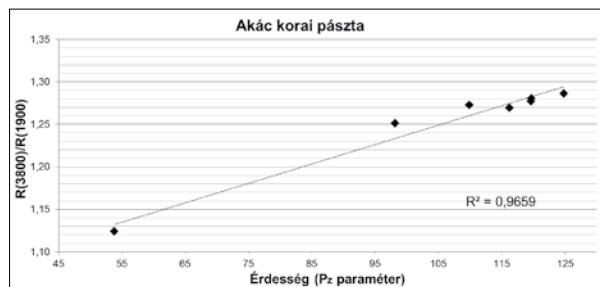


3. ábra Az érdességi paraméterek értékeinek változása az UV-besugárzás hatására, akác esetében

Figure 3 The alteration of roughness parameters of black locust caused by UV radiation

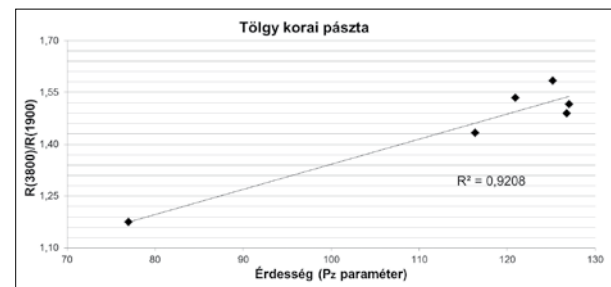
felületének degradációját: a P_z , a P_{max} és a P_t . Ennek magyarázata, hogy a felület egyre barázdáltabbá válik, azaz a mért intervallum növekszik, és ez a három jellemző definíciójából adódóan érzékeny az ilyen típusú változásra.

A többi érdességi paraméter értékeinél ugyan csekélyebb mértékű, de szintén emelkedő tendencia figyelhető meg. Jellegében az érdességmérés és az infravörös reflexiós színekép alapvonalának eltolódása egyformán azt mutatja, hogy az UV-besugárzás növeli a faanyag érdességét. Fontos megnézni, hogy melyek azok az érdességi paraméterek, amelyek értékeinek változását a legjobban követi az alapvonal eltolódása. Ezért az egyes érdességi paraméterek (P típusú) függvényében ábrázoltuk az időben hozzájuk tartozó reflexiós értékekből képzett hányadosokat. A két változó kapcsolatát az akác korai pászta esetében a 4. ábrán, kocsánytalan tölgy korai pászta esetében pedig az 5. ábrán mutatjuk be. A korrelációs értékek a fa-



4. ábra A P_z érdességi paraméter és a reflexiós színekép alapvonal eltolódásának kapcsolata akác korai pászta UV-besugárzása esetén

Figure 4 The correlation between the P_z roughness parameter and the baseline shift of black locust earlywood caused by UV radiation



5. ábra A P_z érdességi paraméter és a reflexiós színekép alapvonal eltolódásának kapcsolata kocsánytalan tölgy korai pászta UV-besugárzása esetén

Figure 5 The correlation between the P_z roughness parameter and the baseline shift of oak earlywood caused by UV radiation

2. táblázat Az érdességi paraméterek és az alapvonal eltolódás közti lineáris kapcsolat R^2 értékei a vizsgált fafajoknál (a 4. és 5. ábrának megfelelően)

Table 2 The values of R^2 parameter (according to Fig. 4-5)

	Akác korai	Akác késői	Bükk	Erdeifenyő korai	Erdeifenyő késői	Lucfenyő korai	Lucfenyő késői	Nyár korai	Nyár késői	Tölgy korai	Tölgy késői
P_z :	0,9659	0,9555	0,8545	0,7228	0,8166	0,7859	0,8495	0,6345	0,6	0,9455	0,9655
P_a :	0,8429	0,842	0,8539	0,9033	0,9223	0,5696	0,8336	0,574	0,5494	0,5408	0,7012
P_t :	0,9239	0,8843	0,8561	0,7861	0,9028	0,6833	0,8171	0,573	0,5284	0,8665	0,7732
P_{max} :	0,9672	0,9308	0,8333	0,6266	0,7821	0,7304	0,8341	0,5116	0,4828	0,8023	0,7838
W_z :	0,8623	0,8666	0,8033	0,7361	0,8508	0,5231	0,7605	0,5279	0,502	0,436	0,8095
W_t :	0,7243	0,7097	0,8249	0,7912	0,8972	0,5675	0,8358	0,5217	0,4662	0,6203	0,54
P_k :	0,9183	0,9244	0,822	0,8008	0,7524	0,5114	0,7775	0,6346	0,599	0,7282	0,7573
Mr_1 :	0,2988	0,3398	0,7933	0,0032	0,0009	0,1694	0,0739	0,2192	0,1654	0,8373	0,8352
Mr_2 :	0,8213	0,893	0,3819	0,0432	0,0139	0,4684	0,2722	0,8868	0,7878	0,2617	0,0017
P_{pk} :	0,6259	0,6586	0,0992	0,5614	0,6507	0,6913	0,7378	0,5588	0,5211	0,6913	0,7957
P_{vk} :	0,9754	0,9089	0,9016	0,8349	0,8919	0,5212	0,804	0,7727	0,7261	0,7529	0,4909

Az M_2 érdességi paraméter nyárnál a legjobb, míg a többi vizsgált faj esetében az egyik legrosszabb korrelációt adó paraméter. További vizsgálatok szükségesek ahhoz, hogy megtudjuk, miért kapunk eltérő eredményeket fafajonként.

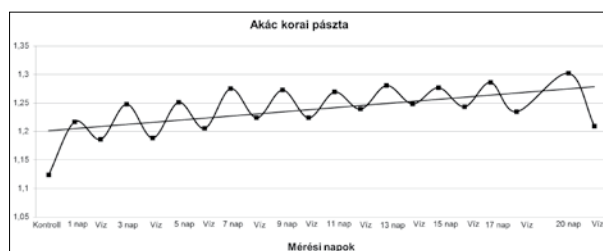
Az eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy az infravörös reflexiós színek alapvonalának eltolódása és az érdességváltozás között lineáris kapcsolat van. Ezért az alapvonal eltolódás alkalmas az érdességváltozás követésére.

A kettes csoportba tartozó mintatestek infravörös színeke UV-sugárzás után is, illetve vizes áztatás után is felvételre került. A 6. ábrán ebből a csoportból kapott eredményekből látható egy minta. Minden alkalommal az UV-kezelés után kapott hányados értékek magasabbak voltak, mint a vizezés utániak. Ez azt jelenti, hogy vizezés hatására mérséklődik az alapvonal eltolódás. A degradálódott felületről a víz lemosta azokat a rostdarabokat, melyek már nem kötődtek a felszínhez. Ezek a rostdarabok lerakódtak a vizes edény aljára. A kezelések előrehaladtával a hányados emelkedő tendenciája így is egyértelműen jelentkezik. A grafikonon látható tendencia ebben a csoportban lévő összes mintatestre jellemző.

Következtetések

Kutatásunk során a fotodegradáció hatására infravörös színekben bekövetkező alapvonal eltolódást vizsgáltuk. Hat fafajból kapott mérési eredmények alapján a következő következtetések vonhatók le:

- A faanyagok infravörös reflexiós színekében tapasztalható alapvonal eltolódás mértéke UV-sugárzás hatására egyre jelentősebb mértékű.
- A vizes áztatás hatására az alapvonal eltolódás mértéke mérséklődik.
- Az alapvonal eltolódás alkalmas az érdességváltozás követésére.



6. ábra Akác korai pásztaiban az alapvonal eltolódás mértéke az UV-sugárzás és vizes kezelés hatására

Figure 6 The baseline shift for earlywood part of black locust as a function of UV treatment time and water leaching.

Köszönetnyilvánítás

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.

Irodalomjegyzék

- Collier WE., Shultz TP., Kalasinsky VF. (1992) Infrared study of lignin: reexamination of aryl-alkyl ether C-O stretching peak assignment, *Holzforschung* 46 (6): 523-528
- Derbyshire H., Miller ER. (1981) The photodegradation of Wood During Solar Irradiation, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 39 (8): 341-350
- Derbyshire H., Miller ER., Turkulin H. (1995) Investigation into the photodegradation of wood using microtensile testing, Part 1: The application of microtensile testing to measurement of photodegradation rates, *Holz als Roh- und Werkstoff* 53, 339-345
- Evans PD., Michell AJ., Schmalz KJ. (1992) Studies of the degradation and protection of wood surfaces, *Wood Science and Technology* 26, 151-163
- Faix O. (1991) Classification of Lignin from Different Botanical Origins, *Holzforschung* 45, 21-27
- Faix O., Böttcher JH. (1992) The influence of particle size and concentration in transmission and diffuse reflectance spectroscopy of wood, *Holz als Roh- Werkstoff* 50, 221-226
- Feist WC., Mraz EA. (1978) Comparison of outdoor and accelerated weathering of unprotected softwoods, *Forest Products J.* 28 (3), 38-43
- Molnár Zs., Tolvaj L., Magoss E. (2013) A fotodegradáció okozta felületérsédesedés vizsgálata, *Faipar* 61 (2): 26-32
- Tolvaj L., Faix O. (1995) Artificial Ageing of Wood Monitored by DRIFT Spectroscopy and CIE $L^*a^*b^*$ Color Measurements, *Holzforschung* 49, 397-404
- Tolvaj L., Mitsui K. (2005) Light Source Dependence of the Photodegradation of Wood, *Journal of Wood Science* 51 (5): 468-473

Paraffinban végrehajtott hőkezelés hatása a bükk és a nyár faanyag egyes tulajdonságaira

CSORDÓS Diána¹

¹ NymE FMK Faanyagtudományi Intézet

Kivonat

Kutatásunk során paraffinban kezeltünk nyár és bükk faanyagot. A kezeléseket 160 °C és 200 °C hőmérsékleten 2 óra, 4 óra és 6 óra időtartamig folytattuk. A teljes színkülönbség (ΔE^*_{ab}) vizsgálata során megállapítható, hogy a színváltozás jelentős mértékű. Csökkent a faanyagok zsugorodása, dagadása és egyensúlyi fanedvesség értéke. A faanyagok vízzel szembeni ellenálló képessége, vagy dimenzióstabilitásának növekedése kültéri felhasználás során nagy jelentőséggel bír. A hajlítási-erővizsgálatok során bebizonyosodott, hogy a kezelés előre haladtával a faanyag szilárdsága 160 °C-os kezelés mellett kismértékben növekedett, míg 200 °C-os kezelés hatására csökkent. Így ezen anyagok teherviselő elemként szerkezetekben történő felhasználása korlátozott, illetve egyedi elbírálást igényel. Nyár és bükk faanyagok egyes tulajdonságai jelentős mértékben javultak a paraffin hőkezelés hatására.

Kulcsszavak: termikus modifikálás, paraffin, hőkezelés, hajlításierő, zsugorodás, dagadás, bükk, nyár

The effect of heat treatment in hot paraffin bath on selected properties of beech and poplar wood

Abstract

In the frame of this research work the effect of heat treatment in hot paraffin bath for poplar and beech wood was investigated. The treatments were performed at 160°C and 200°C temperatures for 2h, 4h, 6h durations. The total colour change (ΔE^*_{ab}) caused by the treatment reached significant values. The shrinking, swelling and equilibrium moisture content values could be decreased for both wood species. The enhanced water resistance or dimension stability is an important material property for outdoor utilization. The bending strength was influenced by the treatment. The lower temperature (160°C) caused slight increase, while the higher temperature (200°C) resulted in decrease in bending strength. The use of the treated material in load-bearing structures is not recommended, or it calls for individual permission.

Key words: modification, paraffin, heat treatment, bending strength, shrinking, swelling, beech, poplar

Bevezetés

A fa egy ősidők óta használt alapanyag, amelynek egyedülálló és kedvező tulajdonságait a nedvesség, a gomba- és rovarkárosítók stb. nagymértékben befolyásolhatják. A faiparban ezeknek a kedvezőtlen tényezőknek a mérséklése, illetve kiküszöbölése fontos feladat.

Tiemann (1920) vizsgálataival bebizonyította, hogy a magas hőmérsékleten történő szárítás növe-

li a faanyag dimenzióstabilitását. Stamm és Hansen (1937) elsőként foglalkoztak a faanyag termikus modifikációjával. Megállapították, hogy kezelések esetében a faanyag nedvességének nagy jelentősége van, továbbá a kezelt anyagok szilárdsági értékeiben az oxigén jelenléte jelentős csökkenést eredményez. Éppen ezért a napjainkban alkalmazott eljárások (például ThermoWood) mindegyike arra törekszik, hogy a levegő oxigénjét elzárja a faanyagtól a folya-



mat során. Erre a célra hőkezelő közegként általában nitrogéngázt vagy telített gőzt választanak (Joscák és tsai 2007; Esteves és tsai 2007). Kedvező eredmények érhetők el azonban növényi olajokban végzett hőkezelésekkel is (Sailer és tsai 2000; Németh és tsai 2009; Bak és tsai 2008). Az oxigén kizárásával a kedvezőtlen oxidációs folyamatok nem játszódnak le, így a mechanikai jellemzők csekély mérséklődése mellett jelentős javulás érhető el a dagadási jellemzőkben. A statikus mechanikai jellemzők általában kis mértékben csökkennek, egyes esetekben még növekedés is előfordulhat. A dinamikus igénybevételekkel szemben azonban jelentősen csökken a faanyag ellenálló képessége a termikus kezelés hatására. Kezelési paramétereiktől függően a dinamikus hajlítószilárdság 30–70%-kal is mérséklődhet (Németh és tsai 2009; Bak és tsai 2008; Horváth 2008).

A hőkezelés eredményeként minden esetben jelentős színváltozással kell számolni, a kezelési paraméterek függvényében. Ez a faanyag sötétedésében nyilvánul meg a legszembetűnőbben, de a sárga és vörös színösszetevők változása is nagymértékű. A fafaj szerepe legalább olyan fontos a színváltozás szempontjából, mint a kezelési paraméterek. A magas járulékos anyag tartalmú fafajok színváltozása általában erőteljesebb, ami ezen összetevők jelentős szerepét mutatja a színváltozással kapcsolatban (Tolvaj és tsai 2010; Varga és tsai 2009; Dénes és Lang 2013).

Pfriem és tsai (2007) kimutatták, hogy a termikusan kezelt fa kevesebb vizet vesz fel és a diffúziós együtthatói is alacsonyabbak. Ennek ellenére a hőkezelt faanyag azonos idő alatt éri el az egyensúlyi nedvességet, mint a kezeletlen. Eszerint a faanyag diffúziós tulajdonságainak mérséklődését, a vizet megkötni képes funkció csoportok számának csökkenése okozza, a faanyag szerkezete nem lesz zártabb a levegő páratartalmával szemben a hőkezelés hatására (Bak és Németh 2012). Nem szabad azonban figyelmen kívül hagyni, hogy a diffúziós együtthatóra hatással van az anatómiai irány, és erősen függ a hőmérséklettől. A termikusan kezelt és kezeletlen faanyagok szorpciós izotermáit vizsgálva megállapítható, hogy a hiszterézis jelensége megmarad a hőkezelés után is a faanyagban, az adszorpciós és deszorpciós görbék közti különbség azonban nem változik (Militz 2002). Hazai lombos faanyagok farontó gombákkal szembeni ellenálló képességének növelésére alkalmazta a száraz termikus kezelést Horváth és tsai (2012), valamint Horváth és Csupor (2012). E cikkek nem foglalkoznak a paraffinban hőkezelt anya-

gok gombákkal szembeni ellenálló képességével, de az említett hazai szakirodalmi források tükrében a kezelés várhatóan javítja a gombaállóságot.

Colak és Peker (2007) bükkfát kezelték különféle átitató anyagokkal (bórsavoldat, bórax, víz és polietilén-glikol elegy). Néhány vízhatlan anyagot, mint például a paraffin waxot, sztirolt (St), metilmetakrilátot (MMA) és izocianátot (ICO) arra használták, hogy velük csökkentsék a fa nedvszívó képességét. Kimutatták, hogy ezek az anyagok jelentős mértékben csökkentik a vízfelvevő képességet.

A paraffint gyakran használják fából készült, történelmi tárgyak konzerválására (Timar és munkatársai 2010 és 2011), valamint alkalmazták részlegesen szárító közegként fűrészáru szárításához is (Grothe és tsai 2010). A fa szárítása, áztatása, paraffin fürdőben történő termikus kezelése számos szabadalommal rendelkezik, de kevés a nyilvánosságra hozott tudományos kísérleti eredmény. A paraffin fára gyakorolt víztaszító hatását Garai és tsai (2005) vizsgálták. A kutatók többféle paraffint vizsgáltak és megállapították, hogy a minták helyzete és az időbeli változása befolyásolja a fa felületére jutó paraffinmennyiséget. Egy további fontos megállapítás, hogy a paraffinnal kezelt felület erős víztaszítással bír. A vizsgálatok azt mutatták, hogy a szénhidrogének sztereokémiai konfigurációja hatással van az érintkezési szögére. A vizsgálati eredmények rámutattak az alkalmazott paraffin fizikokémiai tulajdonságainak fontosságára.

A modifikálás célja a faanyag tulajdonságainak javítása úgy, hogy az életciklusa végén a termék semlegesítése nem hordoz több veszélyt és nem drágább, mint a természetes faanyag esetén (Hill 2006). Modifikálási módszerek lehetnek: impregnációs, termikus, felületi és kémiai modifikációs eljárások. A gyakorlatban ezek közül elsősorban az impregnálás és a termikus kezelés terjedt el. Munkánk során tulajdonképpen ennek a kettő eljárásnak az ötvözésére került sor. Kutatásunk során megvizsgáltuk, hogy miként viselkedik a paraffinban hőkezelt faanyag, hogyan változik a vízzel szembeni ellenállósága, valamint szilárdsága.

A vizsgálatokat bükk (álgesztes, illetve fehér) és nyár faanyagok esetén végeztük el. A bükk Európa egyik meghatározó fafaja. Széleskörű felhasználása ellenére fülledésre, erős zsugorodásra, repedésre rendkívül hajlamos.

Hazánkban a nyár erdőgazdálkodási szempontból nagy jelentőséggel bír. Az egyik leggyorsabban nö-

vekedő és legnagyobb fatömeget adó fajról van szó (Komán és Molnár 2008; Katona és Fehér 2012, Ábrahám és Németh 2012). Gombákkal és rovarokkal szembeni ellenállósága alacsony, ezért kültéren történő felhasználása nem javasolt.

Célunk olyan lehetséges eljárások kutatása, amelyekkel óvhatjuk és hosszú évtizedekkel meghosszabbíthatjuk a faanyag élettartamát úgy, hogy a felhasznált anyagok nem gyakorolnak negatív hatást a környezetre. Napjainkban ennek a feladatnak a növekvő felhasználói igények, szigorú szabályozások és a kielezett ipari verseny miatt is egyre fontosabb szerepe van.

Vizsgálati anyagok és módszerek

A kezelés előtt, a színvizsgálathoz fafajonként (fehéres álgesztes bükk *Fagus silvatica* L., nyár *Populus* sp.) és menetrendenként 10-10 db, légszáraz nedvességtartalmú, 18×40×220 mm méretű (sugár, húr, rost irányú) próbatestet készítettünk el, majd labormérleggel (XT 1220M – FR) tömegüket lemértük. A színmerést Konica Minolta CM – 2600d típusú spektrofotométer segítségével végeztük el. A próbatestek színkoordinátáit mértük le (L^* , a^* , b^*).

Ezt követően a Gastro Medinox F6L-E típusú fritőzben a szilárd paraffint megolvasztottuk, majd a kezelési menetrendnek megfelelő hőfokon, illetve ideig (1. táblázat.) kezeltük a próbatesteket.

A kezelés majd lecsepegtetést, szikkasztást követően elvégeztük a kezelt próbatestek színének és tömegének a visszamérését, majd ezekből az adatokból számítottuk a teljes színkülönbség változását (ΔE^*_{ab}) az [1] összefüggés felhasználásával.

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

ahol:

ΔE^*_{ab} – teljes színkülönbség változása

ΔL^* – világosság változása

Δa^* , Δb^* – színezeti adatok változása

A hajlítószilárdsági vizsgálatához fafajonként és menetrendenként 20-20 db, 18x18x220 mm méretű próbatestet került kialakításra. A vizsgálatot Instron 4208 típusú berendezés segítségével végeztük el az MSZ 6786-5: 1976 szabvány szerint, három pontos hajlítási elrendezést alkalmazva. A próbatestek zsugorodási, dagadási vizsgálatához – a fentiekhez hasonlóan – 20-20 db 18x18x30 mm-es próbatestet került kialakításra. Tömegmérést ($\pm 0,001$ g) követően, a minták élhosszúságát mérőóra ($\pm 0,01$ mm) segítségével határoztuk meg, majd szárítószekrényben abszolút száraz állapotra szárítottuk őket.

1. táblázat Kezelési menetrend

Table 1 Treatment schedules

Kezelési menetrend	Kezelési hőmérséklet	Kezelési idő
160/2	160°C	2 óra
160/4	160°C	4 óra
160/6	160°C	6 óra
200/2	200°C	2 óra
200/4	200°C	4 óra
200/6	200°C	6 óra

Ezt követően visszamértük tömegüket és az élhosszakat. A dagadási vizsgálatához vízben áztatuk a mintákat egészen addig, amíg a maximális nedvességtartalmat el nem érték, majd visszamértük tömegüket és az élhosszakat.

Az egyensúlyi fanedvesség vizsgálatához 20-20 db 18x18x10 mm-es próbatestet készítettünk. A próbatesteket abszolút száraz állapotra szárítottuk (103+2°C hőmérsékleten), lemértük tömegüket, majd Binder KWBF 240 típusú klímakamrába helyeztük őket. A kamra paraméterei: 20 °C állandó hőmérsékleten, 20%, 40%, illetve 65% relatív páratartalom. Az egyes klímákon beállt tömeg-egyensúly elérése után visszamértük a minták tömegét.

A kezelés dagadási képességet csökkentő hatásának meghatározása a következő képlettel történt:

$$ASE = \frac{D_{kezelt} - D_{kontroll}}{D_{kontroll}} * 100\% \quad [2]$$

ahol:

ASE – dagadást csökkentő hatás [%]

$D_{s_{kontroll}}$ – kontroll minta dagadása [%]

$D_{s_{kezelt}}$ – kezelt minta dagadása [%]

Vizsgálati eredmények

A kezelésekre hatására 160–180 °C hőmérséklet tartományban a színváltozás mértéke ugrásszerűen megnő, amelyért javarészt a járulékos anyagok felelősek. A világosságcsökkenés mellett a faanyag színe a vöröses árnyalatok irányába változik (Németh, 1998). A minták teljes színváltozása a kezelési hőmérséklet és a kezelés időtartamának növekedésével egyre inkább nőtt.

A kezeletlen mintákhoz képest valamennyi alkalmazott kezelési menetrend hatására a világosság (L^*) értéke jelentős mértékben csökkent. Kezeletlen nyár esetén a világosság értéke 85 körül alakult. 160 °C hőmérsékleten, 2 órás kezelést követően ez az érték 70-re csökkent. A legintenzívebb kezelés (200 °C, 6 óra) esetén a világosság értéke 40 körül alakult,

amely a kontroll mintához képest közel 50%-os csökkenést jelent. Fehér bükk és álgesztes bükk minták esetében hasonló tendenciáról számolhatunk be, tehát a nyár fafajhoz hasonlóan, tetszetős barna árnyalatokat sikerült a kezelések segítségével elérni.

A teljes színkülönbség vizsgálatánál (ΔE^*_{ab}) az eredmények alapján megállapítható, hogy a színváltozás jelentős (1. ábra.). Ennek esztétikai szempontból nagy jelentősége van, hiszen egy semleges árnyalatból, a felhasználói igényeknek megfelelő, esztétikus szín érhető el. A különböző menetrendek szerint kezelt próbatestek szín alapján szabad szemmel is jól elkülöníthetők.

A 100 °C alatti hőmérsékleteken a faanyagban található vízzel kapcsolatos folyamatok – fagyás, olvadás, párolgás stb. – játszódnak le. Majd 100–300 °C közötti hőmérsékleten a gyengébb kémiai – elsősorban lignin-hemicellulóz, és a járulékos anyagok – szénhidrát-kötések felhasadása megy végbe (Németh, 1998).

A kezelés megkezdését követően mindkettő fafaj esetében a szilárdsági értékek növekedését tapasztalhattuk (2. ábra). A kontroll mintákhoz képest a 160 °C-on 2 órás, valamint 4 órás menetrendek eredményezték a legmagasabb szilárdsági értékeket. A legalacsonyabb értékek a 200 °C-on, 6 órán át történő kezeléshez tartoznak, amely bükk fafaj esetében kb. 15%-os, míg nyár esetében közel 30%-os csökkenést eredményez.

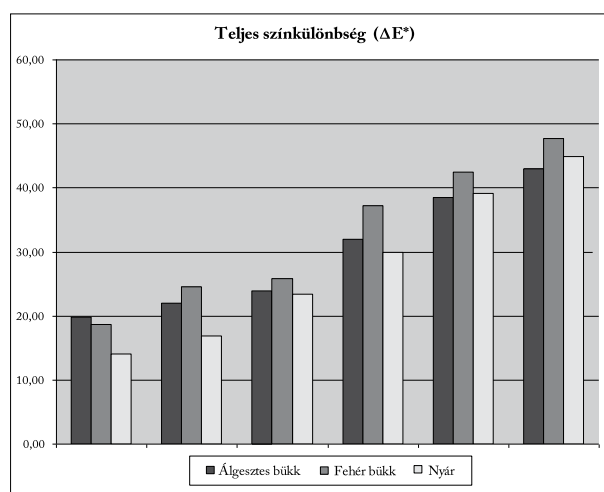
A kezelés során 160 °C-on a hőkezelés egyensúlyi nedvesség csökkentő hatása érvényesült, amely a szilárdsági értékek kisebb mértékű növekedését eredményezte. A 200 °C-os hőmérséklet elérésével azonban a hőkezelés degradáló, szilárdságcsök-

kentő hatása ellensúlyozta azt. A kezelés során a hőmérsékletnek meghatározó szerepe van, hiszen 200 °C-on, azonos kezelési időtartam mellett, alacsonyabb szilárdsági értékeket figyelhetünk meg, mint a 160 °C-os kezelésnél.

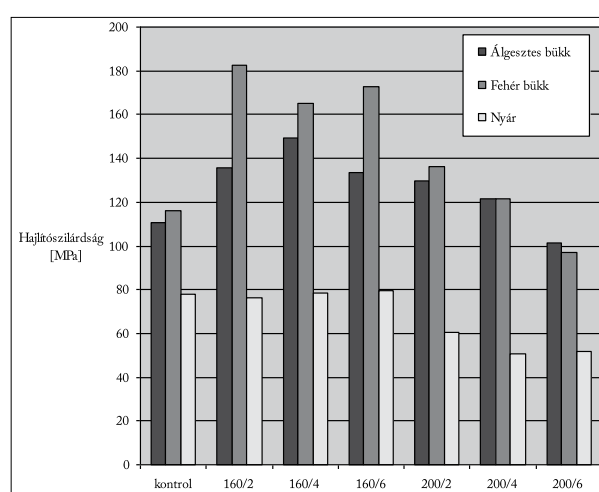
A szilárdságcsökkenés a hőkezelés egyik kedvezőtlen hatása, így a hőkezelt faanyagok felhasználása – például teherviselő elemként – korlátozott, illetve egyedi elbírálást igényelhet.

A 3–4. ábrán a paraffinban kezelt minták húr és sugár irányú dagadásának alakulását mutatjuk be. Bükk faanyag esetén a szakirodalomban, húr irányban (Molnár–Bariska 2005) 11,8%-os, sugár irányban 5,8%-os, nyárfa esetében 6,8–7,8%-os húr irányú, 3,1–5,3% sugár irányú dagadási értékekkel találkozhatunk. A kontroll mintákhoz tartozó értékek mindhárom faanyagnál ehhez közeleiek. A kezelési idő és a hőmérséklet növekedésével a dagadási értékek csökkenése figyelhető meg.

A faanyag dimenzióstabilitásának (5. ábra.) meghatározásához az anatómiai irányokhoz tartozó dagadási értékeket használtuk fel. A dagadási értékek a kezelés hatására húr és sugár irányban egyaránt javultak. Ez bükk mintáknál 160 °C-os hőmérsékleti tartományban, 6 órás kezelésnél húr irányban közel 30%, sugárirányban 27% volt. A 200 °C-on végzett kezelés eredményei ennél is kedvezőbbek. 4 órás kezelésnél a bükk húr irányú dagadása 42%-kal, a sugár irányú 38%-kal csökkent. A hőmérséklet a kezelési időnél jelentősebb tényező. A dimenzióstabilitás növekedése főként a hőkezelésnek köszönhető, illetve az alkalmazott paraffin hidrofób jellegének. A vizsgált két fafajt összehasonlítva azt tapasztaltuk, hogy a kezelések



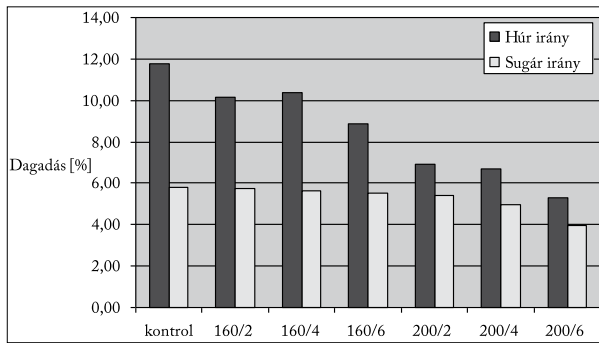
1. ábra A minták teljes színkülönbségének alakulása
Figure 1 The total color difference of the samples



2. ábra A minták hajlítósilárdságának alakulása
Figure 2 Bending strength of the samples

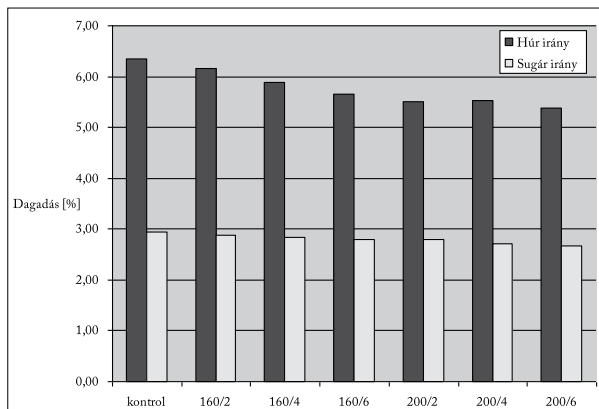
bükk esetében nagyobb mértékben csökkentették a nedvességfelvétel hatására bekövetkező méretváltozási képességet.

Az egyensúlyi fanedvesség vizsgálatának eredményei (6–7. ábra.) alapján megállapíthatjuk, hogy a kezeletlen mintákhoz képest jelentős csökkenés tapasztalható, amely összefüggésben áll a dimenzióstabilitás javulásával. Az ASE értékekhez ha-



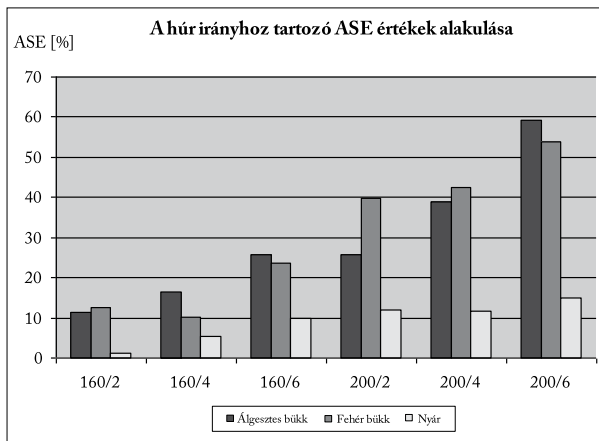
3. ábra Fehér bükk minták húr és sugár irányú dagadásának alakulása

Figure 3 Tangential and radial swelling of beech samples



4. ábra Nyár minták húr és sugár irányú dagadásának alakulása

Figure 4 Tangential and radial swelling of poplar samples



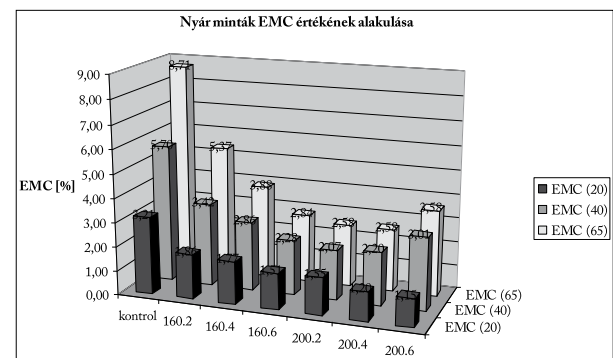
5. ábra A húr irányhoz tartozó ASE értékek alakulása

Figure 5 ASE values in tangential direction

sonlóan, az egyensúlyi nedvesség esetében is megfigyelhető, hogy a hőmérséklet hatása jelentősebb a kezelési időnél. Nyár minták esetében az egyensúlyi fanedvesség értéke nagyobb mértékben csökkent, mint a bükknél. Ez az eredmény azt mutatja, hogy a hőkezelés során mekkora jelentősége van a fafajnak. Továbbá összefüggésbe hozható ez azzal is, hogy a nyár több paraffint vett fel, mint a bükk. Az eredmények tükrében érdemes lenne nagyobb keresztmetszetű minták esetén is vizsgálatokat végezni, valamint kutatásokat, vizsgálatokat végezni abban az irányban, hogy az eljárás ipari méretekben történő alkalmazása hogyan lenne megoldható a lehető leghatékonyabban.

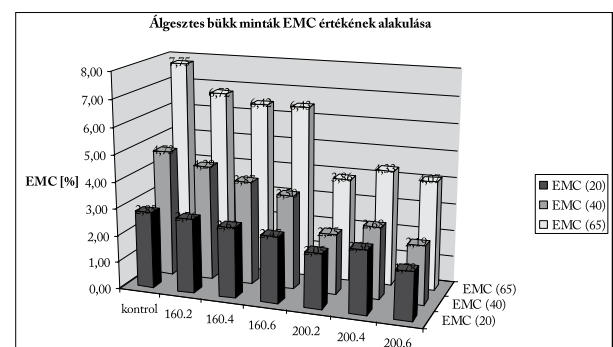
Összefoglalás

Kutatásunk célja a paraffinban hőkezelt faanyag hajlítózsilárdságának és vízzel szembeni ellenálló képességének vizsgálata volt nyár, valamint fehér illetve álgesztes bükk fafajok esetén. Elsőként a hőkezelés hatására bekövetkező színváltozást vizsgáltuk. Megállapítottuk, hogy a kezelést követően szabad szemmel is jól látható színváltozás ment végbe az egyes mintákon. A világosság (L^*) értéke a kezeletlen mintákhoz képest jelentős mértékben csökkent, tehát a



6. ábra Nyár minták egyensúlyi fanedvességének alakulása

Figure 6 Equilibrium moisture content of poplar samples



7. ábra Álgesztes bükk minták egyensúlyi fanedvességének alakulása

Figure 7 Equilibrium moisture content of red heart beech samples



kezelésekkel sötétebb színű faanyagot állítottunk elő. Napjainkban a faanyag tartóssága mellett az esztétikumnak is kiemelt szerep jut. Hőkezelés segítségével változatos árnyalatok érhetők el mindemellett, hogy egyes fizikai tulajdonságok is javulnak.

A hajlítószilárdsági vizsgálatok eredményeit vizsgálva kis mértékű emelkedését tapasztalhattuk a szilárdsági értékekben. Ezt az egyensúlyi fanedvesség csökkenésével magyarázhatjuk, amely valamelyest ellensúlyozza a hőkezelés szilárdságcsökkentő hatását. A 200 °C hőmérsékleti tartományt elérve azonban a hőkezelés szilárdságcsökkentő hatása kezd érvényesülni.

A zsugorodási, dagadási vizsgálatok eredményei alapján elmondhatjuk, hogy a kezelések hatására csökkentek a zsugorodási, dagadási értékek. A faanyag dimenzióstabilitása nőtt, amelynek gyakorlati jelentősége nagy, hiszen a faanyag kültéren történő alkalmazása során jelentős hőingadozásnak és nagymértékű nedvességváltozásnak van kitéve.

Az egyensúlyi fanedvesség (EMC) értékekben a kontroll mintákhoz képest jelentős csökkenést figyelhetünk meg. Tehát a kezelt minták kevesebb nedvességet vettek fel a levegőből.

Köszönetnyilvánítás

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

Irodalomjegyzék

- Ábrahám J., Németh R. (2012) Physical and Mechanical Properties of Thermo-mechanically Densified Poplar. International Scientific Conference on Sustainable Development and Ecological Footprint: The Impact of Urbanization, Industrial and Agricultural Technologies on the Natural Environment. (26-27. Marc.) Sopron. Paper 1
- Bak M., Németh R., Tolvaj L., Molnár S. (2008) Ültetvényes természetből származó fafajok anyagának hőkezelése növényi olajban. Faipar 56.(különszám) 22-26
- Bak M., Németh R. (2012) Changes in swelling properties and moisture uptake rate of oil-heat-treated poplar (*Populus × euramericana* cv. Pannónia) wood. *Bioresources* 7(7): 5128-5137
- Colak M., Peker H. (2007) Effects some impregnation chemicals and water repellents on the hygroscopicity of beech wood. *Wood Research* 52(1): 87-98
- Dénes L., Lang E. (2013) Photodegradation of heat treated hardwood veneers. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology.* 118: 9-15
- Esteves B., Velez Marques A., Domingos L., Pereira H. (2007) Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood. *Wood Science and Technology*, 41(2):193-207
- Garai RM, Sa'nchez IC, Garcí'a RT, Valverde MAR Rodri'guez, V'lchez MAC, A'lvarez RH (2005) Study on the Effect of Raw Material Composition on Water-Repellent Capacity of Paraffin Wax Emulsions on Wood. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 26:9-18
- Grothe N., Terziev N., Råberg U. (2010) Drying of Wood in Oil Under Vacuum. *Proceedings of the International IUFRO Wood Drying Conference.* 249-264
- Hill CAS (2006) *Wood Modification. Chemical, Thermal and Other Processes.* Wiley Series in Renewable Resources. John Wiley&Sons, Ltd.
- Horváth N., Csupor K., Molnár S., Németh R. (2012) Chemical-free Wood Preservation – The Effect of Dry Thermal Treatment on Wood Properties with Special Emphasis on Wood Resistance to Fungal Decay. International Scientific Conference on Sustainable Development and Ecological Footprint: The Impact of Urbanization, Industrial and Agricultural Technologies on the Natural Environment. (26-27. Marc.) Sopron. Paper 49
- Horváth N. (2008) A termikus kezelés hatása a faanyag tulajdonságaira, különös tekintettel a gombaállóságra. Doktori PhD értekezés. NymE-FMK. Sopron, 44-49
- Horváth N., Csupor K. (2012) The protective effectiveness of dry heat treatment on Turkey oak against fungal decay. The 5th Conference on Hardwood Research and Utilisation in Europe (10-11. Sept.), Sopron, 361-369
- Josák T., Mamonová M., Babiak M., Teischinger A., Müller U. (2007) Effects of high temperature drying in nitrogen atmosphere on mechanical and colour properties of Norway spruce. *Holz als Roh- und Werkstoff* 65(3): 285-291
- Katona G., Fehér S. (2012) Utilization possibilities of poplar species in parquet production in aspect of wood science. *Wood Research* 57 (4): 631-638

- Komán Sz., Molnár S. (2008) A nyárfajták faminőségi és fatechnológiai tulajdonságai és felhasználásuk. In: Tóth B. (szerk.) Nemesnyár-fajták ismeretlege. Budapest. Agroinform Kiadó. 2008. 83-90
- Militz H. (2002) Heat treatment of wood: European processes and their background. In: International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 02-40241
- Molnár S., Bariska M. (2005) Magyarország ipari fái Szaktudás Kiadó Ház Rt. Budapest
- Németh K. (1998) A faanyag degradációja. Szaktudás Kiadó. Budapest
- Németh R., Bak M., Tolvaj L., Molnár S. (2009) The effect of thermal treatment using vegetable oils on physical and mechanical properties of Poplar and Robinia wood. *Pro Ligno* 5(2): 33-37
- Pfriem A., Grothe T., Wagenführ A. (2007) Einfluss der thermischen Modifikation auf das instationäre Sorptionsverhalten von Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.). *Holz als Roh- und Werkstoff* 65(4): 321-323
- Sailer M., Rapp AO., Leithoff H., Peek RD. (2000) Upgrading of wood by application of an oil-heat treatment. *Holz als Roh- und Werkstoff* 31(1): 15-22.
- Stamm AJ., Hansen LA. (1937) Minimizing wood shrinkage and swelling: Effect of heating in various gases. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 29(7): 831-833
- Tiemann H. (1920) Effect of different methods of drying on the strength and hygroscopicity of wood. In: 3rd Ed. The kiln drying of lumber Chap. 11. J. P. Lippincott Co.
- Timar MC., Tuduca TA., Porojan M., Lidia G. (2010) An investigation of consolidants Penetration in wood. Part 1: general methodology and Microscopy. *PRO LIGNO* 6(4): 13-27
- Timar MC., Tuduca TA., Paľachia S., Croitoru C. (2011) An investigation of consolidants Penetration in wood Part 2: FTIR spectroscopy. *PRO LIGNO* 7(1): 25-38
- Tolvaj L., Molnár S., Németh R., Varga D. (2010) Color modification of black locust depending on the steaming parameters. *Wood Research* 55(2): 81-88.
- Varga D., Németh R., Molnár S., Tolvaj L. (2009) Bükk (*Fagus silvatica* L.) faanyag színének homogenizálása gőzöléssel. *Faipar* 56 (2): 20-27
-

Formaldehid-koncentráció egy új építésű vázszerkezetes épületben

PATKÓ Csilla¹, PÁSZTORY Zoltán¹

¹ NymE FMK Innovációs Központ

Kivonat

A formaldehid a legismertebb káros anyag, mely fa és faalapú építőanyagokból kipárologhat. A cikk áttekintést ad a formaldehidről általánosságban, egészségre gyakorolt hatásáról, lehetséges forrásairól, valamint a vonatkozó előírásokról. A természetes faanyagok is van formaldehid kibocsátása. Az esettanulmányban egy olyan új építésű, könnyűszerkezetes faház beltéri formaldehid-koncentrációját vizsgáltuk a téli és nyári időszak alatt, amiben a helyiségek fa burkolata kezeletlen faanyagból készült. A téli időszak alatt mért formaldehid-koncentráció értékei (11–130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) emelkedő tendenciát mutattak a kezdeti mért értékhez képest (34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), míg a nyári időszak alatt újra lecsökkentek (24–51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). A nyári időszak alatt természetes szellőztetés hatására csökkent a koncentráció. A külső levegő hőmérsékletének emelkedése nem volt hatással a formaldehid-koncentrációra.

Kulcsszavak: formaldehid, emisszió, faalapú építőanyagok, természetes faanyag



Formaldehyde concentration in a newly built wooden frame house

Abstract

Formaldehyde is one of the well-known adverse chemicals, which can be emitted from wood and engineered wood building-products. The article gives an overview of formaldehyde in general, impacts, sources, regulations. The natural wood itself emits formaldehyde. The emitted formaldehyde concentrations were measured in a wooden frame-house - with untreated wood coverings in the rooms - during winter and summer time. The concentrations of formaldehyde (11–130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) surpassed the initial value during winter (34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), while the concentrations measured during summer time decreased (24–51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). In the summer time the concentration of formaldehyde decreased due to the natural ventilation. The dramatic rising of the external temperature had no influence on the concentration of formaldehyde.

Key words: formaldehyde, emission, wood based construction materials, untreated wood

Bevezetés

Életünk 80-90%-át épületekben töltjük, miközben a szigorodó energetikai szabályozások miatt az épületek légtömörősége és szigeteltsége egyre nő. A csökkent légcsere következtében az épület beltéri levegőjében felhalmozódhatnak légszennyező anyagok. Már az 1980-as évek elején felismerték, hogy beltéri légszennyező anyagok az épületek építőanyagaiból is származhatnak, sőt a beltéri káros anyag koncentrációja – egyes esetekben – magasabb is lehet a kültérinél (Repace 1982). Ilyen káros anyagnak számít a formaldehid is. Az új építésű házak beltéri levegőjében sokkal magasabb koncentrációban fordulnak elő légszennyező anyagok (Rothweiler et al. 1992, Tuomaninen et al. 2001).

Az elmúlt évtizedekben széles körben terjedtek el a különböző fa és faalapú építőanyagok (OSB, MDF, faforgácslap, stb.) használata az építőiparban. A faalapú kompozitokat nemcsak szerkezeti építőelemként, hanem belsőépítészeti anyagként, bútorelemekként is használják (Qian 2006). Számos szakirodalom foglalkozik a faalapú építőanyagok formaldehid emissziójával (Zhongkai et al. 2012, Hematabadi et al. 2012, Guo et al. 2007). A természetes faanyagoknak is van formaldehid kibocsátása, mely a fafajok szerint eltérő mértékű lehet. Elkülönülnek ezen a téren a gyanta tartalmú fenyők és a különféle savtartalmú keménylombosok. A tanulmány célja bemutatni egy könnyűszerkezetes faházban mért formaldehid-koncentráció értékeit a téli és nyári időszak alatt, amiben a helyiségek faburkolata kezeletlen faanyagból készült.

Formaldehid

A formaldehid (CH_2O) egy szerves vegyület, szén-, hidrogén- és oxigénatomokból épül fel, a legegyszerűbb aldehid. Színtelen gáz, kellemetlen, csípős szagú, éghető, szobahőmérsékleten jelentősen reaktív. További jellemzők: sűrűség (folyékony) 0,8 g/cm^3 , molekuláris tömeg 30,03 g/mol , olvadási pont $-92\text{ }^\circ\text{C}$, forráspont $-19,1\text{ }^\circ\text{C}$, vízben oldódik (20 $^\circ\text{C}$ -on, 400 g/l). Mindenütt jelen van a környezetben, elsődlegesen természetes folyamatok (a Föld légkörében található metán, szénhidrogén, napfény és oxigén hatására keletkezik) és emberi tevékenységek indukálják (kipufogó gáz, cigarettafüst, erdőtüzek, szmog). Természetes úton létrejön növényi és állati szervezetek anyagcsere termékeként, sőt az emberi szervezetben is megtalálható ilyen formában. Jelentős mértékű az ipari előállítás gyanták, fertőtlenítők és fixálók készítésére (Breuer 1995). Az élelmiszeripar tartósítószerként alkalmazza, jele: E240 (Takáts 1994).

A formaldehid felhasználása

Világszerte nagy mennyiségben gyártják a formaldehidet széles körű felhasználhatósága miatt.

Az építőiparban nagy jelentősége van kötőanyagként és szigetelőanyagként. A legtöbb formaldehidet a polimerek és más anyagok szintetizálásához használják fel. Fenol, karbamid vagy melamin hozzáadásával ragasztóanyagot állítanak elő. Hab formájában kitűnő hőszigetelő. Mindezeket túl festékekben és egyes robbanóanyagokban is megtalálható.

A faiparban a furnérlemezek, bútorok és egyéb fatermékek ragasztóanyaga (múgyanta), a máso-

dik világháború után terjedt el alacsony előállítási költsége miatt (Emery 1986, Guo et al. 2007).

A formaldehid beltéri forrásai

A formaldehid beltéri emisszióját már az 1970-es években mérték. Megállapították, hogy jóval magasabb koncentrációban van jelen, mint kültérben (Anderson et al. 1975). Ennek oka a jelentős mennyiségű agglomerált falemez használata belsőépítészeti építőanyagként, ami karbamid-formaldehid (UF) ragasztóanyagot tartalmaz. Másik fő forrása a karbamid-formaldehid hab hőszigetelő anyagok (Namiesnik et al. 1992). Több tanulmány is foglalkozik a karbamid-formaldehid (UF) és fenol ragasztóanyag tartalmazó agglomerált falemezek formaldehid emissziójával (Kim és Kim 2005a, Kim és Kim 2005b, Kelly 1999). Az UF ragasztóanyag egy aminoplasztikus ragasztóanyag, mely a formaldehid és karbamid monomerek reakciójából származik. Az 1990-es évek végén 6 milliárd tonnát állítottak elő belőle évente (Dunky 1998). A formaldehid kétféleképpen emittálódhat az építőlemezektől: (1) szabad formaldehidként kipárolog, (2) az UF gyanta polimer rendszeréből hidrolízis útján szabadul fel. Az első folyamat főként új anyagoknál jellemző, míg a második hosszabb ideig tartó folyamat. Az emisszióra nagy hatással van a beltéri levegő hőmérséklete és relatív páratartalma, a légcserre, az épület kora (mivel a formaldehid-kibocsátás idővel csökken), valamint az évszakok váltakozása.

Egészségre káros hatások

Belélegezve és lenyelve mérgező, égési sérülést, bőrrrel érintkezve túlérzékenységet okozhat. A formaldehidet a légtérből belélegezve az orrnyálkahártya veszi fel, de percek alatt lebomlik. Ennek következtében a formaldehid nem érintkezik a belső szervekkel, hatása korlátozódik a levegővel közvetlenül érintkező szövetekre. A beltéri levegőben magasabb koncentrációban megtalálható formaldehid irritálja a szem és a felső légutak nyálkahártyáját. Tünetek: égő, viszkető szemek, szűró érzés az orrban és a torokban, vízszerű orrfolyás vagy az orr eldugulása. Ha az irritáció továbbra is fennáll, fejfájás, fáradtság, rossz közérzet alakul ki. A szaglászérzékelés határa: 0,05 ppm–1,00 ppm, 0,3 ppm-től szemirritációt okozhat, hatása 1,00 ppm felett jelentős (Bundesamt für Gesundheit 2010).

Nagyobb koncentráció asztmás embereknél a tünetek erősödését, fulladást, valamint fejfájást okozhat. Újabb kutatások alapján ismertté vált, hogy a formaldehid nemcsak a – ritkán előforduló – orr-rákhoz,

hanem a gyakrabban előforduló leukémia kialakulásához is hozzájárul. Egy hónapokon vagy éveken át tartó nagy formaldehid-terhelés befolyásolja a tüdő funkcióit, és növeli a légúti megbetegedések rizikóját. A nyálkahártya tartós sérülése hozzájárulhat az orr- és a garatdaganatok fejlődéséhez is. Az Egészségügyi Világszervezet Nemzetközi Rákkutatási Hivatala 2004-ben emberi rákkeltő hatású anyaggá minősítette (WHO 2010).

Előírások, szabályozások

A Bundesamt für Gesundheit (svájci egészségügyi tartományi hivatal) ajánlásai alapján a károsodások elkerülése érdekében, a formaldehid-koncentráció mértéke nem haladhatja meg a 0,1 ppm-et (ez megfelel 125 µg-nak levegő m³-enként). Ezt az iránymutatást küszöbértékként kell értelmezni, mert ez alatt még nem okoz egészségkárosodást. Ha ezt az értéket túllépi a károsanyag-koncentráció, akkor azonnal intézkedni kell a terhelés csökkentése érdekében. Az Egészségügyi Világszervezet (World Health Organisation – WHO) 2010-es szabályozásában részletesen kitér a formaldehid vizsgálatára. Számos, környezetben mért koncentráció alapján az 1. táblázatban bemutatott határértékeket határozták meg. Magyarországon több rendelet szabályozza a formaldehid-készítmények csomagolását, használatát, forgalmazását, a kibocsátási határértékeket és a formaldehid alapú hulladék kezelését, stb. A légszennyezettség határértékekről, a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről szóló 14/2001. (V. 9.) KöM–EüM–FVM együttes rendelet szerint a formaldehidre az egészségügyi határérték 24 órás átlagban: 12 mg/m³. Veszélyességi fokozat I., tehát különösen veszélyes (4/2011. (I. 14.) VM rendelet). A formaldehidre már világszerte több évtizede léteznek határértékek (Repace 1982). A formaldehidre – a veszélyes anyagokra vonatkozó – 2006-os műszaki szabvány Technische Regeln für Gefahrstoffe – TRGS 900 szerint maximális mun-

1. táblázat A formaldehid koncentrációjának határértékei (WHO, 2010)

Table 1 Limit values of formaldehyde concentration (WHO 2010)

Forrás	Koncentráció [mg/m ³]
Kültér	< 0,01
Beltér	
Családi ház	0,01 - 0,1
Iskola	< 0,05
Középület	< 0,0025

kahelyi koncentrációként jelenleg is $0,62 \text{ mg/m}^3$ határérték van érvényben. A Német Kutatási Társaság (DFG) egészségkárosító munkaanyagok vizsgálatára létrejött bizottsága $0,37 \text{ mg/m}^3$ határértéket javasolt $1,24 \text{ mg/m}^3$ maximális csúcskoncentráció értékkel (Technische Regel für Gefahrstoffe 900).

Példaként szeretnénk megemlíteni egy nagy bútorkereskedelmi cég esetét. Az 1990-es évek első felében mérések során kiderült, hogy az általuk forgalmazott bútoroknál a formaldehid és VOC anyagok emissziója jelentős. A cég hasonló esetek elkerülése érdekében saját előírási rendszert hozott létre, melyek betartását a gyártás során kötelezővé tette.

Az EU-ban egyre szigorodó előírások várhatóak a jövő évtől kezdődően a formaldehid és VOC anyagok emissziójának csökkentésére (Formacare).

Esettanulmány

A tanulmány célja bemutatni egy alacsony energia-felhasználású, könnyűszerkezetes faház beltéri levegőjében mért formaldehid koncentrációjának változását téli és nyári időszak alatt. A házba – a kivitelezés befejezése után – nem költöztek be, csak kísérleti jellegű mérések folytak. A kísérletünk része volt megfigyelni, hogy az egyes mérések eredményeit miként befolyásolják a belsőépítészeti utómunkálatok (beltéri ajtók behelyezése, faburkolat szegélyezése, stb.). Az épület kulcsrakész kivitelezését 2012 nyarán fejezték be. Alapterülete 120 m^2 , földszint plusz tetőtérrel. A földszinten található előszoba, nappali+konyha, szoba, fürdőszoba. A nappaliból vezet fel egy lépcső a galériába, ahonnan nyílik egy szoba a tetőtérbe.

Az épület szerkezete favázból és egy speciális kísérleti szigetelőanyag mellett isocelcellal hőszigetelt fa panelekből áll, mely kívülről vakolt, belül pedig

gipszrost lapokkal burkolt. A beltéri válaszfalak szintén vázszerkezetű fapanelek. A fűtése keringtetett meleg levegővel történik. Emellett a földszinten elektromos padlófűtés segít rá a fűtésre télen, amennyiben az szükséges. A mintavétel helyiségeinek jellemzőit a 2. táblázat tartalmazza.

Helyszíni mérés

A helyszínen aktív mintavételi eszközt alkalmaztunk. A mintavételezés során, a laboratóriumi mérések pontosságának érdekében, a beltéri levegő fizikai jellemzőit már 24 órával a mintavételezést megelőzően beállítottuk. Így a mintavételt stacioner állapotban végeztük el. A helyiség szellőzése csak természetes úton, az esetleges réseken jött létre. A mintavételnél felhasznált aktív mérőeszközre két mintavételi csövet csatlakoztattunk. Az egyik mintavételi cső típusa Tenax TA 200 mg-os rozsdamentes acél cső, 90 mm hosszú a VOC anyagok mintavételezésére.

Szívási idő: 60 min
 Szívási sebesség: 100 ml/min
 Átszívott levegő térfogata: 6000 ml

A másik 150/300 ml dinitrofenil-hidrazinnal impregnált szilika géles töltetű cső formaldehid mintavételére:

Szívási idő: 240 min
 Szívási sebesség: 200 ml/min
 Átszívott levegő térfogata: 48000 ml

Mérési eredmények és azok értékelése

A beltéri levegőből vett minta formaldehid-tartalmának meghatározása az ISO 16000-3:2001 szabványok szerint történt a Wessling Hungary Kft. környezetanalitika laboratóriumában. Az épület kivitelezésének befejezése után, a fűtés beindítása előtt végeztük az első mérést, a további hármat pedig havonta 1-1 alkalommal.

2. táblázat Helyiségek jellemzői

Table 2 Characteristics of the rooms

	Helyiség	Szerkezet	Burkolat	Felület [m ²]	Megjegyzés
1	Nappali	Padló	Kerámia burkolat	25,4	bútorozatlan
		Fal	Gipszrost/Fa	50,0/30,0	
		Mennyezet	Kezeletlen fa	48,5	
2	Szoba	Padló	Kerámia burkolat	12,0	bútorozatlan
		Fal	Gipszrost/Fa	17,0/16,0	
		Mennyezet	Vakolat	12	
3	Fürdőszoba	Padló	Kerámia burkolat	5,04	bútorozatlan
		Fal	Kezeletlen fa	24,1	
		Mennyezet	Vakolat	5,04	
4	Tetőtér	Padló	Kezeletlen fa	10	bútorozatlan
		Fal	Kezeletlen fa	28,5	
		Mennyezet	Kezeletlen fa	2,3	

Az 1. mérésnél a beltéri ajtók még nem voltak beszerelve. A nappali helyiségében végeztük a mérést. A formaldehid ($34 \mu\text{g}/\text{m}^3$) koncentráció értéke jóval alatta maradt a WHO által meghatározott maximális értéknek ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

A 2. mérésnél a beltéri ajtókat még nem szerelték be, viszont a légfűtést már bekapcsolták. A ház három legjellegzetesebb pontján történt a mintavétel. A nappali a legnagyobb légtérű helyiség (123lm^3), a szoba egy átlagos méretű helyiség (33lm^3), mely nincs közvetlen kapcsolatban a nappalival, a tetőtéri helyiség pedig 45lm^3 . A kültéri levegőből is vettünk mintát. A kültéri levegőben a formaldehid értéke ($4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nem volt magasabb a beltérben mért koncentráció legmagasabb értékénél ($11 \mu\text{g}/\text{m}^3$). A beltéri formaldehid-koncentráció az előző méréshez képest jelentősen csökkent, feltehetően a légfűtés hatására.

A 3. mérés idejére a beltéri ajtókat beszerelték, kivéve a tetőtéri szobánál, ezért ennél a mérésnél a harmadik mintát a fürdőszoba helyiségéből vettük. A ház kimagaslóan jó szigeteltsége miatt a légfűtést jóval kevesebbszer kellett bekapcsolni a 18°C átlagos hőmérséklet eléréséhez. A belsőépítészeti utómunkálatok hatása (szegélyek elhelyezése, beltéri nyílászárók beépítése) viszont jelentősen megmutatkozik a formaldehid értékén. A beépített faanyag méretre szabása miatt a formaldehid értéke $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mely meghaladja a WHO által megadott $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -t.

A 4. mérés előtt – kísérletképpen – a légfűtés és a padlófűtés bekapcsolásával a beltéri levegő hőmérsékletét 21°C -ra növeltük. A formaldehid értéke lecsökkent $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alá, mindegyik helyiségben megközelítette vagy meghaladta a kezdeti mért értéket ($34 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Feltételezhetően a belső munkálatok befejezése után a koncentráció visszaesett, majd a magasabb hőmérséklet hatására újra felemelkedett (3. táblázat). A nyári időszak alatt kétszer vettünk mintát, amikor a legmelegebb napok voltak (június és július során). Az épületben nem működött semmilyen gépészeti berendezés, a szellőzés természetes módon történt.

Az 5. mérés eredménye nem mutatott nagy eltérést

a téli időszak 4. méréséhez képest. A formaldehid koncentrációja a fürdő helyiségben volt a legmagasabb ($51 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mivel ennek a helyiségnek nincs ablaka, a szobában mért érték ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) magasabb volt az előző mért értéknél ($21 \mu\text{g}/\text{m}^3$), a nappaliban mért érték ($41 \mu\text{g}/\text{m}^3$) szintén magasabb volt az előző értéknél ($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

A 6. mérés formaldehid-értékei viszont csökkentek mind a három helyiségben (4. táblázat).

Következtetések

A különböző évszakokban és a különböző épületgépészeti jellemzők mellett végzett méréseink alapján megállapítottuk, hogy a beltéri formaldehid-koncentrációra több tényező is hatással van. A fűtési időszak előtti mért érték emelkedését idézte elő a bekapcsolt padlófűtés és légfűtés. Ez megegyezik a (Reponen et al. 1991) tanulmány által közltekkel, vagyis az emelkedett belső hőmérséklet és a légfűtés következtében létrejövő légcserre hatására csökken a formaldehid-koncentráció. Az utólagos belsőépítészeti munkálatok (beltéri faajtók beszerelése, faburkolat szegélyezése, stb.) kiemelkedő növekedést okoztak a formaldehid-koncentrációjában a 3. mérés során. Ezek az értékek azonban a következő mérésre (4. mérés) lecsökkentek, feltételezhetően a folyamatos légfűtés hatására. A nyári időszak mérései kimutatták, hogy a formaldehid-koncentráció az idő elteltével folyamatosan csökken, ami megegyezik a (Reponen et al. 1991) tanulmány megállapításával, miszerint a formaldehid emissziójának csökkenése figyelhető meg a beépítés után. A kinti 40°C -os hőség ideje alatt a beltéri levegő hőmérséklete jóval 30°C alatt maradt, köszönhetően a jó hőszigetelésnek ($24\text{--}26^\circ\text{C}$), ami nem befolyásolta a formaldehid-koncentráció változását.

Köszönetnyilvánítás

Ez a tanulmány a Környezettudatos energia hatékony épület című TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0068 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap

3. táblázat Téli időszak alatt mért beltéri formaldehid-koncentrációk

Table 3 Indoor concentration of formaldehyde during winter time

Téli időszak	1. mérés	2. mérés			3. mérés			4. mérés		
Mérés időpontja	2012.12.10	2013.01.17			2013.02.14			2013.03.07		
Hőmérséklet [$^\circ\text{C}$]	18	18			18			21		
Relatív páratartalom [%]	41	37			37			40		
Mérési hely	Nappali	Nappali	Szoba	Tetőtér	Nappali	Szoba	Fürdő	Nappali	Szoba	Fürdő
Formaldehid [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	34	11	4	10	130	10	23	32	21	49

3. táblázat (folyt.) Téli időszak alatt mért beltéri formaldehid-koncentrációk

Table 3 (count.) Indoor concentration of formaldehyde during winter time

Nyári időszak	5. mérés			6. mérés		
Mérés időpontja	2013.06.14.			2013.07.14.		
Hőmérséklet [°C]	24			26		
Relatív páratartalom [%]	43			43		
Mérési hely	Nappali	Szoba	Fürdő	Nappali	Tetőtér	Fürdő
Formaldehid [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	41	35	51	32	24	40

társfinanszírozásával valósult meg. A mérések a Wessling Hungary Kft. környezetanalitikai laboratóriuma jóvoltából valósulhattak meg.

Irodalomjegyzék

4/2011. (I. 14.) VM rendelet a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről <http://www.kvvm.hu/olm/info.php>

Anderson Ib, Lundqvist GR, Molhave L (1975) Indoor air pollution due to chipboard used as a construction material, *Atmos. Environ.* 9, 21.

Breuer H: SH Atlasz - Kémia (1995) Springer Verlag ISBN 963 8455 68 3, p. 264 - 369

Bundesamt für Gesundheit (2010) Abteilung Chemikalien Formaldehyd in der Innenraumluft, <http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/05381/index.html>

Dunky M (1998) Urea - formaldehyde (UF) adhesive resins for wood. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 18 (1998) 95 - 107

Emery J (1986) Formaldehyde release from wood panel products with phenol formaldehyde adhesives. In: Meyer B et al., editors. *Formaldehydes release from wood products*. ACS symposium series, 316. Washington, DC: American Chemical Society, 1986. p. 26-39.

Guo H, Murray F, Lee S-C (2002) Emissions of total volatile organic compounds from pressed wood products in an environmental chamber, *Building and Environment* 37 1117 - 1126

Hematabadi H, Behrooz R, Shakibi A, Arabi M (2012) The reduction of indoor air formaldehyde from wood based composites using urea treatment for building materials, *Construction and Building Materials* 28 (2012) 743-746

Kelly TJ, Smith DL, Satola J (1999) Emission rates of formaldehyde from materials and consumer products found in California homes, *Environ. Sci. Technol.* 33, 81.

Kim S, Kim H-J (2005) Comparison of standard methods and gas chromatography method in

determination of formaldehyde emission from MDF bonded with formaldehyde-based resins, *Bioresource Technol.* 96, 1457.

Kim S, Kim H-J (2005) Effect of addition of polyvinyl Acetate to melamine-formaldehyde resin on the adhesion and formaldehyde emission in engineered flooring, *Int. J. Adhes. Adhes.* 25, 456.

Namiesnik J, Gorecki T, Kozdron-Zabiegala B, Lukasiak J (1992) *Indoor Air Quality (IAQ), Pollutants, Their Sources and Concentration Levels*. Building and Environment, Vol. 27, No. 3, pp. 339-356

Qian XY (2006) Development of the Chinese wood-based panel industry in the coming five years, *China Wood Industry*; 20:12-5

Repace, JL (1982) Indoor Air Pollution. *Environment International*, Vol. 8, pp. 21-36

Reponen T, Raunemaa T, Savolainen T, Kalliokoski P (1991) The effect of material ageing and season on formaldehyde levels in different ventilation systems, *Environavant International*, Vol. 17, pp. 349-355, 1991

Rothweiler H, Wager PA, Schlatter C (1992) Volatile organic compounds and some very volatile organic compounds in new and recently renovated buildings in Switzerland, *Atmos. Environ.* 26 ,2219-2225.

Takáts P (1994) Faalapú kompozit lemezek formaldehid tartalmának meghatározása Sopron, egyetemi jegyzet, 1-35

Technische Regel für Gefahrstoffe 900: <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/TRGS-900.html>

Tuomaninen M, Pasanen A-L, Tuomaninen A, Liesivuori J, Juvonen P (2001) Usefulness of the Finnish classification of indoor climate, construction of indoor climate between two new blocks of flats in Finland, *Atmos. Environ.* 35, 305-313.

World Health Organisation WHO, (2010) WHO Regional Office for Europe: Guidelines for Indoor Air Quality - Selected Pollutants, ISBN 978 92 890 0213 4

Zhongkai H, Yinping Z, Wenjuan W (2012)
Formaldehyde and VOC emissions at different
manufacturing stages of wood-based panels.
Building and Environment 47,197-204

Repace, J. L., (1982) Indoor Air Pollution.
Environment International, Vol. 8, pp. 21-36

Vietnam faipara: robbanásszerű fejlődés veszélyekkel

MOLNÁR András¹, PÁSZTORY Zoltán¹

¹ NymE FMK Innovációs Központ

Kivonat

Vietnam – hasonlóan Kínához – sajátos fejlődési utat járó szocialista ország. Faipara az elmúlt 10–15 évben döbbenetes fejlődésen ment keresztül, mára a világ 15 legnagyobb bútorexportőre között van. Fa- és fatermék-termelése napjainkra mintegy 2 milliárd USD, bútoringatlanok értéke pedig meghaladja a 4 milliárd USD-t. A gyors fejlődéshez a szűkös hazai alapanyagkészlet nem elegendő. Egyrészt az ország komoly erőfeszítéseket tesz ültetvényerdők létesítésére, másrészt a világ minden részéről importál faanyagot. A faimport ugyanakkor jelentős veszélyekkel is jár. Bár a vietnami vezetés már a faipari „boom” előtt észlelte a trópusi természetes erdők veszélyes pusztulását és ezért drasztikusan korlátozta a természetes erdőkből való kitermelést, ugyanakkor a térség más országai ezt nem tették meg, vagy nincs erejük az illegális kitermelés visszaszorítására. A robbanásszerű fejlődés más szempontból is hordoz veszélyeket. A fejlődés igénye háttérbe szorítja a környezetvédelmet és a munkavédelmet. Ma ez versenyelőny, de az esetleg okozott károk visszavonhatatlanok, illetve a termékek árába be nem épített költségek a távlati versenyképességet rontják.

Kulcsszavak: Vietnam, fafeldolgozás, hengeresfa, bútoringatlan

The wood industry of Vietnam: a development boom with risks

Abstract

Vietnam is a socialist country developing in a special way, similarly to China. Its wood industry got through an incredible development in the past 10-15 years. Today, Vietnam is one of the 15 biggest furniture exporters of the world. The value of its annual wood and wood products turnout is above 2 billion USD, while the value of the furniture production exceeds 4 billion USD. The domestic wood supply is not sufficient to satisfy the demands of the quickly growing industry. The country makes serious efforts to establish wood plantations, and imports wood material from all over the world. At the same time, wood import bears remarkable risks. Although the Vietnamese governance recognized the critical destruction of tropical forests well before the boom of the wood industry and drastically restricted the logging from the natural forests, other countries in the region either did not, or have no power to restrain illegal cutting. The quick development is fraught with danger from other aspects as well. The need of development overshadows the environment protection and labour safety. Today it provides a competitive advantage but the occurrent damages are irreversible and the hidden costs will decrease the competitiveness in the future.

Key words: Vietnam, wood processing, roundwood, furniture industry



Bevezetés

Vietnam egyike a világ öt úgynevezett „kommunista” államának, bár a mai kommunizmus messze nem a régi tervgazdálkodásos, tisztán állami tulajdonra épülő rendszer. A vietnami gazdaság különlegessége a szocializmus és kapitalizmus érdekes keveréke. Az amerikai–vietnami háború 1975-ös befejezése után a kommunista hatalom számos hibát követett el, rengeteg gazdasági problémával szembesült a nyolcvanas években. A rizstermelésben nagy hagyományokkal és kiváló adottságokkal rendelkező országban még éhínségek is voltak. A helyzet feloldásának érdekében a kormány 1986-ban „Doi Moi” néven reformprogramot indított, amelynek lényege a magángazdaság engedélyezése, és az állami vállalatokkal való verseny lehetővé tétele volt. A program megteremtette a magántulajdont, szociális-gazdasági fejlődést indított, engedte a piaci mechanizmusok működését, lehetőséget nyitott az állami vállalatok magánkézbe adására is. A reform végül sikeresnek bizonyult, a siker leglátványosabb példája a rizstermelés megugrása: az addig importra szoruló ország néhány éven belül a világ második legnagyobb rizsexportőrévé vált és ezt a pozícióját azóta is őrzi. Az ország az Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) tagjává vált és 2007-ben felvételt nyert a WTO-ba (Világkereskedelmi Szervezet) is. A felvétellel további vállalatokat is tett, megnyitotta az országot a külföldi tulajdonú vállalkozások számára is. Ma a külföldi cégek számára is lehetőség van céget alapítani, vásárolni, kereskedni az országban, a profit is kivihető az országból. Ugyanakkor a cégalapítás szabadsága nem teljes, az alapítási procedura a minisztériumnál kezdődik egy üzleti terv benyújtásával – csak a ténylegesen tőkét befektető cégeket látják szívesen az országban. A bürokrácia kissé nehezen átlátható külföldiek számára, de a rendszer alapvetően az ország fejlődését és érdekeit szolgálja, nem teljesen és feltétlenül kitéve a világgazdaságot mozgató erőknek.

Az ország a Csendes-óceán – pontosabban a Dél-kínai-tenger – partján fekszik. Hosszú, mintegy 3200 km tengerpartján több nemzetközi kikötő található. Teljes területe 331.210 km², valamivel több, mint háromszorosa Magyarország területének. Történelmi okok folytán, a külföldiek felé nyitottabb Ho Chi Minh város a gazdaság fő központja. Vietnam gazdasági fejlődése Kínához hasonlít-

ható, de egyben egyfajta alternatívát is jelent Kínához képest. Vietnam GDP növekedése 5,67%, illetve 4,22% volt 2010-ben és 2011-ben, általános világpiacon lassulás mellett. (A korábbi években nemegyszer 10%-ot megközelítő volt az éves növekedés.) Az egy főre eső GDP 2011-ben 1.407 USD volt (Magyarországé 14.044 USD).

A vietnami gazdaság vonzónak számít a külföldi cégek számára politikai stabilitása, alacsony bérköltsége, kedvező befektetési politikája és stabil GDP-növekedése miatt. Speciális gazdasági előnye az országnak a munkavállalók magas munkakultúrája, szakértelme, illetve a fiatal munkavállalók magas aránya. A kompetitor Kína keleti partjainál a bérek nagymértékben emelkedtek a gazdasági fejlődés hatására, ez jelentősen versenyképesebbé tette Vietnámot, ezen belül a vietnami faipart. A számos kedvező gazdasági adat ellenére néhány mutató kedvezőtlen alakulása veszélyezteti a gazdasági stabilitást. Az egyik az infláció, amely 2011-ben 18,7%-ra szökött fel, a másik a kereskedelmi mérleg, amely 9,5 milliárd USD deficitet mutat.

A gazdasági nyitás a faiparban is óriási fejlődést hozott. Ez a fejlődés és annak körülményei, mozgatórugói vannak annyira érdekesek, hogy a magyar olvasó figyelmét is felkeltsék.

Erdészet és fakitermelés

Az első megbízható adatok szerint 1943-ban Vietnamban 14,3 millió hektár természetes erdő volt, amely 43%-os erdősültségnek felelt meg. 1990-ig az erdőterület jelentősen csökkent, 9,18 millió hektárra, ami az ország területének 27,2%-a. 1980 és 1990 között Vietnam évente átlagosan 100.000 hektár erdőterületet veszített. 1995-től az erdőterület folyamatosan növekszik az ültetvényerdők létesítésének és a természetes erdők rehabilitációjának köszönhetően. 2009 végéig az összes erdőterület 39,1% erdősültséget jelentő 13,3 millió hektárra nőtt, amelyből 10,41 millió hektár természetes erdő és 2,92 millió hektár ültetvényerdő.

Más országokkal való összehasonlításban Vietnám egy főre eső erdőterülete és élőfa készlete alacsony, 0,15 ha/fő, illetve 9,16 m³/fő. A világátlag 0,97 ha/fő, illetve 75 m³/fő (MARD 2007). 1990 előtt a természetes erdő volt az erdészeti termékek termelésének domináns forrása. Az 1990-es évekre az erdőállomány romlása és az erdőterület csökkenése súlyossá vált és 1997-ben a kormány korlátozta a kitermelést a természete-

tes erdőkből. A 90-es évek elején az összes éves fakitermelés volumene 4-4,5 millió m³ volt (természetes és ültetvényerdők összesen). A korlátozás után a természetes erdőkből való kitermelés 150.000–300.000 m³/év-re csökkent, amit az ültetvényerdőkből való évről évre növekvő mennyiségű, napjainkban már 4 millió m³-t meghaladó kitermelés egészít ki, így összességében elérték a korábbi szintet.

A természetes erdők kitermelésének korlátozása szükséges volt az állománycsökkenés és romlás megakadályozására, de a természetes erdők rehabilitációja után, a fenntartható erdőművelés megerősítésével a kitermelés szükségzerű feladata lesz a vietnami erdészetnek. Ez részben a fafeldolgozó ipar alapanyagigénye, részben a vidéki lakosság foglalkoztatása, életkörülményeinek javítása szempontjából fontos.

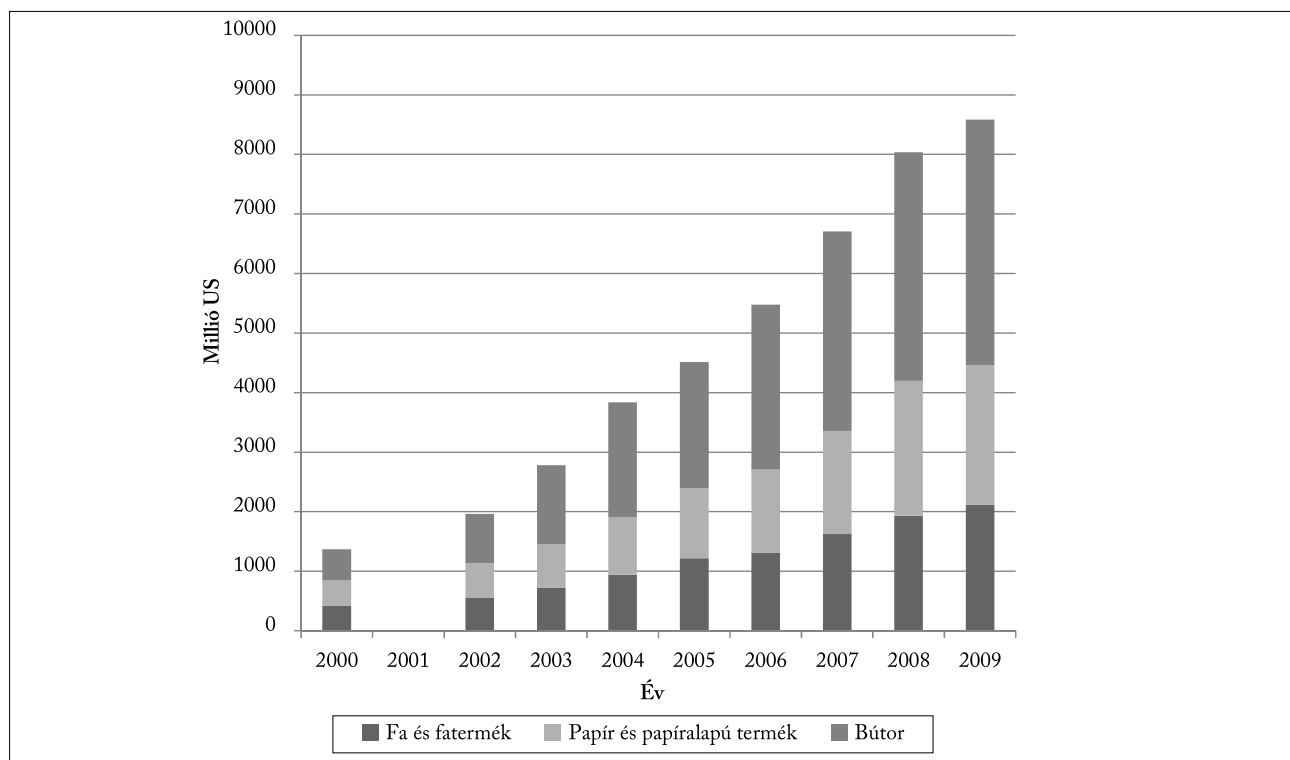
A fafeldolgozó ipar és a bútorigar

A fafeldolgozó ipart az elérhető statisztikai adatok alapján három fő ágazatba lehet sorolni: fatermék-, bútorigar-, és papírigar. Mindhárom ágazat hatalmas fejlődésen ment keresztül az elmúlt évtizedben, termelési érték többszörösére nőtt. A megoszlást tekintve legnagyobb a bútorigar termelési értéke (kb. 4,1 milliárd USD), majd a papírigar,

(1,9 milliárd USD) végül a fatermék ipar következik (1,6 milliárd USD).

A vietnami fafeldolgozás egy speciális ága az aprítéktermelés. Az apríték könnyen előállítható és nagy volumenben értékesíthető választék, elsősorban Japán exportra, ahol a papírigar igen jelentős import alapanyagára szorul. Az elmúlt évtizedben hatalmas aprítéküzemek épültek, sok esetben japán beruházással. Az aprítékot ömlesztett hajórakományként szállítják a vevőknek. Az aprítéktermelés 2005-ben 1,1 millió tonna volt, 2008-ra 2,5 millió tonnára emelkedett (Dawson, T. 2008. Vietnam's Wood Processing Industries: Status & Challenges. Presentation to National Workshop on Opportunities and Challenges for Vietnam's Wood Processing Industry in Post – WTO. Hanoi, 26 February 2008).

A falemezgyártás Vietnamban 2000 előtt jelentéktelen volt, azonban az ezredforduló után jelentős beruházásokba kezdtek. Helyi sajátossággént elsősorban kisebb 10–60.000 m³ kapacitású forgácslap és MDF üzemek építése volt a stratégiai terv a fejlesztéseknél. Ennek oka az alapanyag nagy területen való eloszlása és a kis kapacitású, rossz minőségű úthálózat. A lemezféleségek közül az MDF-et preferálták a forgácslappal szemben. A falemezgyártás 2006-os termelése az 1. táblázatban látható.



1. ábra A vietnami fagazdaság termelési értéke 2000–2009 között (forrás: Vietnam General Statistics Office, GSO 2011)

Figure 1 Production value of wood sector between 2000 and 2009 in Vietnam (source: General Statistics Office, GSO 2011)

A bútörpar az elmúlt 10–15 évben igen alacsony szintről az ASEAN országok második legnagyobb bútorexportőrévé vált, a világon pedig a 15 legnagyobb exportőr egyike. A belföldi kereslet – bár növekvő –, de alacsony szintű, a termelés nagyobb része exportra történik.

A bútörpari export fő iránya az Egyesült Államok (38%), az Európai Unió (44%) és Japán (12%). A bútörpar legfőbb ága a tőmörfa kültéri bútorgyártás.

A bútörpar gyors felfutása néhány kedvező tényezőre vezethető vissza: hatalmas mennyiségű fegyelmzett, nagy munkabírású fiatal munkavállaló áll rendelkezésre, még az átlagos térségi bérszintnél is olcsóbban, az ország politikailag stabil, a külföldi befektetésekre nyitott, fekvése pedig igen kedvező, a világgazdaság húzóerejének számító Csendes-óceáni térségben, az óceán partján fekszik, a szállítás a fő piacokra olcsó. Emellett az ipartelepeken kis beruházással megépíthetők a csarnokok, fűtési igény egész évben nincs, a környezetvédelmi hatóságok pedig viszonylag megengedőek.

1. táblázat A vietnami falemezpar termelési értéke 2006-ban (forrás: Vietnam General Statistics Office, GSO 2011)

Table 1 Production value of the wood panel producers in Vietnam in 2006 (source: General Statistics Office, GSO 2011)

Termék	Termelés, m ³
Forgácslap	256 000
Farostlemez	170 000
ebből MDF	120 000
Rétegelt lemez	16 000
Furnér	134 000



2. ábra Tőmörfa-megmunkálás egy Hanoi melletti bútörpari gyártó üzemben

Figure 2 Solid wood processing in a furniture factory near Hanoi

A bútörparba tartozik mintegy 2500–3000 kisebb hazai termelő és 400 részben, vagy teljesen külföldi tulajdonú nagyvállalat. Utóbbiak adják a termelés több mint 50%-át.

A vietnami bútörpar jellegzetessége a termelők kisebb régiókba tömörülése, lényegében klaszterszerűen. A bútörtermelő régiókban az üzemek egymást érik, és sok esetben kooperálnak egymással. A kooperáció révén az együttműködő cégek képesek nagy volumenű megrendelések gyors teljesítésére.

A belföldre termelő kisebb üzemekre még jellemző a manufaktúraszerű gyártás, amit azonban a CNC megmunkálóközpontok váltanak le. (A hagyományos vietnami bútör faragott tőmörfa.) A nagyobb üzemek jellemzően viszonylag korszerű gépekkel, technológiával jól felszereltek. Az üzemekben feltűnően nagy a rendezettség, ami a szokványos ázsiai körülményekhez képest meglepő. A gépek főként tajvani, kínai, olasz, illetve német gyártmányúak.

Meglepő, hogy a bútörpar tulajdonképpen úgy épült ki az országban, hogy hazai alapanyag alig állt rendelkezésre hozzá, ráadásul a leginkább tőmörfa-igényes kertibútör gyártása lett a fő ágazat. A következőkben ezért megvizsgáljuk a faanyagimport helyzetét.

Fa- és fatermékimport

Összetétel

A vietnami fa- és fatermékimport igen gyorsan bővült az elmúlt években, 2010-re nagyságrendileg egymilliárd USD-t tett ki. Ennek fő oka a bútörpar robbanásszerű felfutása volt, valamint a 2003-ban bekövetkezett importpiaci liberalizáció. Az importált fatermékek fő csoportjai a következők: rönk, fűrészáru, MDF, forgácslap és rétegelt lemez. 2010-ben az importban a fűrészáru és a rönk dominált, de jelentős volt a falemezimport is, amelynek a súlypontját a farostlemezféleségek adták (3. ábra). A vietnami bútörpar alapanyának 70–80%-át importból fedezi, főként az erdészeti kitermelési lehetőségeinek alacsony szintje, illetve az ültetvényerdők rövid rotációja miatt (az 5–7 éves vágásfordulóval termelt anyag gyakorlatilag csak rostfaként, tűzifaként hasznosítható).

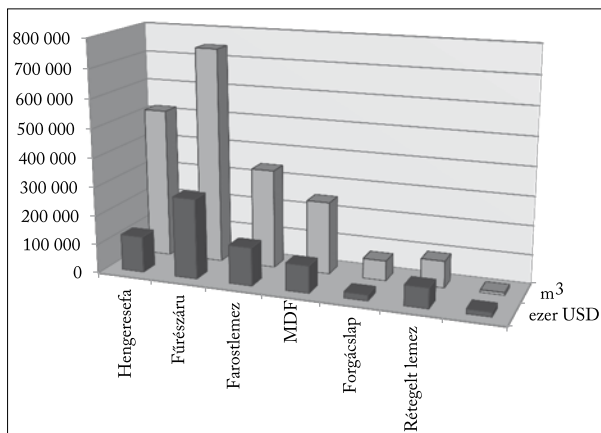
Rönkimport

Vietnam rönkimportja 2010-ben 517.000 m³ volt, ami értékben 125,6 millió USD-t tett ki. Ebből 73.000 m³ tűlevelű, 143.000 m³ trópusi keményfa és 301.000 m³ más lombos fa (FAOSTAT). A rönkimport növekvő volumene, különösen a keményfa

rönkök Vietnam bútortiparának és egyéb faiparának növekedését tükrözik. A 2008-ig tartó növekvő tendencia után jól látszik a gazdasági válság hatása, amely 2010-ben tetőzött (4. ábra).

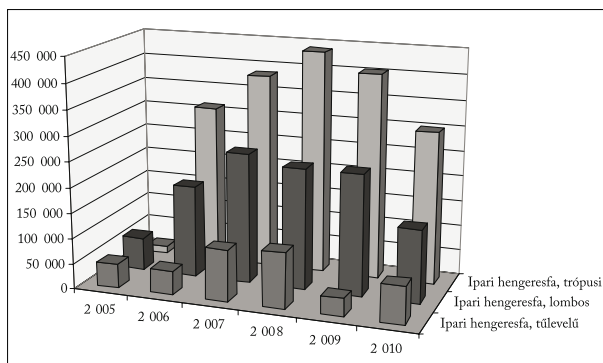
A tűlevelű hengeresfa fő exportőrei az USA, Costa Rica és Dél-Afrika voltak (5. ábra). A nem trópusi lombos fa kategóriában Uruguay, az USA, illetve az európai országok domináltak.

A fő trópusi lombosfa szállítók Malajzia, Costa Rica és Guatemala voltak a statisztika szerint. Ugyanakkor a FAO statisztikai pontossága itt megkérdőjelezhető, hiszen az összesített adatokban a trópusi hengeresfa-import 2010-ben 301 000 m³ volt, míg az országok szerinti bontásnál mindössze 20.662 m³-ról van adat. Ez a statisztikai hiba rávilágít egy jelentős problémára Délkelet-Ázsia erdészetével és fagazdaságával kapcsolatban. Ahogy korábban utaltunk rá, Vietnam drasztikusan korlátozta fakitermelését, csaknem teljesen megtiltva a kitermelést a természetes erdőkből. Ezt a korlátozást még Viet-



3. ábra A vietnami fafeldolgozó ipar import szerkezete, 2010 (forrás: FAO)

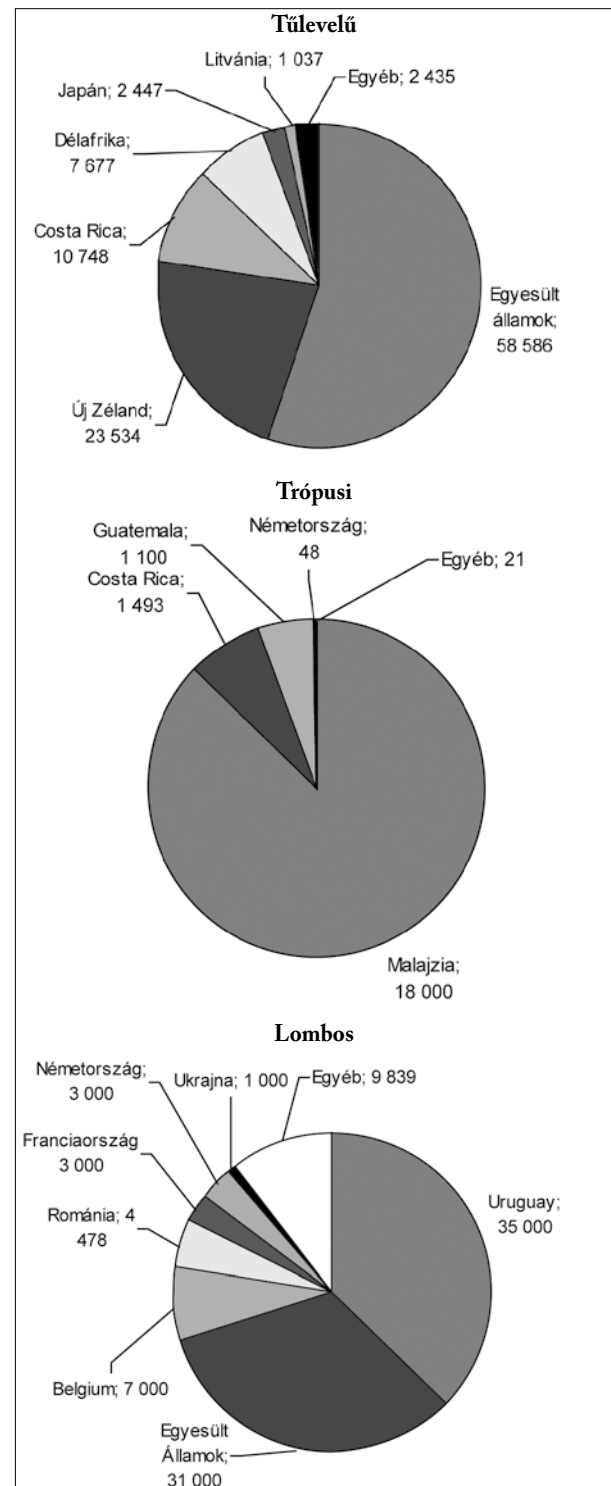
Figure 3 Import structure of the woodworking industry in Vietnam, 2010 (source: FAO)



4. ábra Vietnami rönkimport 2005–2010 (forrás: FAO)

Figure 4 Log import in Vietnam between 2005 and 2010 (source: FAO)

namban sem tudják tökéletesen betartani, számottevő mennyiségű illegális kitermelés van az erdőkből. A fő probléma, az elsődleges erdők kitermelése azonban a korlátozás és Vietnam rohamosan növekvő



5. ábra A vietnami hengeresfa-import a szállító országok szerint, tűlevelű, trópusi és egyéb lombos kategóriákban (forrás: FAO)

Figure 5 Roundwood import of Vietnam by the exporter countries in the coniferous, tropical and broad leaved categories (source: FAO)

vő faanyagigénye következtében áttevődött a környező országokba. Laosz és Kambodzsa gazdaságilag és strukturálisan jelentősen le vannak maradva Vietnambhoz képest. Különösen a nagy favagyonnal rendelkező Laosz lakossága rendkívül szegény. A laoszi kormány egy 1999-es törvénnyel határozottan megtiltotta a rönk- és fűrészáru exportját. Ezt a tiltást, illetve a laoszi erdők kitermelési korlátozásait azonban nem tudják maradéktalanul betartatni. Az elszegényedett lakosság számára csak a faanyagkitermelés nyújt megélhetést, így – szövetkezve a legális, valamint részben, vagy teljesen illegális faanyagkereskedőkkel – nagy mennyiségben termelik ki az erdőket és szállítják a fát Vietnamba és más országokba (6. ábra).

Vietnam saját erdőgazdálkodása és a környezetvédelme révén gyakorlatilag exportálta a környezetvédelmi problémát a szomszéd országokba. (Forest Trends. Timber markets and timber trade between Laos and Vietnam. 2010 (http://www.forest-trends.org/publication_details.php?publicationID=2365)) A hengeresfa importban a fő fafajok a radiáta és egyéb fenyők, eukaliptusz félék, vegyes trópusi fajok, amerikai vörös és fehér tölgy, az európai tölgy, kőris, illetve az amerikai nyár félék.

Fűrészáruimport

Vietnam 280 millió USD értékű fűrészárut importált 2010-ben, amelynek majdnem fele túlevelű fafaj volt. Általánosságban az import tendenciája növekvő, de 2007-től megtorpant a növekedés és 2008-ban mélypont volt, valószínűleg a recesszió hatására (7. ábra).

A túlevelű fafajcsoportban a fő szállító országok 2009-ben Új-Zéland, Chile és Finnország voltak. Új-Zéland exportja 217.948 m³ volt, Chile 54.927 m³-t, Finnország 39.751 m³-t exportált Vietnamba.

A lombosfaimport több mint kétharmadát két ország, az USA (72.000 m³) és Brazília (60.000 m³) adja. A maradékon közel harminc ország osztozik, kontinensek szerint Európa a harmadik legnagyobb szállító, 17.685 m³-rel (8. ábra).

Fafaj szerint a leggyakoribbak a radiáta, erdeifenyő, lucfenyő, illetve tölgy, kőris, nyár és eukaliptusz félék, de konkrét fafaj szerinti statisztika nem áll rendelkezésre.

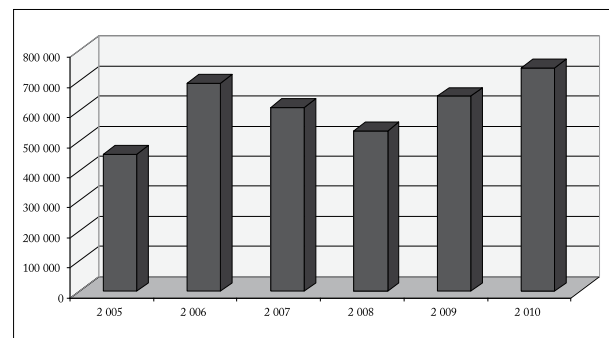
Összefoglalás

A vietnami fafeldolgozó ipar és bútortermelés rendkívül sikeres volt az elmúlt egy-másfél évtizedben. A bútortermelő manufaktúrák színvonalából indulva



6. ábra Illegális fakitermelés Laoszban (forrás: <http://www.deseretnews.com/article/700166566/Lao-forests-feeding-Vietnam-industry-group-says.html>)

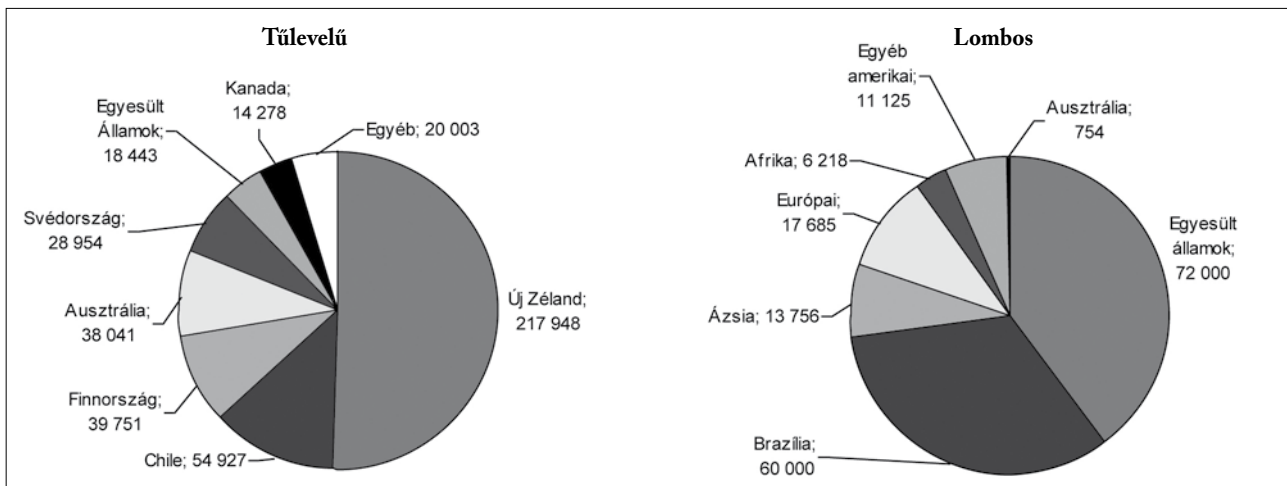
Figure 6 Illegal cutting in Laos (forrás: <http://www.deseretnews.com/article/700166566/Lao-forests-feeding-Vietnam-industry-group-says.html>)



7. ábra Az összes fűrészáruimport, m³-ben 2005–2010 között (forrás: FAO)

Figure 7 Total lumber import in cubic metres between 2005 and 2010 (source: FAO)

kialakult a nemzetközi összehasonlításban is korszerű bútortermelés, amely Európa, az USA és Ázsia piacaira is jelentős exportot tud realizálni. A fafeldolgozó és bútortermelés együtt az ország GDP-jének mintegy 5-6%-át produkálja, azaz nemzetgazdasági szempontból is számottevő. A sikernek ugyanakkor árnyoldalai is vannak: az alapanyagok 70-80%-a importból származik. Ilyen arányú importfüggőség hatalmas kockázatokat rejthet, az ipar teljesen ki van téve a külső piaci áringadozásoknak. Az alapanyagok döntő hányada nem rendelkezik FSC, vagy egyéb igazolással. Az országon belüli erdőkből származó anyagnál a termelés módja, vagy más ok miatt egyelőre nem állnak fenn a minősítés alapkövetelményei, import esetében pedig beszerzési forrásokat kellene váltani és ez nyilván költséggel járna. A piac ugyanakkor megköveteli a minősítést:



8. ábra A vietnami fűrészáruimport a szállító országok szerint, tülevélű és lombos kategóriákban (m³) (forrás: FAO)
Figure 8 Figure 8 Softwood and hardwood lumber import of Vietnam by exporter countries, in cubic metres (source: FAO)

az Európai Unió és az USA is szigorította a területére belépő fatermékek követelményeit.

A fafeldolgozó ipar fejlődésének, az iparba történő beruházásoknak az alapja az alacsony bérköltség volt. Természetesen a GDP emelkedése és az élet-színvonal emelésének igénye magával fogja hozni a bérköltség emelkedését. Közép és hosszú távon így a bérköltség és az import anyagköltség emelkedése a versenyképesség csökkenését eredményezheti. Az ipari bútortermelés óhatatlanul bizonyos környezetterheléssel jár (pl. légszennyező anyagok, zaj, stb.). A vietnami termelők versenyelőnyéhez jelenleg hozzájárul az is, hogy a környezetvédelmi, egészségvédelmi, munkavédelmi szabályok betartá-

sára egyelőre minimális befektetéseket kell tenniük, a mérsékelt szigorú előírások, a hatóságok gyengesége és engedékenysége miatt. Ez természetesen környezeti károkat okoz. Mivel a helyzet a többi iparágban is hasonló, az ország súlyos környezeti károkat szenved. Emiatt várhatóan a jövőben szigorodnak a szabályok és pótlólagos beruházásokra lesz szükség.

A vietnami fagazdaságot összefoglalóan a 2. táblázatban látható SWOT táblával lehet jellemezni:

Köszönetnyilvánítás

Ez a tanulmány a „Trópusi faanyagok felhasználásának korlátozása (ezzel a trópusi erdők védelme), más gyorsan növekvő faanyagok és/vagy fászáru növények

2. táblázat A vietnami fafeldolgozó és bútortermelés SWOT analízise

Table 2 SWOT analysis of the Vietnamese woodworking and furniture industry

Erősségek	Gyengeségek
<p>Alacsony bérköltség Szorgalmas, ügyes munkaerő Tengeri szállítás szempontjából kedvező fekvés Politikai stabilitás az országban Megfelelő infrastruktúra Mérsékelt energiaköltségek Hagyományos klaszter-jellegű együttműködés a termelők között</p>	<p>Saját alapanyag hiánya Szakképzett középvezetők hiánya Környezetvédelmi, munkaegészségügyi hiányosságok</p>
Lehetőségek	Veszélyek
<p>Hazai ültetvényerdőkből fűrészrönk-termelés az importfüggőség csökkentésére Eladások erősítése a hazai piacon Technológiafejlesztés, anyagtakarékos és létszámtakarékos technológiák fejlesztése</p>	<p>Import alapanyag áremelkedések, esetleges beszerzési nehézségek Származási követelmények szigorodása miatt piacvesztés Közép és hosszabb távon bérköltség-növekedés Környezetvédelmi követelmények szigorodása</p>



felhasználásának elterjesztésével” című TÉT-10-1-2011-0675 számú projekt keretében, a Nemzeti Fejlesztési Ügynökség támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

Dawson T (2008) Vietnam's Wood Processing Industries: Status & Challenges. Presentation to National Workshop on Opportunities and Challenges for Vietnam's Wood Processing Industry in Post – WTO. Hanoi, 26 February 2008.

Forest Trends. Timber markets and timber trade between Laos and Vietnam. 2010 (http://www.forest-trends.org/publication_details.php?publicationID=2365)

Ministry of Agriculture and Rural Development. 2007. Vietnam Forestry Development Strategy 2006-2020. Agriculture Publisher.

FAOSTAT (<http://faostat3.fao.org/>)

GSO (<http://www.gso.gov.vn/>)

Telemetriai rendszer fejlesztése Projektzáró bemutató Zalaegerszegen

Prof. Dr. Varga Mihály

A Nyugat-magyarországi Egyetem zalaegerszegi mechatronikai mérnök hallgatói is részt vettek a Pannon Technológiai Centrum és a HF Racing Team kutatási együttműködésében. Az országban több egyetemen is foglalkoznak Formula Student kategóriában formula autófejlesztéssel. A zalaegerszegi csapat egy versenyszériás autón, egy különleges modellt megvalósítva ért el kiváló eredményt.

A projekt célja egy Formula Renault 2000-es versenyautó telemetriai rendszerének fejlesztése volt. Az autón egy 12 fős, mérnök hallgatókból és zalaegerszegi, valamint szombathelyi középiskolás diákokból álló csapat dolgozott.

A csapat feladata az volt, hogy kifejlesszenek egy olyan műszaki megoldást – a Forma-1-hez hasonlóan –, amellyel a boksztucából tudnak beszélni a pilótával arról, mi történik az autóval.

A mostani fejlesztés a hang- és képátvitelt érintette, és már elkezdtek dolgozni a versenyautó adatgyűjtő rendszerén is, ami azt szolgálja, hogy menet közben is lássák a kocsi különböző paramétereit.

A rendszer lehetőséget nyújtana a versenymérnököknek, hogy verseny közben telemetriai adatokat elemezve tanácsaikkal segítsék a pilótát az ideális ívek megtalálásában, vagy akár információkat gyűjtsenek az autó műszaki paramétereiről is. Ez jelentős versenyelőnyhöz juttatná a csapatot, hiszen ebben a kategóriában még nem terjedtek el az online telemetriai rendszerek, ezért is számít egyedülálló kezdeményeznek ez a projekt.



A megvalósult eredményeket több körben is tesztelték: a zalaegerszegi ipari parki teszteken kívül a versenysorozat két eddigi állomásán (Hungaroring, Pannonia Ring) az időmérő edzések alkalmával is beépítésre került a rendszer.

Az első Akkreditált Innovációs Klaszter cím a Nyugat-dunántúli régióban: a Pannon Fa- és Bútoripari Klaszter megújulása

Pakainé Dr. Kováts Judit

Elsőként nyerte el a Pannon Fa- és Bútoripari Klaszter (PANFA) a Nyugat-dunántúli régióban az Akkreditált Innovációs Klaszter címet.

A Magyar Gazdaságfejlesztési Központ Zrt. által kiírt pályázat célja, hogy elismerje az induló és fejlődő fázison túljutott, több éve sikeresen működő klaszterek teljesítményét, és lehetővé tegye számukra a hozzáférést a jelentős összegű, kiemelt támogatási programokhoz. Az innovatív, KKV- és exportorientált, jelentős foglalkoztatási hatású klaszterek akkreditálásának egyik hatása az, hogy lehetőség nyílik egy magas minőségi követelményszint felállítására.

2001-ben Magyarországon másodikként alakult meg a Pannon Fa- és Bútoripari Klaszter (PANFA) 15 alapító taggal, a Zala Megyei Vállalkozásfejlesztési Alapítvány, mint munkaszervezet támogatásával. Az összefogás alapvető célja az volt, hogy a magyar faipar két kulcsterülete, a bútoripar, és az épület- és épületasztalos-ipar – mind a hazai, mind pedig a nemzetközi piacon – versenyképes terméket gyártson és vezessen a piacra.

A számos, együtt elért siker mellett 10 év után a PANFA is megérett az újjászervezésre, a közös erőben rejlő lehetőségek mélyebb kiaknázásának céljából. A klaszter munkaszervezete az EFFIX-Marketing Kft. lett, vezetésükkel pedig elindult az a reorganizációs folyamat, amelynek eredményeként elnyerték az Akkreditált Innovációs Klaszter címet is. A jelenleg 44 taggal, de a bővülés lehetősége mellett működő klaszter első alakuló ülését szeptember elején tartotta, amikor a tagok közösen kijelölték működésük főbb irányait is.

Az eredeti célok megtartása, vagyis bútoripar és az épületasztalos-ipar versenyképességének fokozása mellett az új jövőképet alapvetően a hazai „fa-PR” erősítése, a külföldi kapcsolatok bővítése, a tagok közötti együttműködés fokozása és a közös kutatás-fejlesztés, illetve beruházások határozzák meg.



A hosszú távú sikerek elérése céljából nem pusztán a hagyományos – funkció, forma, minőség, ár – termékjellemzőkre koncentrálnak a jövőben, hanem a fenntarthatóságot meghatározó „zöld szempontokra” és új célcsoportokra is.

A klaszterben résztvevő faipari vállalkozások erejét tovább erősíti a NymE Faipari Mérnöki Kar, mely szintén klasztertag. Az országosan egyedi és európai szinten is elismert színvonalú faipari mérnökképzés, az akkreditált laboratóriumi szolgáltató és K+F+I háttér, a karon megtalálható alkalmazott művészeti és informatikai képzés, továbbá az alapanyag-termelést meghatározó erdőgazdálkodási tudás nemzetközi szinten is kivételes alapokat nyújt a fejlődéshez.

Az akkreditációval tovább növekedtek a PANFA lehetőségei, hiszen jogosulttá vált további, Európai Unió által finanszírozott pályázatokban való részvételre, így erősödhet mind a technológia, mind a kutatási háttér a kitűzött célok elérése érdekében.

A PANFA eredményei felkeltették az erdélyi faiparosok figyelmét is, ezért a gyergyószentmiklósi központú ARBOR Vállalkozók Szövetségének küldöttsége tapasztalatszere céljából ellátogatott a klaszterülésre és néhány soproni taghoz is.

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 (12 pt Times New Roman betűk, 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.

Kiadásért felelős: Dr. Varga Dénes ügyvezető

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.

Terjeszti a Nyugat-magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Kar. 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/kiado weboldalon.

Készült a soproni ReproLan Kft. nyomdájában, 500 példányban.

HU ISSN: 0014-6897

Címlap: A soproni Van de Graaff-generátorok csoportja és a Simonyi Károly féle Van de Graaff-generátor és -gyorsító elvi rajza (forrás: <http://www.termesztvilaga.hu>)