

FAIPAR

A FAIPAR MŰSZAKI TUDOMÁNYOS FOLYÓIRATA LII. évf. 2004/4.

Erdő- és Fahasznosítási Regionális Egyetemi Tudásközpont

Az akác faanyag színének változása a gőzöléskor

OSB hazai alapanyagokból



Tartalomjegyzék:

Az Erdő- és Fahasznosítási Regionális Egyetemi Tudásközpont

TARTALOMJEGYZÉK

TAKÁTS P., BEJÓ L., VASS N.: Különböző fa- és adalékanyagok hatása a cement hidratációjára cementkötésű kompozit termékekben. I. rész: elméleti háttér

TOLVAJ L., MOLNÁR S., TAKÁTS P., VARGA D.: Az akác (Robinia pseudoacacia L.) faanyag színének változása a gőzölési idő és hőmérséklet függvényében

DIVOS F.: Roncsolásmentes faanyagvizsgálat – új tantárgy a Nyugat-Magyarországi Egyetemen

TASCHNER R.: A kettős hangzás előrejelzése és vizsgálata xylofon készítésekor

NÉMETH G., VARGA M.: Modellek a faiparban keletkező hulladékok kezelésére és hasznosítására. II. rész

WINKLER A.: Fa: csodálatos matéria – II. rész

CSERNI CS.: Irányított szerkezetű falemezek (OSB) gyártása hazai alapanyagokból

FAIPAR

A Faipari Tudományos Egyesület
Lapja

Szerkesztőség:

Winkler András, főszerkesztő

Bejó László, szerkesztő

Paukó Andrea, szerkesztő

Szerkesztőbizottság:

Molnár Sándor (elnök),
Fábián Tibor, Hargitai László,
Kovács Zsolt, Láng Miklós,
Németh Károly, Szalai József,
Tóth Sándor, Winkler András

Faipar - a faipar műszaki tudományos folyóirata. Megjelenik a Nyugat-Magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Karának gondozásában. A folyóirat célja tudományos igényű, lektorált cikkek megjelenítése és általános tájékoztatás a hazai és nemzetközi faipar híreiről, újdonságairól.

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

Megjelenik negyedévente. Megrendelhető a Faipari Tudományos Egyesületnél (1027 Budapest, Fő u. 68.) A kiadványt a FATE tagjai ingyen kapják. Az újságcikkeket, híreket, olvasói leveleket Bejó László részére kérjük elküldeni (NyME, Lemezipari Tanszék, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky út 4.) Tel./ Fax.: 99/518-386. A kiadvány elektronikusan elérhető a <http://faipar.fmk.nyme.hu> web-oldalon.

Készült a soproni Hillebrand Nyomdában, 600 példányban.

HU ISSN: 0014-6897

A címlapon: Antal András
kerámikusművész Selmeczi fák c.
alkotásának részlete.

Az Erdő- és Fahasznosítási Regionális Egyetemi Tudásközpont

Németh József *

A Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal nevében a Kutatás-fejlesztési Pályázati és Kutatáshasznosítási Iroda 2004 októberében pályázatot hirdetett Regionális Egyetemi Tudásközpontok létrehozásának és működésének támogatására. A pályázat célja a világ élvonalába tartozó egyetemi tudományos és technológiai innovációs központok, Regionális Egyetemi Tudásközpontok létrehozásának elősegítése annak érdekében, hogy olyan szakterületi és regionális vonzáscentrumok jöjjenek létre, amelyek kiemelkedő kutatás-fejlesztési, valamint technológiai innovációs tevékenységet folytatnak, intenzíven együttműködnek a gazdasági szférával, ösztönzőleg hatnak a régiók technológiai és gazdasági fejlődésére, s ezen keresztül javítják a régió és az ország versenyképességét.

A pályázaton valamennyi magyarországi egyetem részt vett. A zsűri véleménye alapján a pályázatkíró összesen hat egyetem pályázatát nyilvánította nyertesnek, amely egyetemek összesen 9 milliárd Ft támogatást kaptak a Tudásközpontok kialakítására, és négy éven keresztül történő működtetésére. A nyertesek között van a Nyugat-Magyarországi Egyetem és az általa vezetett 13 tagú konzorcium, mely négy évre összesen 1,1 milliárd Ft támogatást kapott a Tudásközpont által megvalósítandó programok végrehajtására.

A Tudásközpont a 2005-től 2008-ig terjedő időszakban három kutatás-fejlesztési programot tervez megvalósítani. Ezek közül az első az erdőgazdálkodás fejlesztésével, azon belül az erdővagyongazdálkodás fejlesztésével, a természetközeli erdőgazdálkodás és erdővédelem kérdéseivel, az erdőgazdálkodás műszaki fejlesztésével, valamint a tartamos vadgazdálkodás feltételeinek megteremtésével foglalkozik. A hazai fahasznosítás fejlesztése című program tárgya a minőségi hengeresfák és a sarangolt választékok hasznosítása, a fahasznosítás művészeti aspektusai, a cellulóz- és papírgyártási célú fahasznosítás, a hulladékgazdálkodás és környezetvédelem, valamint a fahasznosítással kapcsolatos informatikai támogató tevékenység vizsgálata és fejlesztése. A tudástranszfer program egy oktatási-képzési projekt és különböző, a K+F feladatokat segítő tevékenységek (technológiatranszfer, az eredmények elterjesztése, demonstrációs tevékenység, kutatói mobilitás, iparjogvédelem) megvalósítását tűzte ki célul.

A Nyugat-Magyarországi Egyetem, és azon belül a Faipari Mérnöki Kar életében fontos mérföldkő a Tudásközpont létrehozása, mely egyszerre jelenti a nagy múltú intézmény által végzett magas színvonalú kutatás-fejlesztési tevékenység elismerését, és a jövőbeni kutatómunka megalapozását, feltételeinek megteremtését. Az ipari partnerek részvételével megvalósítandó programok eredményei reményeink szerint hatékonyan segítik majd a hazai erdészeti és faipari vállalkozások tevékenységét és annak fejlesztését.

* Dr. Németh József CSc. kutatási igazgató,
NyME Faipari Kutató és Szolgáltató Központ

Különböző fa- és adalékanyagok hatása a cement hidratációjára cementkötésű kompozit termékekben. I. rész: elméleti háttér

Takáts Péter, Bejő László, Vass Norbert *

The effect of various wood materials and additives on cement hydration. Part 1: theoretical background

The hydration of cement bonded wood composites was investigated to aid the development of cement bonded beams. This article introduces the basics of cement bonded wood composites, gives a detailed description regarding cement composition and hydration and discusses the effect of wood on the setting and properties of cement. The follow-up article will describe the experimental work and its results.

Key words: Cement bonded wood composites, Hydration, Inhibition

Bevezetés

Hazánkban az elmúlt évtizedekben számos olyan kutatás folyt, mely a szervesetlen kötésű faalapú kompozitok létrehozására irányult. A kutatások során megállapítást nyert, mely fafajok alkalmasak sikerrel ezen termékek előállítására. Mára számos gipsz- és cementkötésű kompozitféleség alakult ki. Ezen termékeket különböző sűrűséggel és eltérő tulajdonsággal állították elő, és többnyire építészeti célokat szolgáltak. Közös jellemzőjük azonban, hogy – eltekintve a faapríték alapú falazóblokkoktól, gipszkötésű formatestektől – szinte kizárólag lemezek formájában készültek, és szervesetlen mátrix részük szinte minden esetben jelentősen javítja a faanyag éghetőségi besorolását (Takáts 1998, Winkler 1998).

A közelmúltban felmerült a szervesetlen kötésű kompozit gerendák létrehozásának lehetősége is. A szerzők kísérletet tettek ilyen termékek létrehozására. A kezdeti kísérletek elsődleges célja az volt, hogy megállapítsuk: alkalmasak-e a szervesetlen kötésű kompozit rendszerek nagy szilárdságú teherviselő elemek létrehozására. Ezekről a kísérletekről egy külön publikációban számoltunk be (Bejő és tsai. 2004).

A szervesetlen kötésű kompozitok esetében a kapott szilárdsági eredmények elemzéséhez a hidratációs kísérletek sok segítséget nyújtanak. A mérések során kapott hidratációs görbék információt adhatnak a cementszilárdulás időbeni alakulásáról, a hidratáció sebességéről, melyből következtetni tudunk a szilárdulás

mértékére, illetve a rendszerhez adagolt egyes alkotórészek – mint a fafaj és a kötés gyorsító – hidratációt befolyásoló hatására. Éppen ezért a kompozit gerendák létrehozására irányuló kísérletekkel párhuzamosan vizsgáltuk az alkalmazott kompozit rendszerek, illetve a cement alapanyag hidratációját is. E kísérletek eredményeiről számolunk be két közleményből álló cikksorozatunkban.

A cementkötésű kompozitok kötésmechanizmusa, a cement hidratációja, valamint a faanyagának a cement kötésére kifejtett hatásának témaköre igen összetett. Cikksorozatunk bevezető darabjában éppen ezért szeretnénk röviden áttekinteni a cementkötésű kompozitokkal kapcsolatos legfontosabb tudnivalókat. A kísérletek leírását és eredményeit, valamint az azokból levonható következtetéseket a sorozat második részében ismertetjük majd.

A kísérletek elméleti háttere

A szervesetlen kötésű kompozit termékek cement, vagy gipsz mátrix rendszerbe ágyazott lignocellulóz, esetenként anorganikus részecskék, elemi rostszálak szilárd halmazát jelentik (Takáts 1998). Mint a meghatározásból kitűnik ezen kompozitok – melyek lehetnek lemezek, formatestek ill. építő blokkok – kötőanyagául a cement és gipsz különböző fajtái szolgálhatnak. A szilárdítást szolgáló vázrendszer alapját pedig szerves (illetve esetenként szervesetlen) váz képezi. Természetesen a fő alkotórészek mellett a szervesetlen kötésű kompozit termékek

* Dr. Takáts Péter CSc. egy. docens, Dr. Bejő László PhD. tudományos munkatárs, NyME Fa- és Papírtechnológiai Intézet, Vass Norbert okl. faipari mérnök

gyártásakor egyéb kémiai adalékanyagok (pl. kötőszabályozók) is felhasználásra kerülnek.

A gyártott termék tulajdonságainak alakulását döntő mértékben a következők befolyásolják (Takáts 1995a):

- a termék térfogati sűrűsége,
- a mátrix rendszer kialakulásában résztvevő szervesetlen kötőanyag fajtája (cement, gipsz), és azok jellemző paraméterei (ásványi összetétel, fajlagos felület, stb.),
- a vázszerkezetként szolgáló agglomerált anyagrészcsek mennyisége és azok cementkötést akadályozó járulékosanyag-tartalma,
- az alkalmazott kötőszabályozó anyag kémiai összetétele és mennyisége.

A kutatómunka elért eredményeinek elemzéséhez segítséget nyújthat a fa-cement rendszerek kötésmechanizmusának vizsgálata, mely a szilárdság alakulásának okairól fontos információt ad számunkra. A kötést elvi szempontok alapján két nézőpontból kell megvizsgálnunk. Az egyik maga a szervesetlen kötőanyag megszilárdulása, a másik a kötőanyag és a szilárdítást szolgáló – a rendszer vázanyagát biztosító – anyagrészcsek közötti interakció. A kettőt azért fontos megkülönböztetni, mert amíg a kötőanyag és a szerves alkotóelem között fizikai kötések jönnek létre, addig a szervesetlen kötőanyagok megszilárdulása kémiai reakció következménye.

A cement, mint kötőanyag

A szervesetlen kötésű kompozitok előállításánál a legkülönbözőbb inorganikus kötőanyagok alkalmasak a mátrix rész kialakítására. Ezeknek a szervesetlen anyagoknak a csoportosítása során megkülönböztetünk nem hidraulikus (csak levegőn megszilárduló, ugyanakkor víz hatására oldódó, esetleges képlékenyvé váló) és hidraulikus (levegőn és vízben is megszilárduló, gyakorlatilag oldhatatlan) kötőanyagokat. Ezek a következők:

Nem hidraulikus kötőanyagok:

- mész
- gipsz
- magnézia cement

Hidraulikus kötőanyagok:

- hidraulikus mész
- portlandcement
- kohósalak cement
- puccoláncement
- kompozitcement
- aluminátcement (bauxitcement)

A továbbiakban a fenti kötőanyagok közül a kísérleteink alapját képező portlandcement tulajdonságait tárgyaljuk.

A tiszta portlandcementek két fő alkotója a megfelelő mennyiségű mészkő (70-80 %) és agyag (20-22 %) zsugorodásig való égetése által előállított klinker. Ehhez a kötőszabá-

1. táblázat – Főbb klinkerásványok a portlandcementben, és azok tulajdonságai (Hachmi és Cambell 1989)

Klinkerásvány	Képlet	Röv.	Tulajdonságok	Mennyiség (tömeg %)
Trialkcium-szilikát (ALIT)	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_3S	maximális kezdeti szilárdság nagy hidratációs hő	25-60
Dikalcium-szilikát (BELIT)	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_2S	négy módosulata közül a legfontosabb a β -módosulat lassú kezdeti szilárdulás megfelelő utószilárdulás alacsony hidratációs hő	12-20
Trialkcium-aluminát	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	leggyorsabban köt, legnagyobb hőt termeli gipszkővel lassítható a túl gyors kötés.	4-12
Tetralcium-aluminát-ferrit	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ $\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	lassan köt, a legkisebb szilárdságú összetevő	8-12

lyozás céljából 4-5 % gipszkövet adagolnak, melyeket együttesen finomra őrölnek. A mészkő adja a mésztartalmat, az agyag pedig a SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 tartalmat. Az utóbbi alkotók bevitele céljából még homokot, löszöt, kohósala-
kot és pernyét is használnak. A nagy hőmérsék-
leten történő kezelés a klinkerégetés, melynek
során a klinkeralkotó oxidokból hidraulikus
tulajdonságokat hordozó klinkerásványok ala-
kulnak ki. A portlandcement tehát tulajdon-
képpen ezeknek a klinkerásványoknak komplex
keveréke (**1. táblázat**).

A klinkerásványok összetétele és tulajdonságai a hidratációs folyamatokat ill. a megkötött beton szilárdságát is meghatározzák. A jó minőségű klinkerásványokban az azokat alkotó oxidok mennyisége csak bizonyos tömegszázalék határok között változhat (**2. táblázat**).

A portlandcement kikötését az **1. táblá-
zatban** ismertetett négy fő klinkerásvány hidra-
tációjával magyarázzuk. A cement ugyanis a
hozzákevert vízzel szemben instabillá válik. A
létrejött cementpép a végbemenő igen bonyolult
fizikai-kémiai folyamatok hatására először el-
veszti képlékeny állapotát, majd szilárdsága
egyre gyorsabb növekedésnek indul. A szilárdu-
lást elsősorban a kalcium szilikátok hidratációja
okoza. Így a cementkő illetve beton szilárd-
ságának hordozói a nagy fajlagos felületű
kalcium-szilikát hidrátok.

Ezek a C_3S (alit) és $\beta\text{C}_2\text{S}$ (belit)
klinkerásványok szilárdulása során keletkeznek,
és mindaddig stabilak maradnak, amíg a
kémhatás a környezetükben $\text{pH}=7,0$ alá nem
csökken. A cement hidratációja során a klinker-
ásványok kristályosodnak, szilánkosodnak, és a
vizet kalcium-szilikát-hidrátok formájában meg-
kötik.

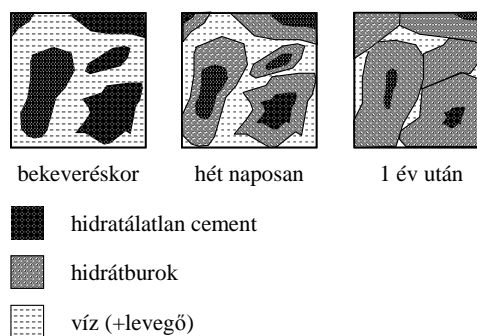
2. táblázat – A különböző oxidok mennyisége a klinkerásványokban

Oxidok	mennyiségük (%)
CaO	60 – 70
SiO_2	19 – 24
Al_2O_3	2 – 8
Fe_2O_3	2 – 6
MgO	1 – 5
szabad CaO	0 – 1
egyéb	0 – 3

A cement szilárdulása hagyományosan három fő szakaszra bontható:

1. A kötési folyamat, melynek során, a szilárd anyagrészecskék között egy gélszerű kapcsolat jön létre, mely hídkepződmények kialakulását és a víz-cement rendszer viszkozitásának növekedését eredményezi. Ez az első állapot addig tart, amíg a cementpép körömmel megkarcolható.
2. A szilárdulás vagy más néven cementáció, mely alatt általában a 28 napig bekövetkező szilárdságnövekedést értjük. Ekkor a diszkrét részecskék hidratációjánál keletkező kolloid termékekből álló hidak képződése és a részecskék egymás közötti kapcsolata jön létre.
3. Az utószilárdulás, mely a 28. nap után a víz és a levegő széndioxidtartalmának hatására bekövetkező szilárdságnövekedés.

A kötés és a szilárdulás mechanizmusa nagyon hasonló. A két folyamat nem különül élesen el egymástól, közöttük az átmenet fokozatos. A víz hatására ugyanis az égetés folyamán keletkező klinkerásványok (kalcium-szilikátok, kalcium-aluminátok stb.) szilánkosodnak, felhasadnak és a vizet kalcium-szilikát-hidrátok (CSH) ill. kalcium-aluminát-hidrátok (CAH) alakjában megkötik, mely folyamatot közös néven hidratációnak nevezzük. A hidratáció során először telített, majd túltelített kolloidális oldat keletkezik. A cementszemcsék felületén vékony kocsonyaszerű anyag, gélréteg jön létre, amelyből idővel (évek folyamán) kristályok keletkeznek (**1. ábra**). A cementpép e folyamat hatására először megdermed, majd fokozatosan kőszerűvé válik, aminek cementkő a neve (Balázs, 1984).



1. ábra – A cement hidratációja (Balázs 1984)

Láthatjuk tehát, hogy a finomra őrölt klinker és a víz között hidrolízis és hidratációs folyamatok játszódnak le, melyet egy többlépcsős fizikai-kémiai folyamattal magyarázhatunk. Ez a folyamat tulajdonképpen három szakaszból áll:

Intenzív (fokozódó) szakasz, mely a víznek a C_3S és C_2S felületi adszorpciójából, és a legfontosabb klinkerásvány, a trikálcium-szilikát (C_3S) felületéről történő intenzív Ca^{2+} ion lehasadásából áll. Ez az első szakasz nagy hőfejlődéssel jár, melyért egyrészt a nedvesítési hő, másrészt az intenzív Ca^{2+} és OH-ionok oldatba jutása okoz. Ebben a szakaszban megkezdődik az első kristályos szerkezet, az ún. ettringit kialakulása.

Az önindukciós (öngerjesztő) szakaszban a hidratációs folyamat szinte nyugvó állapotba kerül, a hőfejlődési sebesség teljesen lecsökken. A hidratációs folyamatnak ez egy fontos része, hiszen a későbbi kristályok kristálymag képződésményei (nukleusok) ebben az időszakban alakulnak ki. A klinkerszemcsék mohón igénylik a vizet és a szemcsék körül kialakult gélhártyákon (félígáteresztő membránokon) át vízdifúzió indul meg a klinkerszemcsék felé. Eközben a szemcsékkel érintkező oldat Ca^{2+} és OH-ion koncentrációja állandóan nő. Ennek eredményeképp a hártya és a szemcse között túltelített oldat jön létre, mely a periódus végéig áll fenn. A félígáteresztő membránon keresztül a Ca^{2+} ion kidiffundál, melyre a SiO_2 ionjai méretüknél fogva nem képesek. Ennek következtében a belső részben SiO_2 ionban, a külső részben pedig OH- és Ca^{2+} ionban dús oldat keletkezik. A hártya belsejébe jutó vízmolekulák a kifelé igyekvő Ca^{2+} ionok helyére próbálnak beférni, ami csak az ozmotikus nyomás növekedésével lehetséges. A cement néhány órán át való bedolgozásának lehetőségét ez a folyamat teszi lehetővé. E periódus végével veszi kezdetét a cement kötése.

Az akcelerációs szakasz kezdetével újabb erőteljes hőfejlődést tapasztalunk. Ez a kezdetől számított 4-8 óra elteltével következik be. E szakasz kezdetén az ozmotikus nyomás hatására a szemcséket korábban bevonó gélhártya szétrobban, és új felületek keletkeznek a régiék helyett. A kristálymagok növekedni kezdenek, és hosszúrostú, szálal kalcium-szilikát-hidrátok

jönnek létre. A hőfejlődés sebessége újból nagy lesz mindaddig, míg a gélhártyák ismét telített állapotba nem kerülnek, ugyanis a határhártyán belül a klinkerszemcsék hidratációja ismét nehézkessé válik. A reakció ismét lelassul, a hőfejlődés lecsökken. A korábbi indukciós szakaszban beindult $Ca(OH)_2$ kiválás ebben a szakaszban nagy mennyiségben figyelhető meg, mely felelős a 13-14 pH értékű lúgos közeg kialakulásáért. Ez az egyik feltétele a vasbeton szerkezetben lévő acél korrózió elleni védelmének. A faalapú kompozitok esetében viszont ez a lúgos közeg huzamosabb idő elteltével faanyag-degradációt eredményez. A $Ca(OH)_2$ kiválás folyamatát ezért igyekszünk különböző vegyi anyagok hozzáadásával gyorsítani (Takáts, 1995b).

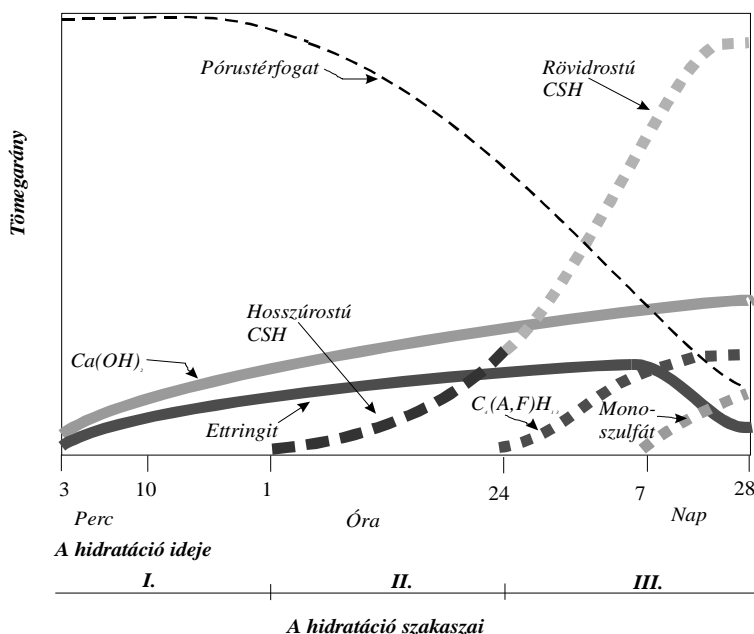
A harmadik szakasz befejeztével, a cementkötés végén a klinkerszemcséknek még csak mintegy 15-20 m%-a hidratálódott. A részecskék további hidratációja már szilárd rendszerben történik, mely akár éveken át lejátszódó folyamat is lehet, ugyanis a hidratációs szakaszok egyre ritkábban és kisebb intenzitással ismétlődnek.

A cementhidratáció mechanizmusát, időbeni lefutását, a kialakuló hidráttermékek tulajdonságát számos tényező befolyásolja. Összefoglalóan elmondhatjuk, hogy a hidratáció első, kezdeti szakaszában az ettringit képződés, a másodikban a hosszúrostú kalcium-szilikát-hidrátok, a harmadik szakaszban pedig a rövidrostú, nagy szilárdságot biztosító kalcium-szilikát-hidrátok keletkezése jellemző (**2. ábra**).

A kedvező szilárdsági értékek elérésének érdekében – ezek szerint – a hidratáció sebességét kell befolyásolnunk és irányítanunk. Ennek ellenőrzésére szemléletes módszerként a hidratációs hőmérséklet lefutásának mérése szolgál. Ezzel a módszerrel a fentiekben említett három hidratációs szakasz jól nyomon követhető.

A faanyag cementhidratációt befolyásoló hatása

Ha az építőiparban használt szervesetlen kötési építőanyagokat a cementkötésű forgács- lapokkal, rost- illetve fagyapotlemezekkel összehasonlítjuk, azt tapasztaljuk, hogy ez utóbbi termékek – bár hasonló kötőanyaggal



2. ábra – A hidratáció időbeni alakulása (Alpár 2000)

készülnek – alacsonyabb szilárdsági értékeket mutatnak. Ezek okai a következők:

- Az alkalmazott szervesen kötőanyag egyáltalán nem, vagy csak részben köt a faanyaghoz, mely a fa-cement rendszerek egyik legnagyobb problémája. Ugyanis a faanyag és a cement között elsőrendű kémiai kötés nem létesül, ezért ezeknek a kompozitoknak szilárdságát elsősorban a köztük kialakuló mechanikai kapcsolat adja. A folyékony cementmassza behatol a fa repedéseibe, mikroszkópikus és makroszkópikus réseibe, valamint a sejt falába, és a felületi egyenetlenségeken megszilárdulva a kristályos formájú cement összekapcsolja egymással a faelemeket.
- Jelentős eltérések mutatkoznak a komponensek elasztó-mechanikus tulajdonságában, duzzadási-zsugorodási tulajdonságaik nagyságrendjében is, melyek az előbb említett szilárdsághordozó kapcsolatot tovább gyengítik.
- A kompozit vázszerkezetét alkotó faanyag hatással van a kompozit kötőanyagaként szolgáló cement kötésének folyamatára.

A fa cellulózból, hemicellulózból (poliozok), ligninből és járulékos anyagokból (extraktumokból) áll, mely fakomponensek százalékos összetevői fafajtól függenek, azon belül is változnak és minden fafajra jellemző

értéket mutatnak (Molnár és tsai. 2000). Sandermann és Kohler az '50-es évek végén kutatások során bizonyították, hogy a cementnek a fához történő kötését a fában lévő vízdoldható anyagok, az ún. „cementmérgek” gátolják (Simatupang és tsai. 1992). Ilyen anyagok a szénhidrátok (egyszerű cukrok, cukorsavak, hemicellulózz) és az extrakt vagy járulékos anyagok.

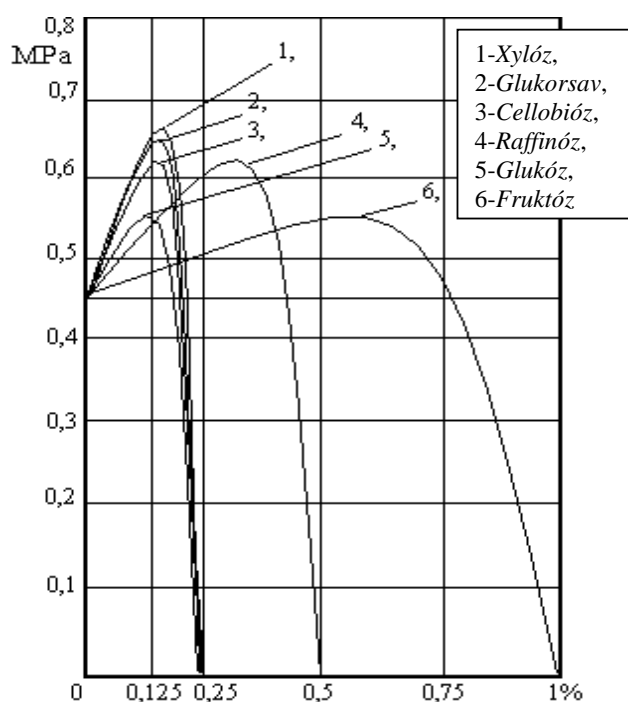
A hemicellulózzok közül a mannozok, xylánok, galaktánok, arabinánok jelenlétét sikerült kísérletekkel igazolni. Bizonyították, hogy a lombos fákban 25-30% xylán van, míg a tűlevelűek ebből a komponensből csak 5-10%-ot tartalmaznak. Ez természetesen függ a fa termőhelyi adottságaitól is (pl. ártéri terület, homokos-löszös talaj stb.) (Takáts 1995b).

A korábbiakban leírtak szerint, a cementhidratáció korai szakaszában a dikalcium- és trikálcium szilikátok (C₂S és C₃S) hidratálódnak és tobermorit-gélt és kalcium-hidroxidot képeznek. A cement súlyszázalékának kb. 25%-a alakul át kalcium-hidroxiddá, amely 12,5-re növeli a cementmassza pH értékét. Ez erősen lúgos kémhatást jelent. A hemicellulózzok alacsony molekulásúlyú, 100-270 polimerizációs fokkal rendelkező, amorf polimerek, melyek vízben oldódnak, lúgosak és meglehetősen reaktívak. Ezen okok miatt könnyen dagadnak, oldódnak és degradálódnak, mely az erősen lúgos kémhatás következtében be is következik. Így bizonyos mennyiségű hemicellulózz oldhatóvá válik, mely erőteljes késleltető hatással van a cement hidratációjára (Fenger és Wegener 1989).

Az extraktumok, melyek szintén kevert összetételű komplexumok, gátolják a cementnek a fához történő kötését. Ezek tartalmazhatnak gyantát, zsírsavat, terpentint, fenolt, tannint, egyszerű cukrokat és sókat, mely összetevők a különböző fafajokban meglehetősen változóak mind tartalom, mind oldhatóság szerint. Lieber és Richartz reakciósebesség vizsgálatai igazolták, hogy 0,3 %-nál nagyobb cukormennyiség lassítja a hidratációt (Lieber és Richartz, 1973). A cukortartalomra vonatkozó vizsgálatok

3. táblázat – a cement hidratációját befolyásoló egyéb tényezők (Takáts 1998)

Befolyásoló tényezők	gyorsít	lassít
A cement szemcsemérete	finom őrlés	durva őrlés
A cementpép hőmérséklete	hőérlelés	hűtés
Víz-cement tényező	kisebb	nagyobb
Fa-cement tényező	kisebb	nagyobb
Kémiai adalékanyagok	Ca Cl ₂	bórax
	Al Cl ₃	dextrium
	Na ₂ Cl ₃	cukor
	CH ₂ CaO ₄	citromsav
	Na ₂ SO ₄	lignoszulfonsav
		Al ₂ SO ₄



3. ábra – Cukrok hatása a cement hidratációjára (Alpár 2000)

megerősítették, hogy a cement tömegére vonatkoztatott 0,25%-os cukortartalom már teljesen meggátolja a cementhidratációt (**3. ábra**). Elektronmikroszkópos vizsgálatokkal kiderítették, hogy a cukrok adszorbeálódnak az alit felületén, ezáltal annak reakcióját a vízzel gátolják (Alpár 2000).

Más kísérletek eredményei azt is megmutatták, hogy a fa extraktanyagának oldható lúgos frakciója járulékos hatást gyakorol a cementkeményedés tulajdonságaira. Amilyen mértékben nőtt a lúgos komponens mennyisége,

úgy csökkent a minta szilárdsága. Ilyen hatása lehet pl. a gombakárosításnak ill. fény- és hőhatásnak kitett faanyagoknak, hiszen az nagyobb mennyiségű lúgos oldható frakciót tartalmaz (Simatupang és tsai. 1989). Ennek eredményeképpen a gyártás során felhasznált fafajok nagymértékben befolyásolják a cement hidratációját és így a gyártott termék szilárdságát is.

A fa-cement kompozitok végső szilárdságát valójában a cement és fa-komponensek közötti kölcsönhatás mértéke határozza meg, melyben legjelentősebb szerepe a vázszerkezet és a mátrix rész határfelületén létrejövő kapcsolatnak van (Takáts, 1998). E kapcsolat erőssége az alábbi módszerekkel javítható:

- A faanyag fizikai-kémiai előkezelésével, csökkentve ill. megakadályozva ezzel a „cementmérgek” hatását. Ez történhet az alapanyag három hónapnál hosszabb tárolása révén, minek következtében egyrészt csökken a magas nedvességtartalom, mely a kioldódó anyagtartalmat fokozza, másrészt a faanyag fafajtól függő hemicellulóz-, ill. gyantatartalma kikristályosodik, vízben nehezen oldódó amorf anyaggá alakul, vagy kémiai előkezeléssel.
- A fa-cement tényező (α) helyes megválasztásával. Ezt a paramétert a fafaj, a kitermelés ideje (őszi, téli döntés), a termőhelyi viszonyok, a vázszerkezet alakíthatósága, a fakémiai összetétel, illetve a cement kötőanyag fajtájának figyelembe vételével kell meghatározni.
- A különböző adalékanyagok ún. „hídképző anyagok”, kötésgyorsítók felhasználásával. A kötésgyorsítók lehetnek erős lúgok, vagy gyenge savak alkalikus sói. Leghatásosabb gyorsítóként a CaCl₂-t használják, mely katalizátorként meggyorsítja a C₃S és a β C₂S hidratációját. A CaCl₂ kötésgyorsító szerepe csak bizonyos mennyiségű adagolás mellett érvényesül. Ellenkező esetben lassítja a hidratációs folyamatot. Érdeemes megemlíteni emellett a nátron vízüveget is, mint kitűnő mineralizáló anyagot.

A cement hidratációjának folyamatát a faanyagon kívül egyéb tényezők is befolyásolják. Ezeket a **3. táblázatban** foglaltuk össze.

Összefoglalás

Cikkünkben áttekintettük a szervesen kötésű kompozitokkal kapcsolatos legfontosabb tudnivalókat. Ismertettük a kötőanyagok legfontosabb fajtáit, valamint behatóbban foglalkoztunk a portlandcement tulajdonságaival és hidratációjával. Emellett röviden tárgyaltuk a faanyagok a cement hidratációjára kifejtett hatását is. Cikksorozatunk második, befejező részében ismertetjük az elvégzett kísérleteket és azok eredményeit.

E cikk az Országos Tudományos Kutatási Alapprogramok (OTKA) T-043399 nyilvántartási számú pályázatának keretén belül készült.

Irodalomjegyzék

1. Alpár T. 2000. *Kötésgyorsítási módszerek a cementkötésű forgácslapok gyártásánál*. Doktori disszertáció, NyME, Sopron. 157 old.
2. Balázs Gy. 1984. *A cement szilárdulása*. Egyetemi jegyzet, Műszaki Egyetem, Budapest. 46 old.
3. Bejo, L., P. Takats, N. Vass. 2004. *Preliminary experience with cement bonded composite beams*. Publikáció alatt, Acta Silvatica et Lignaria Hungarica
4. Hachmi, M., A.G. Cambell 1989. *Wood – cement chemical relationships*. In: Proc. Fiber and Particleboards bonded with Inorganic Binders. FPRS, Madison, WI. 43-47. old.
5. Molnár S., Varga F.-né, Fehér S., Németh R. 2000. *A faanyag műszaki tulajdonságai*. In: Molnár S. szerk. Faipari kézikönyv I. Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron. 59-88. old.
6. Simatupang, M.H., H. Lange, A. Kasim, N. Seddig. 1989. *Influence of Wood species on the setting of cement and gypsum*. In: Proc. Fiber and Particleboards bonded with Inorganic Binders. FPRS, Madison, WI. 33-42. old.
7. Takáts P. 1998. *Szervesen kötésű fa- és rost kompozitok*. Egyetemi jegyzet, Soproni Egyetem. 109 old.
8. Takáts P. 1995a. *Heraklith lemezek optimális hidratációs hőmérsékletének meghatározása*. Kutatási jelentés, Sopron. 37 old.
9. Takáts P. 1995b. *Hidratációs hő vizsgálata és függése a Heraklith lemezek összetevőitől*. Kutatási jelentés, Sopron. 39 old.
10. Winkler A. 1995. *Faforgácslapok*. Dinasztia Kiadó, Budapest. 183 old.
11. Sandermann, W., A. Köhler 1964. *Kurze Eigungsprüfung von Hölzern für Zementgebundene Werkstoffe*. Holzforschung 18(12):53-59.
12. Lieber, W., W. Richtartz 1972. *Einfluss von Triethanolamin, Zucker und Borsäure auf das Erstarren und Erhärten von Zement*. Zement-Kalk-Gips 9. 403-409. o.

Az akác (*Robinia pseudoacacia* L.) faanyag színének változása a gőzölési idő és hőmérséklet függvényében

Tolvaj László, Molnár Sándor, Takáts Péter, Varga Dénes *

Colour changes of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) as a function of steaming time and temperature

Black locust wood was steamed at a wide range of temperatures (75-130 °C). The effect of steaming times up to 22 days was examined. The colour change was found to depend mainly on the steaming temperature. For optimal colour modification, temperature should be constant throughout the steaming process. Many colour variations, ranging from greenish-yellow to chocolate brown, can be achieved by steaming when using the appropriate steaming time and temperature.

Key words: Black locust, Steaming, Colour change, Steaming parameters

Bevezetés

Az akác faanyag színe esztétikai szempontból jelentősen eltér a faanyagok többségétől. Hiányzik belőle a barnás árnyalat

mely a faanyag kellemes, meleg színárnyalatát adja. Helyette egy zöldessárga árnyalat dominál, és gyakoriak a reakciófára utaló sötétbarna vonulatok is, melyeket a gyakorlatban

* Dr. Tolvaj László CSc. egy. tanár, NyME Fizika Intézet, Dr. Molnár Sándor DSc. intézetig. egy. tanár, NyME Faanyagtudományi Intézet, Dr. Takáts Péter CSc. egy. docens, NyME Fa- és Papírtechnológiai Intézet, Varga Dénes PhD hallgató, NyME Fizika Intézet

„vaserességnek” neveznek. Ez az esztétikai szempontból kedvezőtlen színösszetétel jelentősen korlátozza az egyéb tulajdonságai alapján értékes akác faanyag felhasználását. Gőzöléssel ez a zöldessárga színárnyalat jelentősen csökkenthető, és növelhető a barna árnyalat, továbbá mérsékelhető a faanyag tarkasága.

A gőzölés színváltoztató hatása már régóta ismert a faiparban (Molnár 1976, 1998). A gőzölés történhet nagyméretű kamrákban, harangokban (100 °C alatt), és nyomásálló gőzölő hengerekben (100 °C fölött). A gőzölés megvalósítható közvetlen gőzbevitellel, illetve a gőznek fűtő közegként történő felhasználásával. A második esetben a gőzt a kamra alján lévő víz felfűtésére használják, zárt csőrendszerben keringtetve. (Ez a gőz nem jut be a gőzölő térbe.) Ekkor a gőzölő tér számára a gőzt a felfűtött víz párolgása biztosítja (Takáts 2000). A modern gőzölő kamrák ez utóbbi módszert alkalmazzák.

Gőzölésnél fontos, hogy a gőzölő térben telített vízgőz legyen, ellenkező esetben a gőz vizet vesz fel a faanyagból, és a gyors vízvesztés repedéseket okozhat. A közvetlen gőzbetáplálásnál nem garantált a gőz telítettsége, ezért gyakori a faanyag károsodása.

A színváltoztatás szempontjából a legfontosabb paraméter a hőmérséklet. A hőmérséklet növekedésével a színváltozás sebessége exponenciálisan nő (Tolvaj és tsai. 2000, Horváth-Szováti 2000, Horváth-Szováti és Varga 2000). Ezért fontos, hogy a gőzölés során a hőmérséklet ne változzék. A régi típusú, közvetlen gőzbevitelű gőzölőknél a hőmérséklet állandósága nem biztosítható. Ezért a létrehozott színváltozás esetenként egymástól eltérő.

E tanulmány célja, hogy rámutasson a gőzölési paraméterek színváltozást befolyásoló hatására, és a kívánt szín eléréséhez szükséges gőzölési paraméterek kiválasztásának jelentőségére. Így a munka tudományos alapot nyújt az optimális gőzölési menetrendek kialakításához.

Vizsgálati módszerek

A laboratóriumi gőzölési kísérletek 75-130 °C közötti hőmérsékleteken történtek. A kísérletek egy részét (0-100 °C között) exszikkátorban végeztük. Az edényben a faanyag alatt desztillált vizet helyeztünk el. Az exszikkátorokat szárítószekrénybe tettük. A szekrény

hőmérsékletét az automatika a beállított hőmérséklet körül, $\pm 0,5^\circ\text{C}$ tartományban tartotta. A gőzöléshez közel rosttelítettségű (25-30% nedvességtartalmú) akác faanyagot használtunk. A mintákat 1, 2, 4, 6, 9, 12, 15, 18 illetve 22 napos gőzölés után szedtük ki a gőzölőtérből.

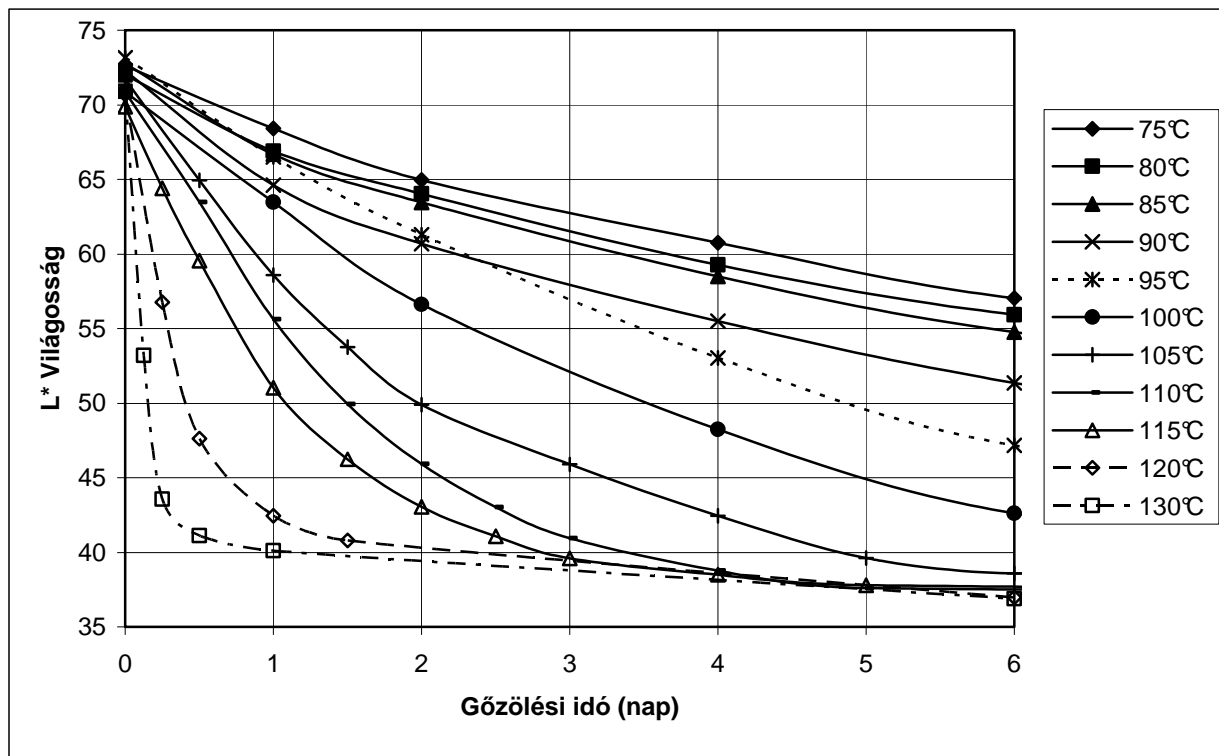
105-115 °C közötti hőmérsékleten exszikkátor helyett nyomásálló edényt alkalmaztunk. Ezekben a hőmérsékleteken a gőzölést 6 napig folytattuk (120 °C-on 1,5 napig, 130 °C-on 1 napig), mert ezt követően már nem történt érdemi színváltozás. A 120-130°C-os hőmérsékleteket autoklávban állítottuk elő. A grafikonok a 6 napig tartó színváltozást mutatják, mivel eddig megtörténik a színváltozások jelentős része, és a faipari gyakorlatban a költségek miatt sem érdemes 6 napnál tovább gőzölni.

A gőzölés kezdetekor 6 órás felfűtést biztosítottunk. A gőzölési időt a beállított hőmérséklet eltérésétől számítottuk. Gőzölés után a próbatesteket laboratóriumi légtérben egy hónapig kondicionáltuk. A légszáraz próbatesteket középen kettévágtuk, és a frissen kialakított felszínen végeztük el a színmérést. A színméréshez egy számítógéppel vezérelt MINOLTA 2002 típusú színmérő készüléket használtunk. A színpontokat a háromdimenziós CIELAB színinger-mérő rendszerben adtuk meg. Ebben a rendszerben a minta világosságát az L^* koordináta adja meg. Faanyag esetében az a^* koordináta a vörös színezetet, a b^* koordináta a sárga színezetet reprezentálja.

A vizsgálatok eredményei

Az akác faanyag színe természetes állapotban a zöldes-sárgától a szürkés-sárgáig terjed, de előfordulnak sárgásbarna rajzolatok is. Szabad szemmel is jól érzékelhető, hogy gőzölés hatására a faanyag világossága jelentősen csökken, színezete a vörös irányában tolódik el.

Az észlelt változásokat az objektív színmérés is megerősíti. A világosság csökkenését a gőzölési idő és a hőmérséklet függvényében az **1. ábra** mutatja. (120 °C fölött a 6 napos adatok nem mért értékek, hanem extrapolálás eredményei.) Valamennyi hőmérséklet esetében igaz, hogy a minták világossága a gőzölés kezdetekor jelentősen csökkent, majd ez a folyamat lelassult. A hőmérséklet növelésével egyre sötétebb színeket lehetett elérni, és a



1. ábra A világosság változása a gőzölési idő és hőmérséklet függvényében.

lényeges változások időtartama rövidebb, ezen belül a változás üteme egyre gyorsabb lett. A grafikonok alapján megállapítható, hogy alacsony hőmérsékleten nem érhető el olyan sötét szín, mint magas hőmérsékleten, hiába növeljük a gőzölési időt. Alacsony hőmérsékleten sem érdemes a gőzölést hat nap után folytatni, 100 °C felett pedig ez az idő 2-3 napra (120 °C fölött 1 napra) zsugorodik.

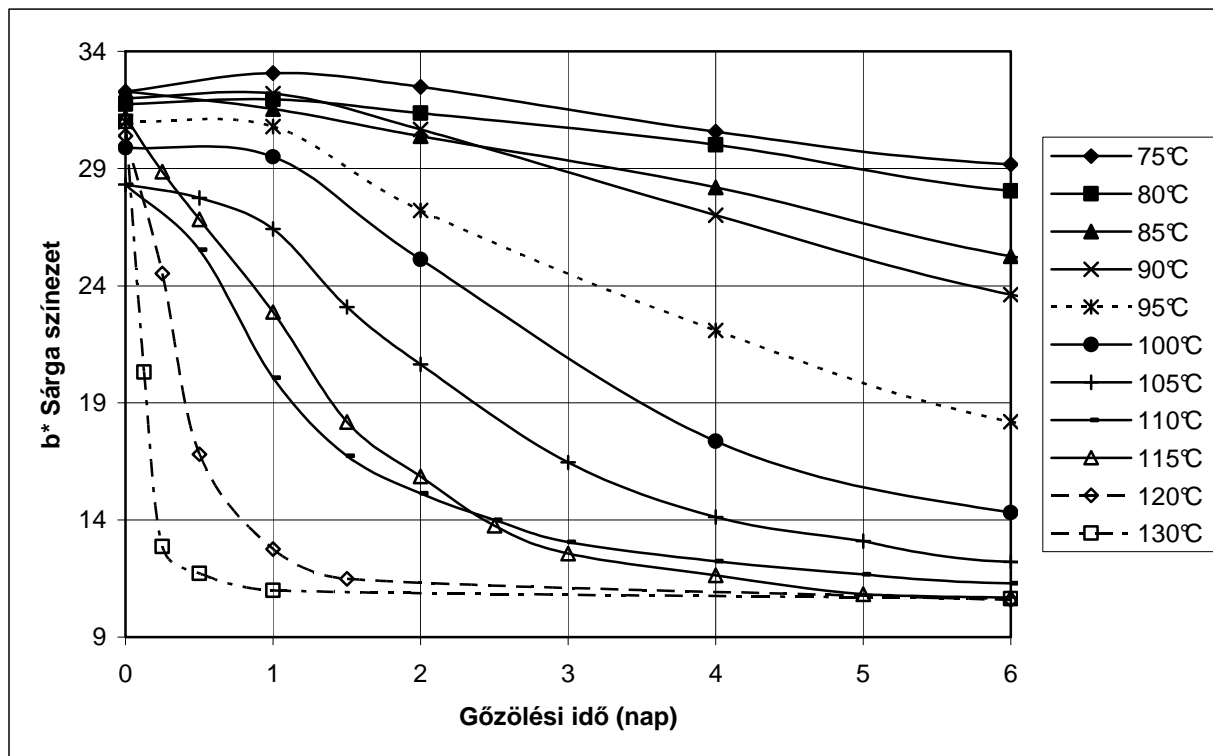
Megfigyelhető, hogy a világosságcsökkenés tendenciájában 95 °C-nál kismértékű változás következik be. A 95 °C alatti gőzölés görbéi közel azonos lefutásúak, és a meredekségük alig változik a gőzölési idő függvényében, míg 95 °C fölött a meredekség lényegesen nagyobb, és jelentősen függ a hőmérséklettől. Ez a 95 °C-nál lévő törés a másik két színkoordináta esetében még erőteljesebben mutatkozik.

A görbék telítődést mutatnak, ami a 110 °C fölötti görbéken az 1. ábrán is jól látható. Ez a telítődés a többi görbe esetében 6 napon túli gőzölési időnél következik be. A telítődési szakasz megjelenése azzal magyarázható, hogy a színváltozásért felelős kémiai változások döntő többsége már végbement az adott hőmérsék-

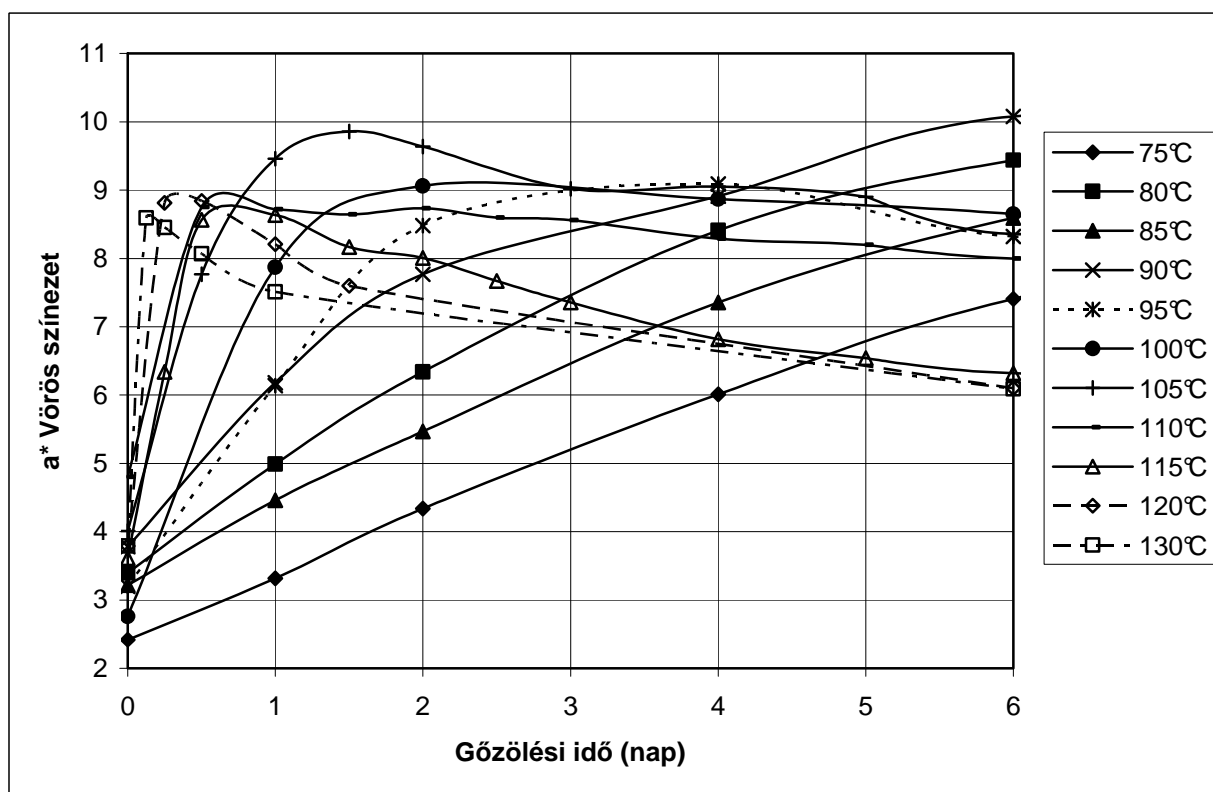
leten. Mivel ezek az átalakulások hőmérséklet-függőek, a telítődési szakasz a hőmérséklet növekedésével egyre hamarabb bekövetkezik.

A színezet változását a 2. és 3. ábra szemlélteti. Az akác faanyag színének nem kívánatos, sárga színezete (2. ábra) 90 °C alatti gőzöléskor alig csökken. Egészen 105 °C-ig nincs változás a sárga színezetben a gőzölés első napján. 110 °C fölött viszont azonnal megindul a sárga színezet csökkenése. A változás intenzitása a hőmérséklet emelkedésével növekszik és időben lerövidül. A jelenség hasonló a világosság változásához. Itt is megfigyelhető a lényeges eltérés a 95 °C alatti és fölötti változások között.

A színezet vörös tartalma (3. ábra) a sárga tartalommal ellentétesen változik. Itt is kivételt jelentenek a 95 °C alatti hőmérsékletek, hiszen a vörös irányú színeltolódás a vizsgált 22 nap alatt kicsit változó intenzitással folyamatos volt. A jelenségnek gyakorlati jelentősége is van, hiszen magasabb hőmérsékleteken nem érhető el azok a vöröses árnyalatok, melyek 80 °C környékén megvalósulnak. Így például 80 °C-on 22 napi gőzöléssel a vörös színezet 12 egységig felvihető. A 95 °C fölötti hőmérséklet



2. ábra – A sárga színezet változása a gőzölési idő és hőmérséklet függvényében

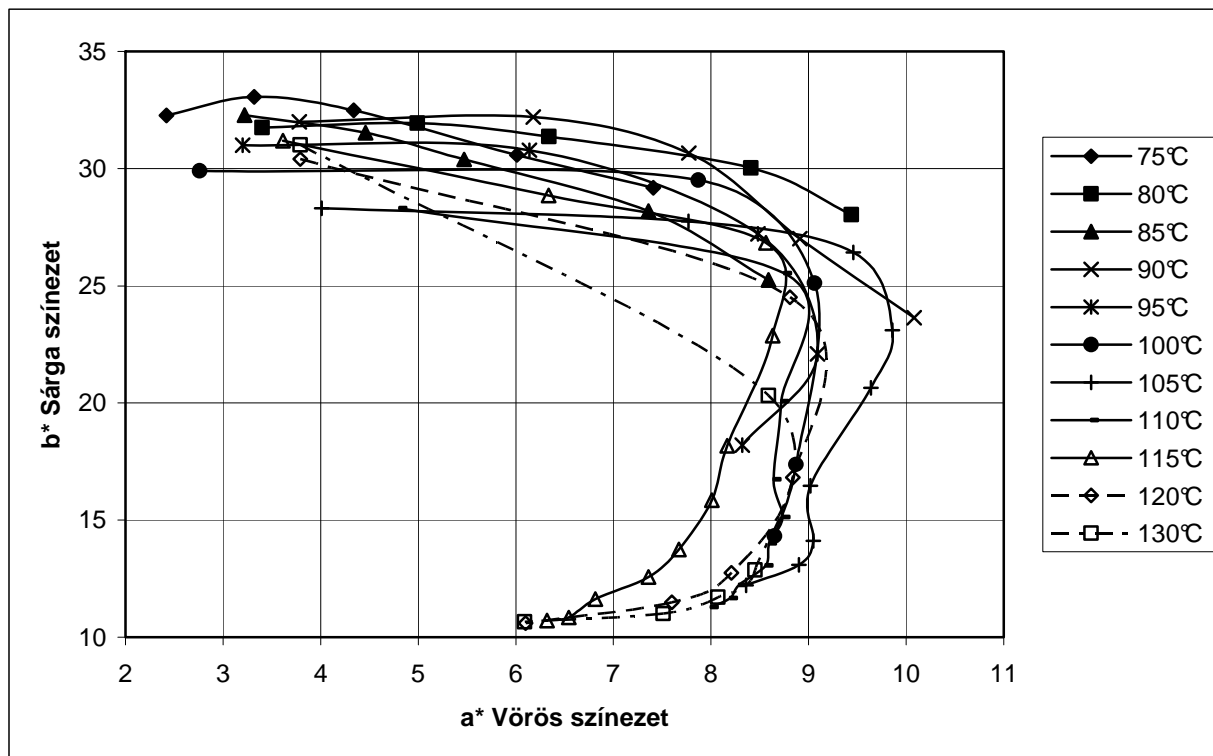


3. ábra - A vörös színezet változása a gőzölési idő és hőmérséklet függvényében

tartományban a vörös színezet változása az első egy-két napra koncentrálódik, majd megkezdődik a csökkenése. A növekedési szakasz 110 °C-on már csak fél nap. A vörös színezet változására tekintettel fontos megállapítani, hogy az optimális gőzölési idő 95 °C fölött nagyon erősen függ a hőmérséklettől. E tekintetben a gőzölést a maximum elérése után nem érdemes folytatni. Ha viszont sötét árnyalat elérése a cél, akkor a világosság csökkenését is tekintetbe kell venni a gőzölési idő meghatározásakor. A fentiek alól kivételt képeznek a 95 °C alatti hőmérsékletek. Itt az elérni kívánt vörös árnyalathoz a megnövelt gőzölési idővel járó költségnövekedésre kell tekintettel lenni a gőzölési idő meghatározásakor.

A kísérletek eredményei jól mutatják, hogy míg a vörös színeltolódás döntő mértékben a gőzölés első napján történik, addig a sárga színezet változása az első napon gyakorlatilag nulla az egészen magas hőmérsékletek kivételével. A jelenséget azzal magyarázhatjuk, hogy a színváltozást okozó vegyületek összetett hidrolitikus, oxidatív és polimerizációs folyamatok eredményeként változnak (Németh 1997).

Az **1-3. ábrák** egyenkénti tanulmányozásából az a következtetés vonható le, hogy egy adott szín elérése több hőmérsékleten is megvalósítható, csak a gőzölési időt kell jól megválasztani. Ezt a kérdést a 3 dimenziós színváltozást reprezentáló görbék felrajzolásával lehetne pontosan megválaszolni. Mivel ez síkban nehezen valósítható meg, meg kell elégednünk a kétdimenziós ábrával, ahol az a^* , b^* értékeknek a síklapra eső vetületét lehet ábrázolni. A teljes színezetváltozást nyomon követhetjük, ha a színpontok vándorlását az a^* - b^* színsíkon ábrázoljuk (**4. ábra**). Az ábrán a bal felső sarokban található a kezeletlen minták színpontjai, ezek a görbék kezdőpontjai. Ezeket követik az egyre hosszabb idejű gőzölések színpontjai. (Az időbeli sorrend az **1-3. ábrák-ról** leolvasható.) A görbék nagyobbik része patkó alakot formáz. A gőzölési hőmérséklet csökkenésével a patkó alsó (időben későbbi) szára egyre rövidebb lesz, a vörös irányú eltolódás pedig növekszik. Alacsony hőmérsékleten, 95 °C alatt a 6 napos gőzölés kevésnek bizonyult a görbék visszafordulásához. 75 és 80 °C-on még 22 nap sem volt ehhez elegendő.



4. ábra – A színpontok vándorlása az a^* - b^* síkon a gőzölési idő és hőmérséklet függvényében (A görbék bal felső kezdőpontjai a kezeletlen minták színezetét jelölik, a többi ponthoz tartozó növekvő gőzölési időt az 1-3. ábrák mutatják)

A görbék futásából megállapítható, hogy egy-azon szín előállítása különböző hőmérsékleteken csak 100 °C környékén valósítható meg. A lényegesen alacsonyabb vagy magasabb hőmérsékleteken a tendenciák jelentősen eltérnek. Hasonló eredményre jutnánk, ha az a*-L* koordináta rendszerben ábrázolnánk a színpontokat.

Összefoglalás

Széles hőmérséklettartományt megvizsgálva megállapítottuk, hogy a színváltozás erősen függ a hőmérséklettől és a gőzölés idejétől. Ezért a gőzölő berendezés hőmérsékletének konstans hőmérsékleten tartására nagy figyelmet kell fordítani.

A gőzölés során az akác faanyag kedvetlen zöldes-sárga színe esztétikus, barnás árnyalatúvá változik, és csökken a színbeli inhomogenitás is. Az akác alapszínétől egészen a csokoládébarna színig szinte valamennyi barnás árnyalat előállítható a gőzölési paraméterek megfelelő megválasztásával.

A sötétebb árnyalatok eléréséhez magasabb hőmérséklet javasolt; itt viszont a vörös árnyalatok egy része nem érhető el. A 95 °C alatti hőmérsékleten viszont szélesebb színezeti

skála valósítható meg mérsékelt színbeli sötétedés mellett, de hosszú gőzölési idővel.

A vizsgált hőmérséklet-tartományban 6 napnál tovább nem érdemes az akác faanyagot gőzölni. A hőmérséklet növekedésével ez az időtartam rövidül, 130 °C-on fél napra zsugorodik.

Irodalomjegyzék

1. Horváth-Szováti E. 2000. *A gőzölt akác világosság-változásának hőmérséklet- és időfüggése*. A Soproni Egyetem Tud. Közleményei 46:179-189. old.
2. Horváth-Szováti E., Varga D. 2000. *Az akác faanyag gőzölése során bekövetkező színváltozás vizsgálata*. Faipar 48(4):11-13.
3. Molnár S. 1976. *Akácfanemesítés Pusztavacson*. Az erdő 15(11):490-492.
4. Molnar, S. 1998. *Die technischen Eigenschaften und hydrothermische Behandlung des Robinienholzes*. In: S. Molnar ed. Die Robinie Rohstoff für die Zukunft. Stiftung für die Holzwissenschaft, Budapest 50-63. old.
5. Németh K. 1997. *Faanyagkémia*. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Bp. 55-73. old.
6. Takáts P. 2000. *A faanyag gőzölése*. In: Molnár S. szerk. Faipari kézikönyv I. Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron 257-261. old.
7. Tolvaj, L., E. Horváth-Szovati, C. Safar 2000. *Colour modification of black locust by steaming*. Wood Research (Drevarsky Vyskum) 45(2):25-32.

Nondestructive Testing of Wood - A new course offered by the University of West Hungary, Sopron

Ferenc Divos ✧

Roncsolásmentes faanyagvizsgálat – új tantárgy a Nyugat-Magyarországi Egyetemen

A roncsolásmentes anyagvizsgálat egyre fontosabb szerepet kap a faiparon belül. Példaként említhetjük a szerkezeti faanyagok szilárdság szerinti osztályozását, a rönkosztályozást, a próbaterhelést, az ultrahangos furnérvizsgálatokat. A Nyugat-Magyarországi Egyetem hallgatói külön tantárgy keretein belül ismerkedhetnek a témakörrel. Mivel a roncsolásmentes vizsgálat igen gyakorlati dolog, a laboratóriumi gyakorlatok az oktatás fontos részét képezik. Cikkünkben ismertetjük néhány ilyen laboratóriumi kísérlet leírását is.

Key words: Nondestructive testing, Practical training, Vibration testing

Introduction

Nondestructive testing (NDT) plays a more and more important role in the forest products industry. A few examples are strength grading of structural lumber, log sorting, proof loading, ultrasonic veneer grading and on-line ultrasonic particle board evaluation.

✧ Dr. Divós Ferenc CSc. egy. docens, NyME Roncsolásmentes Faanyagvizsgáló Laboratórium

At the University of West Hungary, an independent course deals with wood NDT, whose basis was a systematic research work on nondestructive testing of wood that started in 1989. This paper presents the short content of this course. Because NDT is very much practice oriented, laboratory practice is an important part of the education. This paper also presents the description of some compulsory laboratory sessions like dynamic MOE determination by longitudinal and transverse vibration using Euler and Timoshenko equations, and shear modulus determination.

The structure of the course

Non-destructive testing of wood is a fairly new discipline. It offers a great opportunity to demonstrate the practical importance of mathematics and mechanics for students through FFT, radon transform, vibration of beams and proof loading, where the applications are taken from the forest products industry. We provide the structure of the theoretical lectures and practical training in keyword form. One semester consists of 13 weeks of classes. In the first half of the semester (6 sessions) there are two-hour lectures each week, followed by seven laboratory sessions in the second half.

The course includes the following lecture topics:

- Stress grading of structural lumber
- Proof loading
- Screw withdrawal resistance, correlation with shear modulus and density
- Detecting vibrations by microphone and accelerometers
- Damped and undamped vibration, damping and logarithmic decrement
- Evaluation of vibration by Fourier transformation and wavelet analysis
- Longitudinal, transverse and torsional vibration of prismatic beams,
- Inverse radon transformation and back-projection as the basis of tomography evaluation
- Acoustic tomography and CT
- Gamma ray interactions with solids
- Thermography for surface density determination and internal cavity detection.

NDT is very much practice oriented, and laboratory training is an important part of the education. **Figure 1** shows two such training sessions, where students assess screw withdrawal in a roof structure, and use acoustic tomography.

The structure of the laboratory practice is given as follows:

- Evaluation of trees, detecting internal cavities by acoustic tomography
- Stress grading of structural lumber
- Evaluation of the residual strength of the beams in historical wooden structures
- Selecting wood for musical instruments based on sound velocity, density and damping
- Stress wave propagation mapping in wood
- Shear modulus determination using the Timoshenko equation and torsional vibrations



Figure 1 – Laboratory sessions. Students are testing a roof structure by a screw withdrawal resistance meter and evaluate a plane tree by an acoustic tomograph in winter.

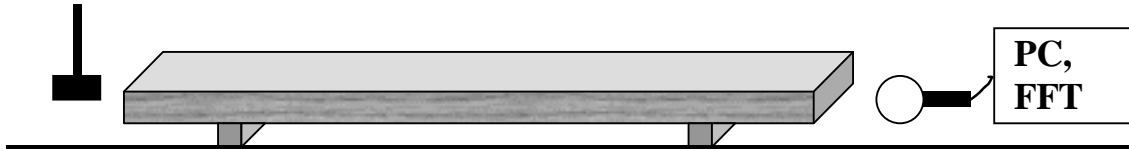


Figure 2 – longitudinal MOE determination

- Modulus of elasticity (MOE) determination by longitudinal and transverse vibration
- Density determination by gamma absorption using Am-241 isotope

A description of some laboratory sessions

The brief description of a few lab sessions is presented below. All of them are based on the vibration of a prismatic bar. The necessary tools are a scale balance and an FFT analyzer.

A PC containing a standard sound card may be transformed into an FFT analyzer using a special software. A free copy of this software is available per request from the author (divos@fmk.nyme.hu).

The features of the FFT software are:

- The frequency range is 0 to 11 kHz, adjustable in 10 steps.
- Musical tuning function: a blue bar shows the deviation from the nearest clear tone.
- Normal A tone frequency is adjustable. The preset value is 442 Hz
- The program displays the tallest peak parameter and the tallest peak around the mouse position.
- 512 point FFT and a special averaging function yield low frequency determination error (less than 0,1% of the selected range.)
- Transient recording by the trigger function is possible.
- Hold function facilitates the detailed evaluation.
- Horizontal scale adjustment is possible.

Modulus of elasticity determination on prismatic bars, using longitudinal vibration

The following equation yields the dynamic longitudinal modulus of elasticity (MOE) of homogeneous prismatic bars:

$$MOE_{dyn,long} = \rho V^2, \quad [1]$$

where ρ is the density of the bar and V is the sound velocity. A precise sound velocity determination is given by longitudinal vibration, as follows:

$$V = 2Lf, \quad [2]$$

where L is the length of the beams and f is the longitudinal vibration frequency.

The measurement may be carried out on any solid material. The recommended length is minimum 0.5 m or a minimum 5 times the width of the bar, whichever is longer. One can test shorter beams, but a high frequency response microphone, such as a dynamic microphone, is required. In this case, the minimum length can be reduced to 0.3 m.

Figure 2 shows the test setup used for stress-wave MOE determination. The test bar is supported by two rubber strips. The end of the bar is hit by a hammer, while a microphone picks up the vibration signal at the opposite end. The direction of the strike should be longitudinal. The hammer should weigh 0.5 to 5% of the specimen's mass. The hammer head is made of steel or a dense hardwood. A perfect hit is swift and the hammer springs back from the bar.

FFT software settings to be used: the frequency range is 11025 (or 5512) Hz and the trigger level 5%, but in a noisy environment higher trigger levels are recommended.

Typically more than one peak is observed. For selecting the longitudinal vibration frequency, one need to predict the longitudinal frequency of dry wood samples using the following term:

$$f = 2500/L, \quad [3]$$

where the L is the length in m and the predicted frequency is given in Hz. The actual frequency

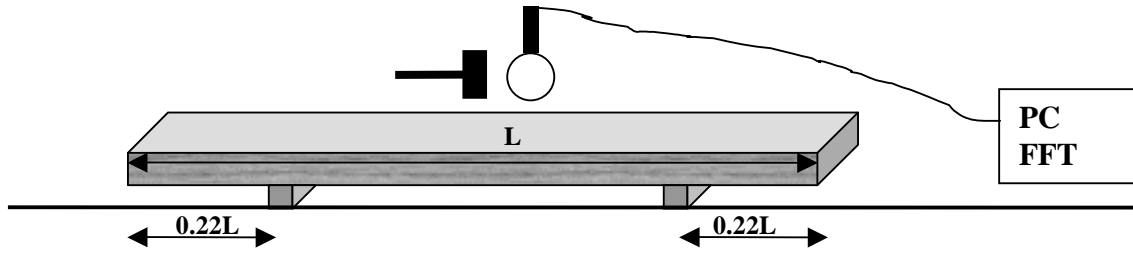


Figure 3 – transverse MOE determination

will be in the range of the predicted frequency $\pm 20\%$. For wet wood samples, use 1600 instead of 2500.

The equipment needed for the test is a scale balance, measuring tape and/or caliper, rubber strips, a hard hammer, the specimens and a PC with a sound card, microphone and FFT software.

Modulus of elasticity determination on prismatic bars, using transverse vibration

The dynamic bending modulus of elasticity (MOE) of homogeneous prismatic bars is given by the following term, where the effect of the shear is neglected:

$$MOE_{dyn,bending} = \left(\frac{2f_n}{\gamma_n \pi} \right)^2 \frac{mL^3}{I}, \quad [4]$$

where:

f_n - bending vibration frequency in mode number n (support condition simply supported)

γ_n - mode coefficient; $\gamma_n = (n+0.5)^2$, where n is the mode number, but $\gamma_1 = 2.267$

m - the mass of the bar

L - the length of the bar

I - moment of inertia; $I = \frac{ab^3}{12}$ where a is the

width and b is the depth of the bar.

The effect of shear is negligible if the length of the bar is higher than 30 times of the thickness. When the specimen is shorter, the obtained result is lower than the correct value. A more accurate solution is provided by the Timoshenko equation. Another lab session deals with this problem.

The measurement may be carried out on any solid material. The recommended length is

at least 30 times of the thickness of the bar. Using a slender beam is recommended.

Figure 3 shows the test setup used for dynamic bending MOE determination. The test bar is supported by two rubber strips. In this case, the center of the bar is hit by a hammer. The hammer should weigh 0.5 to 5% of the specimen's mass. The hammer head is made of rubber or some other soft material.

FFT software settings to be used: the frequency range is 1102 Hz and the trigger level 5%, but in a noisy environment higher trigger levels are recommended.

The tallest peak observed on the Fourier spectrum belongs to the bending vibration in mode number 1. For testing higher modes, rubber supports should be placed at the appropriate nodal points as indicated on Figure 4, and the maximum amplitude locations should be the hit and microphone locations.

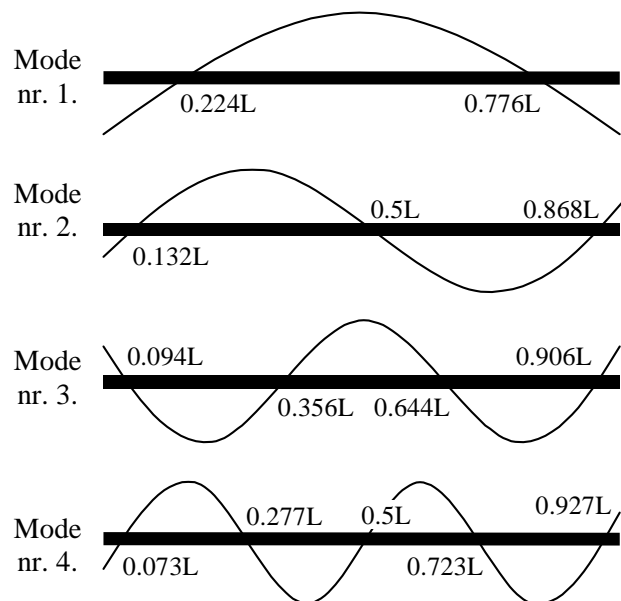


Figure 4 – Nodal locations for the free bending vibration of a uniform cross section bar, free support conditions

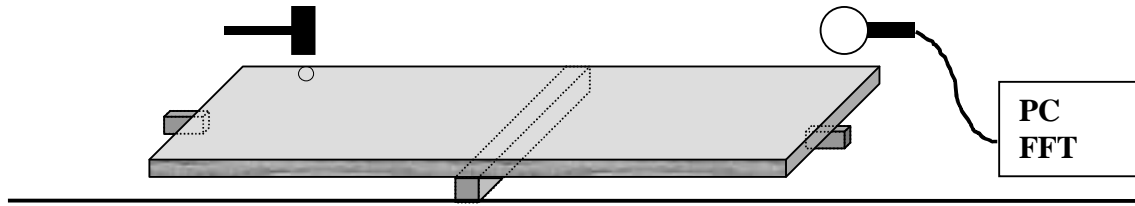


Figure 5 – transverse MOE determination

The equipment needed for the test is a scale balance, measuring tape and/or caliper, rubber strips, a soft hammer, the specimens and a PC with a sound card, microphone and FFT software.

Determination of the shear modulus of prismatic bars by torsional vibration

The dynamic shear modulus (G) of homogeneous prismatic bars is given by the following equation:

$$G_{dyn,torsion} = \left(\frac{2Lf_n}{n} \right)^2 \frac{\rho I_p}{K_t}, \quad [5]$$

where

f_n - torsional vibration frequency in mode number n ,

γ_n - mode coefficient (as given at equation [4])

ρ - the density of the bar

L - the length of the bar

I_p - polar moment of inertia $I = \frac{ab}{12}(a^2 + b^2)$

where a and b are the cross-sectional dimensions,

$K_t = cab^3$ where $a \geq b$, and c is as given in the

Table 1.

Table 1 – the values of parameter c

a/b	c	a/b	c
1	0.141	3	0.263
1.25	0.172	4	0.281
1.5	0.196	5	0.291
1.75	0.214	10	0.312
2	0.229	20	0.323
2.5	0.249		

Figure 5 shows the test setup used for dynamic shear modulus determination. The test bar is supported by a rubber strip at the center of the bar and two small rubber supports are placed at the ends according to the figure. The specimen is hit at the location marked by a circle, close to the corner. The microphone's location is at the diagonally opposite corner. The hammer should weigh 0.5 to 5% of the specimen's mass. Soft and hard hammers are used for low and higher frequencies, respectively.

FFT software settings to be used: the frequency range depends on the dimensions, and the trigger level 5%, but in a noisy environment higher trigger levels are recommended.

The identification of torsional peaks is not easy. Bending and torsional peaks typically appear together (**Figure 6**). The bending frequencies should first be determined and excluded from the determination. The remaining ones are the torsional peaks. Torsional peaks are almost equidistant; the ratio between modes 1, 2 and 3 are 1, 2 and 3, respectively. In practice, a $\pm 10\%$ deviation is possible.

The equipment needed for the test is a scale balance, measuring tape and/or caliper, rubber strips, a soft or a hard hammer, the specimens and a PC with a sound card, microphone and FFT software.

Conclusions

The newly introduced Nondestructive Testing of Wood is a successful, practice oriented course. Students are introduced to the concept of nondestructive testing through a series of lectures and laboratory sessions that are designed to keep them alert. This paper

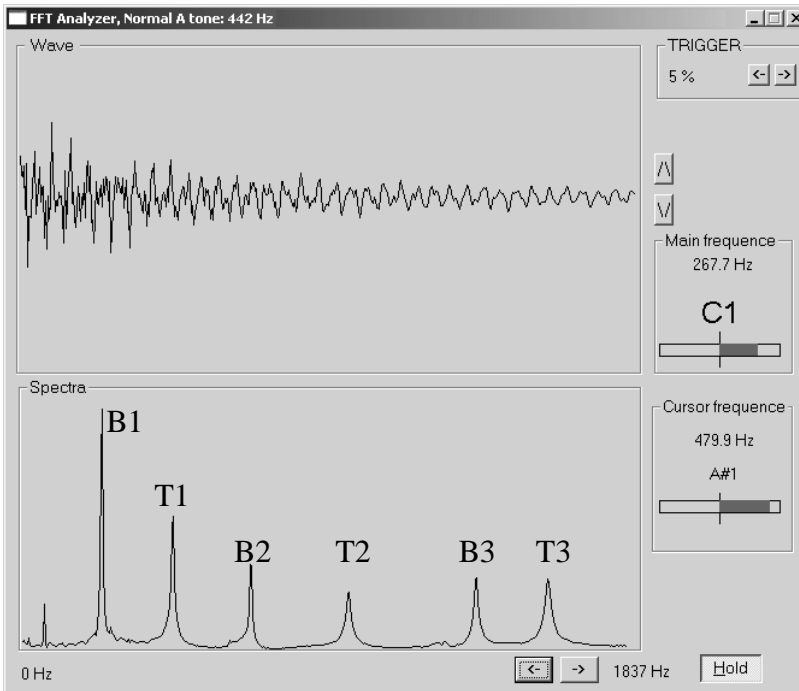


Figure 6 – Sample spectrum along with the Fourier function. Bending (B1, B2 and B3) and torsional (T1, T2 and T3) vibration peaks are indicated.

demonstrates how simple tools may be used effectively to provide an interesting, practical introduction to the topic of nondestructive testing of wood.

Literature

1. Bodig, J. 2000. *The process of NDE Research for Wood and Wood Composites*. Proc. 12th Int. Symp. on Nondestructive Testing of Wood, Sopron
2. Divos, F., L. Bejo, L. Gergely, E. Magoss, Z. Salamon. 1999. *A faanyag roncsolásmentes vizsgálata*. [Nondestructive Testing of Wood.] Lecture notes, University of Sopron, Hungary. pp78. (In Hungarian.)
3. Timoshenko, S. 1995. *Vibration Problems in Engineering*. Van Nostrand.

A kettős hangzás előrejelzése és vizsgálata xylofon készítésekor

Taschner Róbert

Predicting and investigating double resonance during xylophone manufacture

Double resonance effect is a problem when manufacturing percussion instruments like xylophone or marimba. Bending and torsional vibrations are both present when hitting a tone bar. When these two vibration frequencies are close to one another, double resonance occurs that significantly deteriorates the quality of the instrument. The author presents a simple method for predicting the likelihood of double resonance in a material of a certain length, and verifies the accuracy of the method through experimental results. The efficiency of the method is also demonstrated by a top quality xylophone manufactured from black locust wood.

Key words: Black Locust, Xylophone, Double resonance

Bevezetés

A sokoldalú, jó akusztikai tulajdonságokkal rendelkező akác eddig méltatlanul mellőzött faanyag volt a hangszerfák között. Térhódítása az ütős dallamhangszer gyártásban várható, hol eddig kizárólag a Hondurasi rózsa (*Dalbergia stevensonii*) és a Padouk (*Pterocarpus darbergioides*) voltak jelen. A NyME Roncsolásmentes Faanyagvizsgálati Laboratóriumában végzett vizsgálatok kimutatták,

hogy az akácot akusztikai tulajdonságai alkalmassá teszik hangszerek, azaz marimba és xilofon készítésére (Wittmann és tsai. 1999).

A Nyugat-Magyarországi Egyetemen már több eredményes kutatás foglalkozott hangszerekkel, azon belül is a marimbával és annak kisebb változatával, a xilofonnal. A mélyreható munka eredményeként, mint minden új, feltáratlan területen végzett kutatás esetében, itt is merültek föl akkor még homályos pontok,

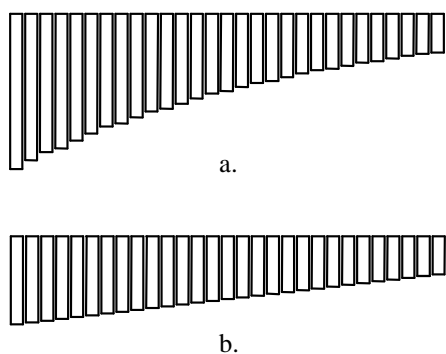
* Taschner Róbert okl. faipari mérnökhallgató, NyME Faipari Mérnöki Kar

megválaszolatlan kérdések, melyek jó alapot adtak Koncertminőségű xilofon készítése c. TDK dolgozatunkhoz, mellyel a 2002-es OTDK műszaki tudományi szekciójában második helyezést értünk el.

A legnagyobb előrelépést hozó témakör a kettőshangzás problémája volt, melyre már a korábbi, hasonló témájú TDK- és diplomadolgozatokban is találtunk utalást. Megfigyeltük, hogy a hanglapok készítése közben egy bizonyos, 1575-4205 Hz-ig terjedő hangtartományban a hanglap megszólaltatásakor két hang szólal meg. Ez a tulajdonság zavaró, kizáró tényezőnek számít a beépítés során.

A kettős hangzás

Egy adott keresztmetszetű hanglap alapanyag esetén, ha kikönnnyítés nélkül szeretnénk behangolni a hanglapokat, akkor a klaviatúra parabolikus alakot venne fel, aránytalanul hosszú mély hangokkal. A méretek csökkentése, a kényelmesebb hangszeres játék, továbbá a hanglapok megfelelő helyen történő és könnyű rögzíthetősége miatt alakult ki a xilofon mai alakja, lineárisan csökkenő hanglap-hosszúságokkal (**1. ábra**). A kívánt hang elérése tömegcsökkentéssel valósul meg, ahol a kikönnnyítés ívének megfelelő kialakításával tudjuk az alaphangot és annak zenei felharmónikusait behangolni (**2. ábra**).



1. ábra – A kikönnnyítés nélküli xilofon hanglapok hiperbolikus, illetve a mára kialakult klaviatúrája



2. ábra – A hanglap kikönnnyítésével történő hangolás

A kettős hangzást feltételezésünk szerint a hajlító-, ill. torziós rezgések együttes jelenléte, és a hanglapok hosszmeretének csökkentése miatt ezek összecsúsza okozza (Fehér és tsai. 2002). Az említett, kritikus tartományban sokszor hangonként 6-8 hanglap kialakítására volt szükség, mire találtunk egy megfelelőt, melynél méretrevágás és hangolás után nem jelent meg a kettős hangzás. Ezzel jelentősen nőtt a munkaidő, az alapanyag szükséglet, a hulladék mennyisége, vagyis az összköltség.

A vezető professzionális hangszergyártó cégek előtt is ismert ez a probléma. Ők különféle vékony bevágásokkal, a hanglap rezgésének csomóvonalai közötti részen a rostok átlós átvágásával próbálják e nem kívánt jelenséget tompítani, vagy megszüntetni, kisebb-nagyobb sikerrel.

Elgondolásunk szerint, mivel a hangszerkészítés első stádiumában az alapanyag hangterjedési sebesség szerinti osztályozásánál végzünk műszeres méréseket, ki kell fejleszteni egy olyan kiegészítő mérési módszert, mellyel megállapítható, mely anyag alkalmas az említett kritikus tartomány hanglapjainak elkészítésére.

A mérés elve

A kettőshangzás jelenségének az oka a hajlító és torziós rezgések frekvenciájának közel kerülése, a hanglap geometriai méretei miatt. Kiindulásként feltételeztük, hogy a faanyag E/G azaz hajlító és torziós rugalmassági modulusainak arányától erősen függ az adott keresztmetszethez tartozó kritikus hanglaphosszúság (L_{krit}), melynél a kettős hang jelentkezik.

A mérés alapjául szolgáló két összefüggést használtunk fel (Divós és tsai. 1999). Az Euler egyenletből közvetlenül levezethető hajlító rugalmassági modulus:

$$E = \frac{f_{hm}^2}{C_n^2} \cdot \frac{m \cdot L^3}{I}, \quad [1]$$

ahol:

f_{hm} - a hajlító rezgés n -edik módusának frekvenciája,

$$C_n = \left(n + \frac{1}{2}\right)^2 \cdot \frac{\pi}{2}$$

m - a próbatest tömege,

L - a próbatest hossza,

I - a keresztmetszet másodrendű nyomatéka $\left(\frac{a \cdot b^3}{12}\right)$.

A nyíró rugalmassági modulus számításához használt összefüggés:

$$G = \left(\frac{f_m \cdot 2L}{n}\right)^2 \cdot \frac{\rho \cdot I_p}{K_t}, \quad [2]$$

ahol:

f_m - a torziós rezgés n -edik módusának frekvenciája,

I_p - a rúd poláris inerciája $\left(\frac{a \cdot b}{12} \cdot (a^2 + b^2)\right)$

$K_t = a \cdot b^3 \cdot c$,

a, b - a próbatetest szélessége és vastagsága ($a \geq b$)

c - az a/b aránytól függő konstans, téglalap keresztmetszetű rudaknál.

L - a próbatetest hossza,

ρ - a próbatetest sűrűsége,

Mindkét összefüggés esetén $n = 1$, mivel méréseink során csak az alaphang frekvenciáját, vagyis az 1. módust kísértük figyelemmel.

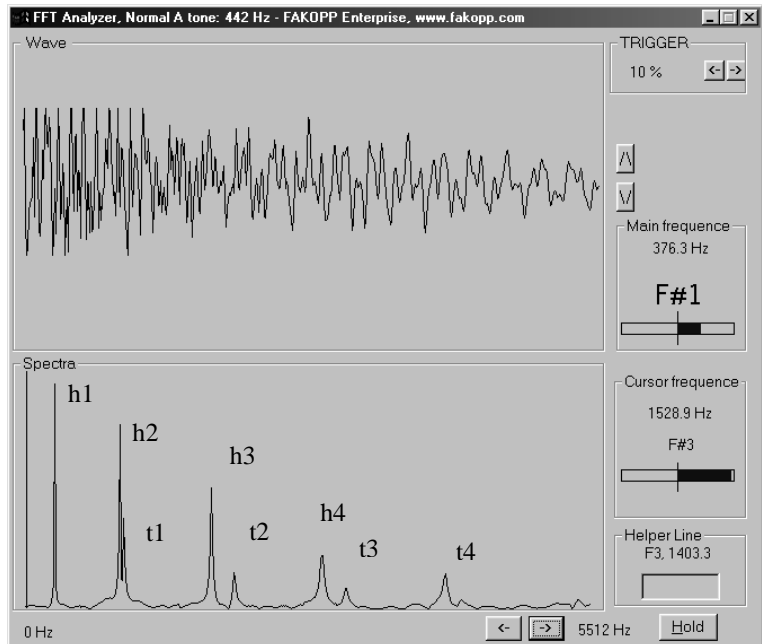
Az említett képletek segítségével kell meghatározni azt a hosszat, melynél a hajlító rezgés n -edik módusának frekvenciája megegyezik a torziós rezgés ugyanezen módusának frekvenciájával ($f_t = f_h$), azaz

$$\frac{1}{L} \sqrt{\frac{G \cdot K_t}{\rho \cdot I_p}} = C_n \sqrt{\frac{E \cdot I}{m \cdot L^3}} \quad [3]$$

Ebből az egyenletből az ismert értékek behelyettesítése után kifejezhetjük a kritikus hosszúságot:

$$L_{krit.} = \sqrt{\frac{0,352}{c} \cdot \left(\frac{E}{G}\right) \cdot (a^2 + b^2)} \quad [4]$$

Feltételezésünk szerint az így megkapott kritikus hanglap-hossz közelében jelentkezik a kettős hangzás.



3. ábra – A hajlító- (h1-h4) és torziós (t1-t4) rezgések képe egy 0,55 m hosszú próbatetest esetén

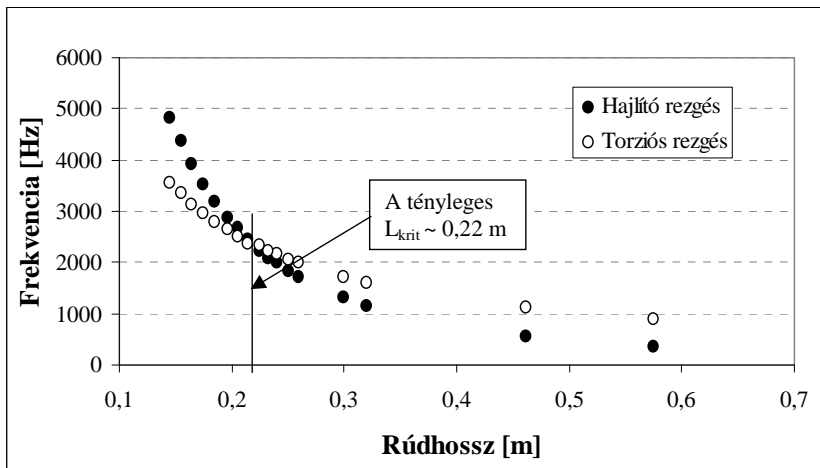
A mérések leírása

Első lépésként kiválasztottunk 22 db, 42 x 22 mm keresztmetszetű, átlagosan 1,2 m hosszúságú akác (*Robinia pseudoacacia*) faanyagot, majd meghatároztuk a sűrűséget.

A rezgések mérésénél a próbatetest két végétől felmért $0,224L$ távolságban elhelyezett rugalmas alátámasztásokat használtunk, ami az első módus gerjesztéséhez optimális. Az alaphangot, azaz a hajlítórengés 1. módusát úgy gerjesztettük, hogy a próbatestet a maximális amplitúdó helyén, a támaszköz közepén kemény ütővel megkoppintottuk.

A torziós rezgések mérésénél arra kellett törekednünk, hogy minél nagyobb nyomatékot fejtsünk ki, ezért a próbatetest lapját a hossztengetelytől a lehető legmesszebb, továbbá hosszirányban az amplitúdó-maximum helyén, azaz az első módus esetében a próbatetest végén kellett megkoppintanunk. A rezgéseket mikrofon segítségével FFT analízátorba juttatva olvashattuk le a frekvenciát.

A torziós rezgések mérésekor – főleg hosszú próbatestek esetén – csak úgy tudtunk meggyőződni arról, hogy tényleg torziós rezgést vizsgálunk, hogy megnéztük felhangjainak (felsőbb módusainak) frekvenciáját, ugyanis annak az alaphang egész számú többszörösének kell



4. ábra – A próbatest kritikus hosszának meghatározása

1. táblázat – a rúd hossz hatása a hajlító torziós rezgési frekvenciára; zavaró hatás

L (m)	f_h (Hz)	f_t (Hz)	Különbőség (%)	Zavaró hatás ¹
0,575	370,2	900,1	143,1	-
0,462	575,9	1120	94,5	-
0,320	1170,3	1627,1	39,0	-
0,300	1318,7	1736,3	31,7	-
0,260	1714,1	1996,0	16,4	enyhe zavaró
0,250	1839,6	2075,2	12,8	
0,240	2009,5	2190,0	9,0	
0,233	2104,5	2244,7	6,7	
0,225	2241,5	2337,5	4,3	
0,215	2468,9	2389,9	3,3	nagyon zavaró
0,205	2676,8	2519,3	6,3	
0,196	2898,6	2648,6	9,4	
0,185	3210,0	2808,4	14,3	zavaró
0,175	3542,7	2971,3	19,2	enyhe
0,165	3929,3	3153,7	24,6	enyhe
0,155	4380,1	3359,0	30,4	-
0,145	4846,2	3564,6	36,0	-

¹ Képzett zenészek szubjektív értékelése alapján

lennie. Ez a jelenség jól megfigyelhető a 3. ábrán.

Méréssel meghatároztuk az E/G értékeket az említett 22 darab próbatestnél, majd azokat félbe vágva megismételtük a mérést. A hosszú és félbevágott rudak E/G értékei között nem fedeztünk föl nagymértékű eltérést (max. 7 %). Megfigyelhető volt, hogy azon próbatesteknél, melyek tényezői hosszú állapotban nehezen voltak mérhetőek bél, vagy egyéb fahiba miatt, a rövidítés után a mérés még nehezebbé vált. A mért E/G értékek 9 és 16,3 között ingadoztak, átlaguk 11,83 volt.

A mért E/G adatok alapján az anyagokat három csoportba soroltuk:

- alacsony ($E/G = 9 - 10,4$)
- átlagos ($E/G = 10,5 - 13,0$)
- magas ($E/G = 13,1 - 16,3$).

A kritikus hossz és a kettős hangzás mérése

Az elméleti kritikus hossz ismeretében, a próbatestek fokozatos rövidítésével közelítettük meg a kritikus hossztartományt, és figyeltük a hajlító-, illetve a torziós rezgések viselkedését, frekvenciáik változását. A méréshez egy speciális, PC-alapú hangolóprogramot használtunk. Ahogy csökkentettük a rúd hosszát, úgy a hajlítófrekvencia $1/L^2$, a torziós rezgés frekvenciája pedig $1/L$ arányban nőtt. Az 1. táblázat és a 4. ábra egy ilyen vizsgálat eredményeit mutatja be.

Különböző E/G -jú próbatesteket rövidítve más-más hosszúságnál és frekvenciaértéknél jelent meg a kettőshangzás jelensége. Magas E/G esetén, 0,32 - 0,26 m közé, a közepes tartományban a 0,25 - 0,19 m közé, az alacsony csoportban pedig 0,20 - 0,16 m közé esett a kritikus hossz, és jelent meg a kettőshangzás.

A következőkben egy próbatest torziós gerjesztéskor keletkező rezgéseképének alakulását mutatjuk be a hosszváltozás függvényében a kritikus hossz eléréséig, azaz a kettős hangzás megjelenéséig. A 13,9 E/G arányú próbatesthez tartozó számított kritikus hossz értéke $L_{krit} = 0,2217$ m.

0,55 m hosszúságú próbatest esetén a hajlítórezgés és a torziósrezgés alpmódusa (h_1 és t_1) még elég messze van egymástól ahhoz, hogy ne eredményezzen kettőshangzást (3. ábra). A képen megfigyelhetjük, hogy t_1 közvetlenül a hajlítórezgés második módusa mellett található. Ezt az emberi fül nem érzékeli kettőshangzásnak, mivel a hajlítórezgés a domináns, továbbá a h_1 enyhén magas F#1 hangja és a pontosan két oktávval fölötte elhelyezkedő t_1 akár a pontosan behangolt második felhang is lehetne.

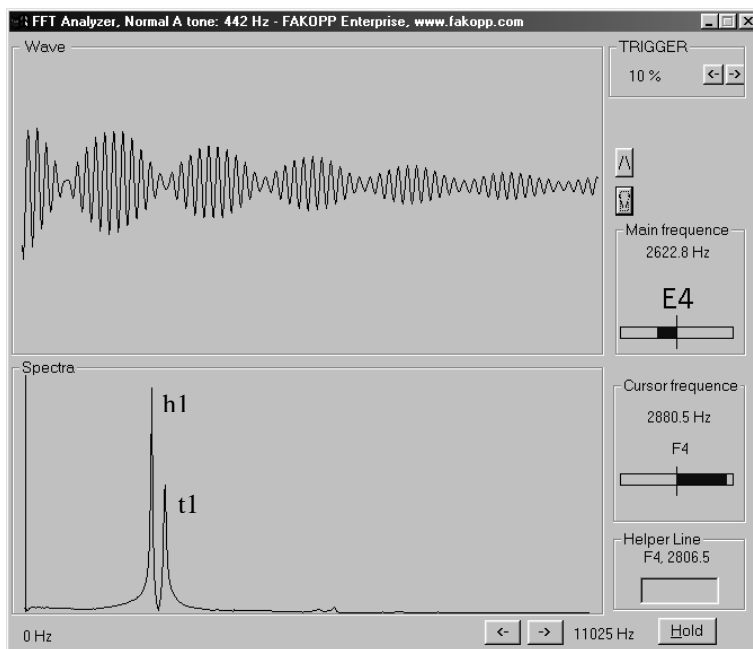
Tovább rövidítve a próbatestet 0,22 m hosszúságúra, elértük a számítással megkapott

L_{krit} értéket, de a valóságban $t1$ még mindig nem érte el a hajlítórezgés frekvenciáját (5. ábra). Itt a rezgéseket már úgy gerjesztettük, hogy csak az alapmódusok szólaljanak meg. A két frekvencia-érték már olyannyira közel került egymáshoz, hogy már a zenéhez nem értő laikusnak is feltűnik a hanglap hamissága. Mint a képen láthatjuk a $h1$ alapmódus 2622,8 Hz-es picit alacsony E4 hangon szólal meg, míg a torziós rezgés első módusa 2880,5 Hz-en rezgő F4-en. Ez az enyhén magas kisszekund hangköz már a laikus füleknek is zavaró. Ebben az esetben már nem kell külön gerjeszteni a hajlító és torziós rezgéseket. Ilyen kicsi frekvenciakülönbségnél a próbatestet tetszőleges helyen megkoppintva mindkét rezgéstípus gerjed.

A méréssel kapott L_{krit} érték 0,22 - 0,21 m közötti intervallumba került, mely a számított $L_{krit} = 0,2217$ értéktől csak kis mértékben tér el. Megfigyeltük, hogy az emberi fület leginkább zavaró kettőshangzáshoz tartozó mért érték és a számított kritikus hossz közötti eltérés átlagosan 10 % alatt van, mely eltérést a fa inhomogenitásának tudhatjuk be. A mérések alapján kiderült, hogy a kettőshangzás jelensége zeneileg akkor zavaró, ha a hajlító- ill. torziós rezgések frekvenciái közötti különbség kisebb, mint 25 %.

Összefoglalás

A kutatásaink után elkészített hangszer demonstrálta, hogy az akác maximálisan megállja a helyét a hangszerfák között (6. ábra). Ezzel egy új, magasabb dimenzióba lép az akác faanyag megítélése, hisz eddig viszonylag szűk felhasználási területtel rendelkezett (Molnár 1988, 1992). Kutatásainkkal elértük a kitűzött célt, hiszen a xilofon hangszer hanglapjainak G3-C5-ig terjedő kritikus tartományára bizonyítottan sikerült egy olyan módszert kifejlesztenünk, melyben előzetes mérések segítségével – az E/G arány meghatározásával – megadható, mely faanyag alkalmas az említett tartomány hanglapjainak elkészítéséhez, hogy elkerüljük a kettőshangzás problémáját. Ezzel komoly lépést tettünk a professzionális hangszerkészítés irányába.



5. ábra – A hajlító- és torziós rezgések rezgése képe egy 0,22 m hosszú próbatest esetén



6. ábra – Az elkészített négy oktávus koncert minőségű xilofon

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom tanáromnak, Dr. Divós Ferencnek, a Roncsolásmentes Faanyagvizsgáló Laboratórium vezetőjének segítségéért és támogatásáért, továbbá Honfi Ferencnek, a Cs-Fa Kft. ügyvezető igazgatójának és Keszelve Jenő főmérnöknek, a további kutatásaimhoz biztosított alapanyag támogatásért.

Irodalomjegyzék

1. Divós F., Bejó L., Gergely L., Magoss E., Salamon Z. 1999. ***Roncsolásmentes faanyagvizsgálat***. Jegyzet, Soproni Egyetem.
2. Fehér Cs., Horváth M., Taschner R., 2002 ***Koncertminőségű xilofon készítése***, TDK-dolgozat, NyME Sopron.
3. Molnár S., 1988 ***Az akácfa ipari felhasználása***, Műszaki Kiadó, Budapest
4. Molnár S., 1992 ***The range, characteristics and industrial utilization of Black Locust***, Sopron
5. Wittmann Gy., Divós F., Bejó L., 1999 ***Robinia as Construction Material and Xylophone Bars***, Journal of the Institute of Wood Science 15(2):82-86.

Modellek a faiparban keletkező hulladékok kezelésére és hasznosítására. II. rész

Németh Gábor, Varga Mihály *

Models for the handling and utilisation of waste material generated in the wood industries. Part 2

This article series presents a systematic approach to waste and secondary raw material handling in wood science. The authors identified five key waste sources, and created waste handling models for each of them, based on the evaluation of industrial operations. The preceding article presented models for wood waste, surface treatment and packaging waste handling and recycling. The present instalment introduces models for handling motor vehicle-related and other waste types, and concludes the series.

Key words: Waste, Secondary raw materials, Waste management

Bevezetés

Megelőző cikkünkben bemutattuk azokat a problémákat, amelyek a hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII. törvény és a hozzá kapcsolódó rendeletek hatására a faiparban felmerültek. Ezek a problémák szükségessé teszik a hulladékgazdálkodás komplex problémakörének rendszerszemléletű vizsgálatát. Ennek megfelelően az alábbi hulladékfajták kezelési és hasznosítási modelljeit dolgoztuk ki:

- faalapú hulladékok (másodnyersanyagok),
- felületkezelő anyagok, védőszerek, ragasztók, tömítők és felhasználásuk során keletkező hulladékok,
- csomagolási hulladékok,
- gépek, járművek üzemeltetése és karbantartása során keletkező hulladékok,
- egyéb hulladékok.

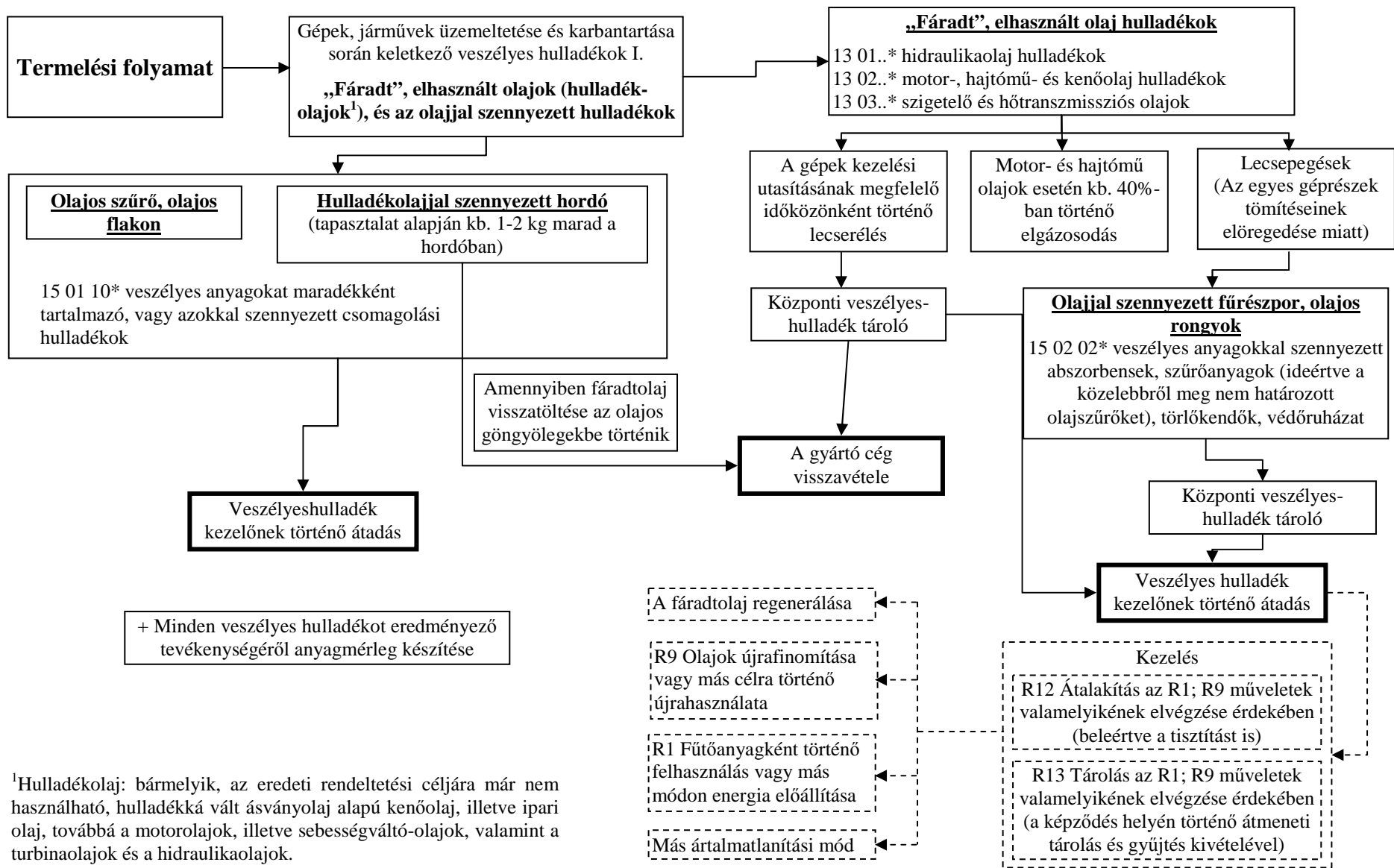
Cikksorozatunk első részében a fentiek közül az első három anyagfélésegre kidolgozott modelleket ismertettük. A második részben a további hulladéktípusok modelljeit tárgyaljuk.

Gépek, járművek üzemeltetése és karbantartása során keletkező hulladékok

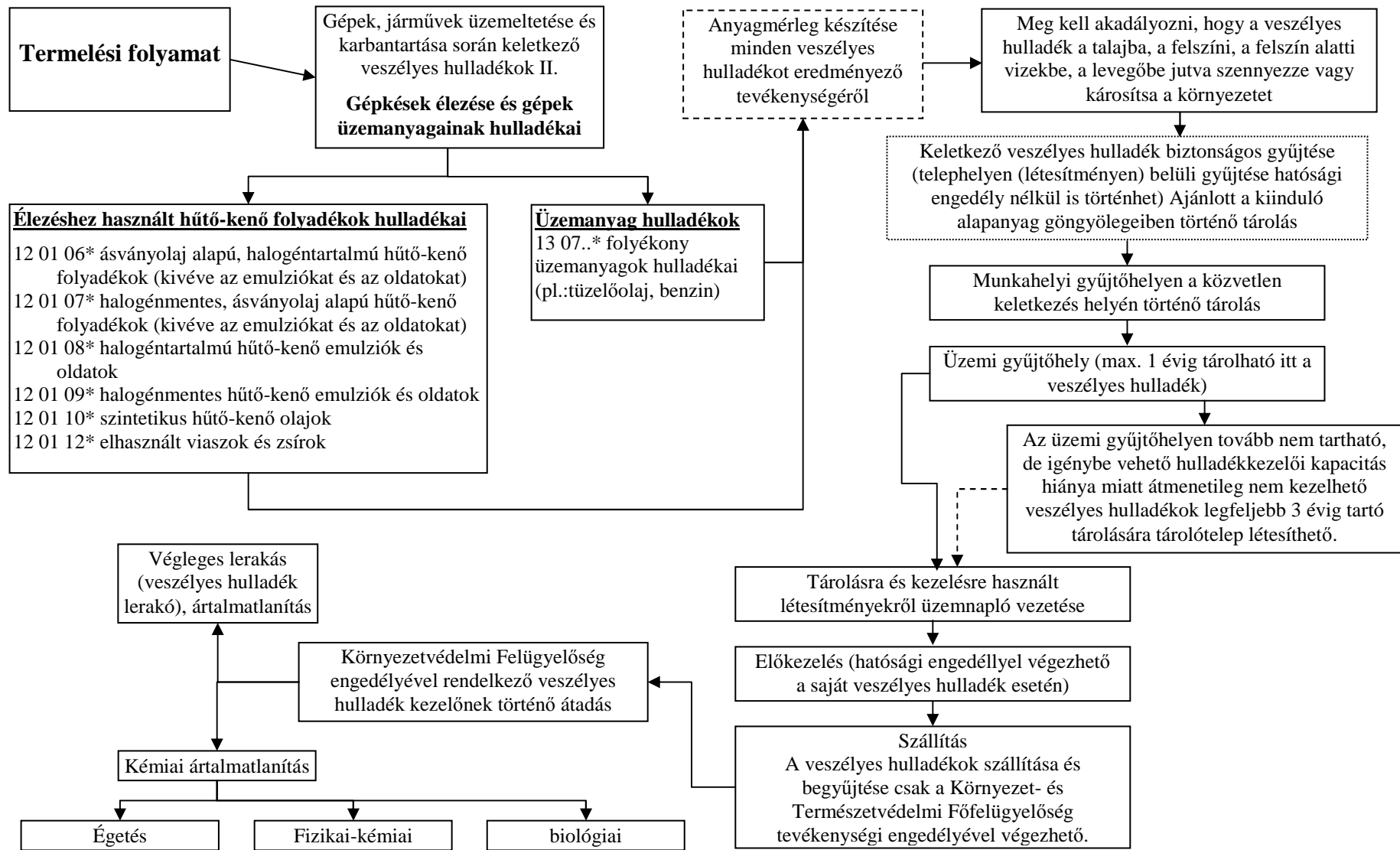
Ezen a területen legnagyobb mennyiségben hulladékolajok („fáradt olajok”) és ezekkel szennyezett hulladékok keletkeznek. Az olaj megvásárlását és felhasználását követően célszerű az (önmagukban is veszélyes hulladékot képező) kiürült göngyölegekbe visszatölteni a hulladék olajat, hisz így, amennyiben a forgalmazó nyilatkozik erről, úgy a fáradt olajjal együtt a göngyöleget is elszállítja. A gépek szerkezeteiben található olajos szűrők szintén az olajjal szennyezett csomagolási hulladékok részét képezik, és mint ilyenek a veszélyes hulladékok közé sorolandók. A gépek üzemanyagainak kezelésénél az eljárás azonos a fent leírtakkal.

A gépek karbantartása során az esetleges tömítetlenségek miatt lecsepegő olaj is jelentkezik, melynek felítására – a faiparban – fűrészpor használható. A fűrészpor azonban olajtartalma miatt veszélyes hulladékká alakul. A hulladékolajok és az olajjal szennyezett hulladékok kezelésének modelljét az **1. ábra** szemlélteti.

* Németh Gábor doktorandusz hallgató, Dr. habil. Varga Mihály CSc. egy. docens, NyME Faipari Gépészeti Intézet



1. ábra – A gépek, járművek üzemeltetése és karbantartása során keletkező fáradtolaj hulladékkezelésének komplex megoldási lehetőségei



2. ábra – A gépek, járművek üzemeltetése és karbantartása során keletkező egyéb hulladékok kezelésének komplex megoldási lehetőségei

Az élezés során felhasznált hűtő-kenő folyadékok folyamatos cirkuláció révén viszonylag hosszú időn át felhasználhatóak. Ezek a folyadékok egy idő után a leülepedő vasporral erősen szennyezett, iszapos hulladékot képeznek, melyet el kell távolítani. Ez szintén a veszélyes hulladékok részét képezi. Az így keletkező veszélyes hulladékokat, amennyiben a forgalmazó nem gondoskodik annak elszállításáról, körültekintő szállítás után a (Környezetvédelmi Felügyelőség engedélyével rendelkező) veszélyeshulladék-kezelőnek kell átadni. A gépkécek élezése során keletkező és az üzemanyag-hulladékok kezelése a **2. ábrán** bemutatott modell alapján történhet.

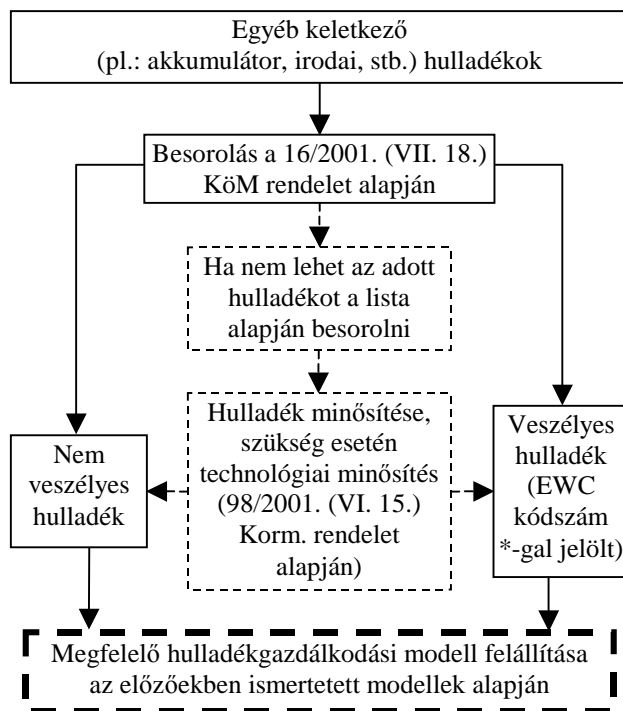
Egyéb hulladékféleségek

A bemutatott hulladékkezelési lehetőségek természetesen nem tartalmazzák az összes hulladékra vonatkozó javaslatokat (vagy akár összevontan egy-egy hulladékcsoportra vonatkozóan sem). Ez könnyen belátható, ha áttekintjük a 16/2001. (VII. 18.) KöM rendeletben található hulladékok listáját, ami alapján csupán a faipar esetében is további egy-kétszáz hasonló hulladékkezelési ábrát kellene készíteni, minden egyes hulladékra külön-külön.

Az előző felsorolásban nem ismertetett hulladékok besorolását illetően a **3. ábra** nyújt segítséget. Ez a modell figyelembe veszi azt az alapvető elvet, hogy a veszélyes és nem veszélyes hulladékot meg kell különböztetni. Előfordul azonban olyan eset is, amikor a 16/2001. (VII. 18.) KöM rendelet alapján sem tudjuk eldönteni hulladékról, hogy az veszélyes-e vagy sem. Ekkor szükségünk van a hulladék minősítésére – esetenként a technológia minősítésével együtt – mely segítségével besorolhatóvá válik a hulladék. A besorolás ismeretében az előzőekben ismertetett komplex hulladékkezelési megoldások valamelyikének alkalmazása ajánlott az illető hulladékra.

A hulladék veszélyességének vagy veszélytelenségének megállapítására vonatkozó eljárás részletes szabályait a 98/2001. (VI. 15.) Korm. rendelet 1. számú melléklete tartalmazza. A minősítés főbb szempontjai az alábbiak:

Mintavétel: A hulladékból a mintavételt akkreditált laboratórium a hulladék termelőjének, illetve birtokosának megrendelése alapján



3. ábra – A hulladékok besorolása

végzi el, és azt a vonatkozó rendelet alapján elemzi.

A minősítést megalapozó vizsgálatok:

- A hulladékot eredményező technológia mérlegelésével kell megállapítani a hulladék veszélyességének eldöntésére alkalmas veszélyességi jellemzőket és a meghatározásukhoz szükséges vizsgálatok körét. A veszélyességi jellemzők meghatározására nemzeti módszereket, ezek hiányában a nemzetközi szervezetek (pl. OECD) anyagaiban ajánlott módszereket lehet felhasználni.
- A hulladékok minősítésére szolgáló nemzeti módszerként előírt vizsgálatokat (fizikai-kémiai és ökotoxikológiai vizsgálatok) minden esetben el kell végezni. Ha ezen vizsgálatok alapján egyértelműen megállapítható, hogy a hulladék veszélyes, akkor a többi vizsgálatot a minősítés szempontjából nem kell elvégezni.
- A mikrobiológiai vizsgálatokat csak abban az esetben kell elvégezni, ha a hulladék – keletkezési technológiájából vagy tárolási körülményeiből adódóan – feltételezhetően fertőző betegséget okozó, illetve terjesztő kórokozókat tartalmaz.

- A vizsgálatok eredményei alapján az akkreditált laboratórium szakértői véleményt készít a hulladék veszélyességéről vagy veszélytelenségéről.

A javaslat a Hulladékminősítő Bizottság elé kerül, amely szakértőkből álló testület, és amelyet a környezetvédelmi miniszter hoz létre. A Bizottság a minősíthető hulladék tulajdonságaitól függően, szükség esetén, külső szakértőket kérhet fel. A Bizottság az adott hulladékról készített minősítést megalapozó vizsgálatok alapján állásfoglalást ad a hulladék veszélyességéről vagy veszélytelenségéről.

Eredmények, következtetések

Kutatásaink konklúziójaként megállapítható, hogy a hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII. törvény és a hozzá kapcsolódó rendeletek hatása a faiparra (is) jelentős, és több megoldandó feladatot fogalmaz meg. A jelenlegi problémákat (pl.: faporok és a forgácslap-hulladékok) a közeljövőben kezelni kell és törekedni kell a megoldásra. További problémákat vethet fel a EU-jogharmonizáció is, hiszen az EU-ban alkalmazott szabályozás több pontban is szigorúbb előírásokat vezetett be (pl. levegő átlagos portartalma vonatkozásában). Azt mondhatjuk, hogy a környezetünk óvása érdekében, ugyanakkor a lehető legkisebb költség-kihatás-

sal szükséges a keletkező hulladékokat megfelelően kezelni, visszaforgatni, ártalmatlanítani.

Magyarországon – a kutatási eredmények is ezt igazolták – a faiparban nagyon eltérően értelmezik a hulladékgazdálkodást, amely több helyen azzal is párosul, hogy nem, vagy hiányosan ismerik a különböző hatályos rendelkezéseket, illetve – félve az esetlegesen felmerülő jelentős többlet költségektől – próbálják azokat nem tudomásul venni. Megfigyelhető Magyarországon az a közelmúltban elkezdődött változás is, miszerint a keletkező faalapú hulladékokat egyre több helyen próbálják a termelésbe visszaforgatni, illetve más módon újrafelhasználni, vagy például tüzeléssel (és az azt megelőző brikettálással) energianyerésre felhasználni. Sajnálatos módon ez a fajta köveendő hulladékkezelés a veszélyes anyagok terén még nem érzékelhető, eltekintve néhány kivételes esettől (például a felületkezelő lakk-anyagok visszanyerése).

Kutatási eredményeink alapján a Magyarországi és EU-s követelményekkel összhangban egyértelmű, a faiparra általában jellemző újszerű hulladékkezelési modelleket készítettünk. E modellek már EU-konform módon segítik a vállalatokat, vállalkozásokat a helyes hulladékgazdálkodásuk kialakításában és megvalósításában.

Fa: csodálatos matéria – II. rész

Winkler András ✧

Wood: a wonderful material. Part 2.

The preceding article discussed the importance and cultural significance of wood in our lives. This instalment provides some important statistics about the forests of the World and those of Hungary, and discusses the creation and formation of wood and its role in the ecosystem, emphasizing the responsibility of forest-management in maintaining this important natural resource.

Key words: Forest statistics, Wood formation

A világ és hazánk erdői számokban

Az erdő csodálatos terméke, ajándéka a fa. Bármilyen fa legyen is, annak külalakja, tulajdonságai elválaszthatatlanok szülőhelyétől, az erdőtől.

Földünk erdőterülete 3450 millió hektár.

A földrészek erdősültsége nagyon különböző, általában attól is függ, hogy mennyi ideje hódította meg azokat a civilizáció. Afrika

✧ Dr. Winkler András DSc. intézetigazgató egyetemi tanár, NyME Fa- és Papírtechnológiai Intézet

területének 17,7 %-át, Dél-Amerika 49,7 %-át, Európa (szovjet utódállamok nélkül) 30,9 %-át borítja erdő.

Európában napjainkra kevés maradt a fafaj gazdagságból, megközelítőleg 50 fafaj fordul elő. Észak-Amerikában a fafajok száma 850 körül van.

Magyarországon az erdőtervvel rendelkező és faállománnyal borított terület 1738 ezer hektár, a teljes terület 18,7 %-a. Az ún. élőfa készlet 320 millió m³. Európa erdeivel ellentétben összes erdőterületünk 85 %-án lombos, 15 %-án fenyőerdő található. Ez a fafajösszetétel döntően meghatározza a fafeldolgozás és egyben a fakutatások irányát is.

Az **1. táblázat** a magyarországi erdők fafajcsoport szerinti megoszlását mutatja (Halász és Szabó 1997).

A fa keletkezése és növekedésének csodája

Az élő fa növény. Mint szerves növényi test a természet biológiai törvényeinek engedelmeskedik.

Minden növény sejtekből épül fel. A legegyszerűbb, vízben élő algák egyetlen sejtből állnak, a fák ezeknek a kis építőelemeknek a millióiból.

A sejtek osztódással keletkeznek. Egy anyasejtől rendkívül bonyolult folyamat eredményeként két új sejt születik, amelyek egymáshoz hasonlóak, vagy különbözőek lehetnek. A fák rendkívül különböző felépítésű sejtekből állnak.

1. táblázat – A magyarországi erdők fafajcsoport szerinti megoszlása (Halász és Szabó 1997).

Fafaj	Összesen	
	1000 ha	%
Tölgy	380,6	21,9
Cser	198,1	11,4
Bükk	109,5	6,3
Akác	351,0	20,2
Gyertyán	104,3	6,0
Egyéb kemény lombos	71,2	4,1
Nyár	165,1	9,5
Egyéb lágy lombos	97,3	5,6
Fenyő	260,7	15,0
Összesen:	1737,8	100

A fa növekedése a mag csírázásával kezdődik, a Föld középpontja felé gyökeret ereszt, és szárat a föld fölé, a fény felé. Mindkettő nedvdús sejtekből áll, amelyek vékony hámmal vannak körülveve. A művész fantáziájában az **1. ábrán** láthatók az „első lépések”.

Hamarosan elfogy a mag magával hozott tápláléka, a növénykének már magának kell gondoskodnia arról, amit magjából elfogyasztott ahhoz, hogy tovább növekedhessen. Egy, vagy két sziklevelet növeszt, hogy megkönnyítse a környezetéhez való alkalmazkodását.

A száron megjelennek az első levélkék és a gyökérből oldalgyökerek nőnek, hogy felszívják a talajból a vizet és az oldott tápsókat. Minden fafaj kizárólagosan rá jellemző, egyéni formájú, felépítésű.

A csemetékből felnövekvő fa törzse és az abból növekedő ágakból és levelekből álló korona a fafajra jellemző, összetéveszthetetlen habitus. A fafajok gyökérrendszere is különböző. Az erdeifenyőre a mélyre hatoló főgyökér, a



1. ábra – A fa növekedése (A művész így látja).
Mészáros György rajza, 2003.



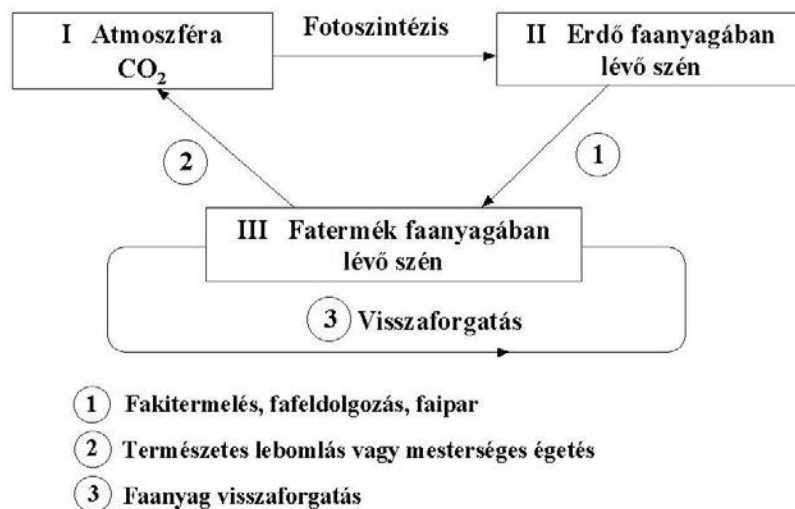
2. ábra – Sziklák között megkapaszkodó erdei fenyő gyökerek (Flade, 1979.)

lucfenyőre a főgyökeret hamar túlnövő mellégyökerek jellemzők. A jegenye és a bükk fáknek szárgyöker rendszerük van, gyökereik ferdén hatolnak a földbe. A fában levő hihetetlen életakarást mutatják a sokszor leküzdhetetlen akadályokon áthatoló, talajt kereső gyökerek (2. ábra). Ki ne látott volna magas épületek tetején, vagy homlokzatán megkapaszkodó fácskákat, amelyeket nyaktörő mutatóványokkal rendszeresen eltávolítanak onnan, hogy aztán hűségesen ismét kinőjenek?

Földünkön a növények keletkezésének, növekedésének alapvető feltétele a fotoszintézis. Szakmánkban a köznapi népszerűsítő irodalom így teszi fel a kérdést: hogyan lesz a levegőből fa?

A fák növekedése elsősorban a fotoszintézissel történő anyagképződésen alapul, másodsorban a különböző anyagátalakulásokon és átrendeződéseken. A fotoszintézis a növények alapvető, fantasztikus tulajdonsága, amellyel a levegőben lévő mintegy 0,03 % gázalakú széndioxidot (CO_2) szilárd anyaggá változtatják. Ehhez szükséges a napsugárzás energiája, amely csodálatos és bonyolult módon a zöld szintetecskéken, a klorofill testecskéken keresztül fejt ki hatását és a levegőben lévő széndioxidból, valamint vízből a növényben szerves anyagot: glukózt hoz létre. A fotoszintézis a Napról érkező sugárzás nélkül nem jönne, nem jöhetne létre, így az élet keletkezése és fenntartása Földünkön a Napnak köszönhető. Ezeket az összefüggéseket manapság a teológusok is elismerik, a Bibliában leírt Genézis ellenére. Magyarazatot arról kell adni a filozófusoknak és teológusoknak, hogy az egész folyamatot ki, vagy mi indította el (Görlach 1973).

A fába zárt szén (C) körforgása (atmoszféra - erdő - fatermék - atmoszféra) és a faanyag visszaforgatás kapcsolata



3. ábra – A fába zárt szén (C) körforgása (atmoszféra-erdő-fatermék-atmoszféra) és a faanyag-visszaforgatás kapcsolata

Az atmoszféra felső rétegeiben levő kozmikus sugárzás kis mennyiségben nitrogénből alakít át szenet. Ez a radioaktív szén ^{14}C , amelynek felezési ideje 5300 év. Az átalakulás után részt vesz az asszimilációban, így minden szerves, természeti anyagban megtalálható. A szerves anyagok életkora ennek alapján jól megállapítható. Bármennyire is érdekes, a radioaktív szén jelentősége az asszimiláció szempontjából elenyésző, hiszen Földünkön mindössze 80 t van jelen.

A szénkörforgásban az erdők, a fa szerepe döntő, hiszen a Föld szervesanyag készletének 80 %-át az erdők tárolják. Egy év alatt egy hektár erdő két tonna szerves anyagot „termel” (Sandermann, 1956), de ez a mennyiség különböző fafajok esetében változó.

A **3. ábrán** a szén körforgását ábrázoltuk az atmoszféra, az erdő, a fatermékek és az atmoszféra között.

Az elmondottak kellőképpen alátámasztják, miszerint az erdő- és fagazdálkodás életünk, életterünk szempontjából az egyik legmeghatározóbb tevékenység, amit felelősséggel és szakértelemmel kell végezni (Winkler 2003).

Irodalomjegyzék

1. Flade, M. 1979. *Holz, Form und Gestalt*. VEB Verlag der Kunst, Dresden
2. Görlach, D. 1972. *Wunderbares Holz*. DRW Verlags-GmbH Stuttgart
3. Sandermann, W. 1956. *Grundlagen der Chemie und chemischen Technologie des Holzes*. Academische Verlagsgesellschaft, Leipzig.
4. Halász A., Szabó T. 1997. *A magyarországi erdők fafajcsoport szerinti megoszlása*. In: Molnár, S. szerk. Faanyagismeret. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
5. Winkler, A. 2003. *Csodálatos fa*. Előadás, Doktoranduszok és Fialat Kutatók Országos Konferenciája. Sopron.

Irányított szerkezetű falemezek (OSB) gyártása hazai alapanyagokból

Cserni Csaba ✧

Oriented Strand Board made of Hungarian raw materials

European OSB manufacturers typically use conifers as raw materials. Different species should be considered for a future Hungarian product. This article discusses the basic international and Hungarian trends, describes the most important characteristics of the available raw materials and introduces some experiments currently underway at the University of West Hungary.

Key words: Waste, Secondary raw materials, Waste management

A kutatómunka előzményei

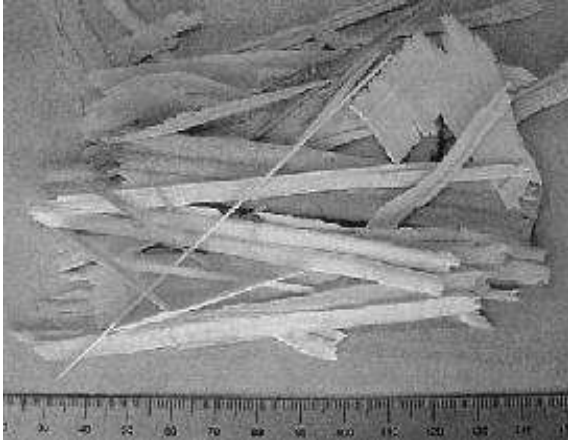
A XXI. század felgyorsult iparosodása a környezetet a végsőkig terheli, ezért a fejlődés üteme megkívánja, hogy a korábbiakban használatos, a környezetre ártalmas eljárásokat, anyagokat környezetkímélő technológiákkal és anyagok felhasználásával helyettesítsük.

Az Európában gyártott OSB lapok nagyrészt fenyő alapanyagból készülnek (Walter 1988). Az OSB lapok egyre nagyobb térhódítása szükségessé teszi, hogy a rendelkezésre álló fenyő alapanyagot más, esetleg kevésbé értékes fafajokkal pótoljuk, úgy, hogy az elkészített lapok szilárdsági értékei ne csökkenjenek.

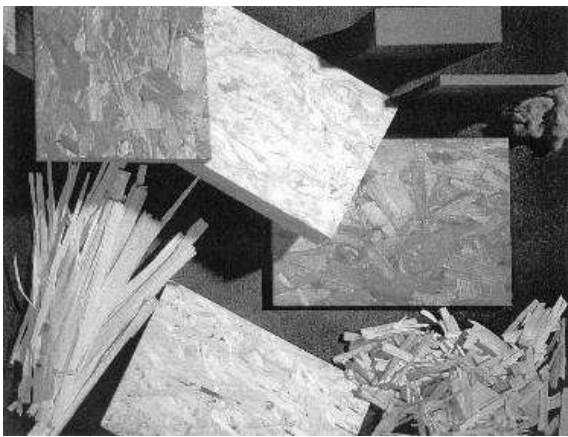
A falemezgyártás fő célkitűzése: gyenge minőségű alapanyagból és választékokból, illetve a használt faanyag újrafelhasználásából értékes terméket készíteni, ami megközelíti, speciális esetekben meg is haladhatja a tömör fa bizonyos tulajdonságait (Winkler 1998). A falemezek közé soroljuk a papírt, furnért, rétegelt lemezt, farostlemezt, forgácslapot, az OSB-t, illetve sok-sok más lemezféleséget, melyek faanyagból készülnek.

A kutatómunka a fent említett lemezféleségek közül az OSB lapokkal foglalkozik. Magyarországon nagy mennyiségben találhatóak olyan fafajok, melyek ipari felhasználható-

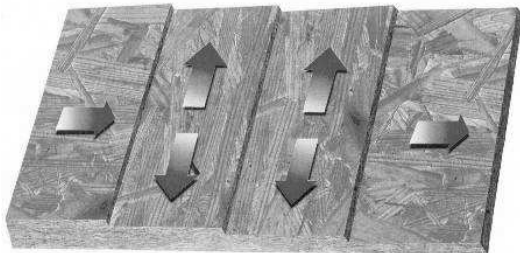
✧ Cserni Csaba doktorandusz hallgató, NyME Fa- és Papírtechnológiai Intézet



1. ábra – A szálforgácsok méreteloszlása



2. ábra – Különböző szálforgács típusok és termékek



3. ábra – Az OSB lapok rétegelrendezése



4. ábra – Félkész lakóház OSB felhasználásával

sága korlátozott. Felhasználásuk, megmunkálásuk során nagy mennyiségben keletkeznek kis méretű farészek. A kutatás fő célja meghatározni, hogy Magyarországon milyen kevésbé piacképes fafajból célszerű szálforgácsokat, illetve OSB lapokat gyártani. Célunk különböző fafajokból azonos gyártási paraméterek mellett OSB lapok készítése és azok tulajdonságainak összehasonlítása.

Az OSB lapok elődjének tartott, nagy felületű elemi forgácsból, az ún. *wafer*ből elsőként J. Clark készített egyrétegű lapot 1954-ben (Clark 1955). Az OSB-technológia kezdetei amerikai (USA) és német kutatók munkáira vezethetők vissza. Paolo Alto már 1946-ban megkísérelt „irányított” forgácsokat használni a cementkötésű lapok készítéséhez Kaliforniában. Az európai kísérletek eredményeiről először 1960-ban történik említés. Az első szabadalmat ebben a témakörben 1965-ben fogadták el az USA-ban.

A waferboard-ok (ostyalapok) nagy felületű, közel négyzet alakú forgácsokból épülnek fel. Ezek a lapok kezdetben nem rendelkeztek nagy hajlítószilárdsággal (Winkler 1998). A szilárdsági értékek növelése érdekében a közel négyzet alakú elemi forgácsokat téglalap alakúra változtatták. A szálforgácsokból felépülő OSB lapoknak a rugalmassági modulusza, lapleemelős és hajlítószilárdsága közel kétszeresére javult azonos sűrűség mellett. Az OSB lapok szilárdsági jellemzőit nemcsak az előzőekben említett elemi forgácsok alakjának a változtatása (négyzet felületűből téglalap felületűre), hanem a gyártási technológia, az orientáltság mértéke, a lap rétegeinek száma, az alkalmazott ragasztóanyagok, valamint a felhasználandó alapanyagok is befolyásolják (Walter 1981, Brinkmann 1981).

A rétegenként azonos irányban rendezett, irányított, valamint meghatározott méretű forgácsokból felépülő lapokat OSB-nek nevezük. Az OSB (Oriented Strand Board) jelentése szó szerint a következő: irányított szálforgács lap. Olyan forgácsból készített lap, ahol a hosszú és karcsú szálforgácsok (strand) egymással párhuzamosan, egy bizonyos irányban vannak terítve. Az OSB lapokat felépítő szálforgácsok az 1. ábrán, a forgács méretarányai pedig a 2. ábrán láthatóak. A rétegek elrendezését a 3. ábrán figyelhetjük meg.

Az OSB gyártása az 1990-es években meghatározóan az észak-amerikai kontinensre korlátozódott. Elsődleges felhasználási területe – mint ahogy a **4. ábra** is mutatja – a lakóház-építés volt.

Összehasonlításként közöljük egyes fából készült lemez-lapféleségek termelő kapacitásának növekedését 1996 és 2000 között (**1. táblázat**). A '90-es évek elején Európában két vállalat készített OSB lapokat, Franciaországban, valamint Skóciában. A '90-es évek végére az Európában működő vállalatok száma tíz fölé emelkedett. A táblázatból kitűnik, hogy 5 év alatt az OSB felhasználása több mint a kétszeresére növekedett, míg a többi jelentősebb lapféleség növekedésének az üteme kisebb mértékű volt (EUWID 1996, 2000b).

A továbbiakban az alkalmazandó alapanyagok és belőlük készült OSB lapok szilárdsági tulajdonságainak összefüggéseivel foglalkozunk.

A felhasznált alapanyagok és az OSB lapok szilárdsági értékeinek összefüggése

Mielőtt megvizsgáljuk, hogy milyen fafajok alkalmasak OSB gyártására, célszerű áttekinteni Magyarország erdősültségének változását, illetve a sarangolt ipari fa és a tűzifa választékok arányát, amelyek potenciális alapanyagok lehetnek (**2. táblázat**).

Az első világháborút lezáró, 1920. évi békeszerződés következtében Magyarország elvesztette erdeinek 84 %-át. Az erdősültség 26 %-ról 12 %-ra csökkent. Az erdősítési tevékenység így szükségessé vált. 1965 után megfigyelhető, hogy az erdősítési tevékenység az Alföldön nagyobb arányú, mint az ország többi területén.

Az Európai Unió követelmények előírják, hogy Magyarország erdősültségének a 25 %-ot el kell érnie (PHARE HU 2000). A több mint 5 %-os erdősültség-növekedés az Alföld egyes részeinek bevonásával történne, ahol főként nyár, illetve akác fafajoknak kedvezőek az adottságok.

A **3. táblázatból** egyértelműen körvonalazódik, hogy Magyarországon egyes fafajoknál a tűzifa és a sarangolt iparifa választékok aránya több mint tízszeres. A későbbiekben a fafajokra jellemző tulajdonságok mellett az előzőekben említetteket is figyelembe kell venni.

Szálforgács gyártására alkalmas fafajok szövetszerkezetük alapján

A feldolgozandó fafajok sűrűségétől függően a hengeresfa felaprítása után az ajánlott forgácsvastagság 0,4 - 0,6 mm. A szálforgács optimális karcsúsági fokának (150) a beállításához megfelelő forgácshossz (60-90 mm), és szélesség (5-12 mm) szükséges. Az ettől eltérő méretű forgácsok a lap orientációs fokát (orientálhatóságát) csökkentik, ezért ezeket a forgácsokat szárítás előtt célszerű kiválasztani. A kiválasztás után a nagyobb méretű forgácsokat utánaprítják, majd gyártásba visszajuttatják, míg

1. táblázat – Európa lemezgyártó kapacitása 1996 és 2000 között (Forrás: EUWID 2000a)

Lapféleség	Termelőkapacitás (Millió m ³)				
	1996	1997	1998	1999	2000
MDF lapok	4,5	7	7,1	7	8
Forgácslapok	29	31,5	31,7	31,8	35
OSB lapok	0,45	0,7	0,75	1,05	1,15

2. táblázat – Az erdőterület változása 1938 és 2000 között (Forrás: KSH, valamint az Állami Erdészeti Szolgálat (ÁESZ) Országos Erdőállomány Adattára)

Táj	1938		1965		2000	
	erdőterület (ezer ha)	erdősültség (%)	erdőterület (ezer ha)	erdősültség (%)	erdőterület (ezer ha)	erdősültség (%)
Dunántúl	599,4	16,2	731,9	20,0	853,7	23,3
Észak-Magyarország	318,4	22,6	329,4	24,5	371,6	27,7
Alföld	189,1	4,5	360,2	8,4	548,0	12,8
Összesen	1106,9	11,9	1421,5	15,3	1773,3	19,1

3. táblázat - A sarangolt iparifa és tűzifa választékok aránya a kitermelt fafajoknál (Forrás: PHARE 2000)

Fafajcsoportok	Összes kitermelhető mennyiség (1000 m ³)	Sarangolt iparifa választék		Tűzifa választék	
		1000 m ³	%	1000 m ³	%
Tölgy	1430,34	86,16	6,02	892,19	62,38
Cser	932,70	163,37	17,52	631,15	67,67
Bükk	611,97	131,61	21,51	202,82	33,14
Gyertyán	388,06	97,37	25,09	261,90	67,49
Akác	1734,04	71,25	4,11	1172,62	67,62
Egyéb kemény lombos	301,04	16,07	5,34	203,40	67,57
Nyárfélék	1215,22	359,12	29,55	113,79	9,36
Egyéb lágy lombos	376,90	141,36	37,51	124,14	32,94
Fenyő	791,42	411,41	51,98	120,63	15,24
Összesen	7781,70	1477,72	18,99	3722,61	47,84

a kisebb forgácsokat a hagyományos forgácslapgyártásnál használják fel, vagy kazánokban elégetik.

Ahhoz, hogy az előállított szálforgácsok optimális karcsúsági fokkal rendelkezzenek, az aprítandó alapanyag min. 60%-ának a rosttelítettségi határ felett kell lennie. A jó minőségű szálforgácsban a fa száliránya végigfut az elemi forgácsban, minimális a keresztirányos rész. A legjobb forgácsminőséget a hasonló szöveti szerkezetű, valamint az egyenes szálú faanyagokból kaphatjuk. Ilyen fafajok a következők: rezgőnyár (*Populus tremula*), fűz (*Salix spp.*), vadgesztenye (*Aesculus hippocastanum*), éger (*Alnus spp.*), juhar (*Acer spp.*), platán (*Platanus spp.*), erdei fenyő (*Pinus sylvestris*), duglász fenyő (*Pseudotsuga mensiesii*), jegenyefenyő (*Abies alba*) és lucfenyő (*Picea abies*).

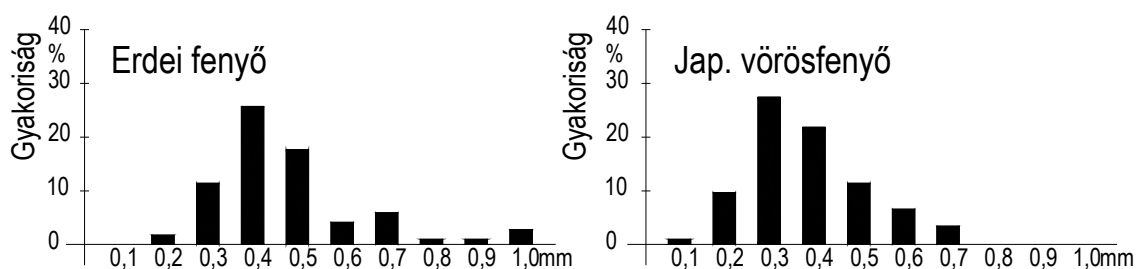
A korábbiakban említettük, hogy fontos a szálforgácsok vastagsága. Ha az előző fafajokat vizsgáljuk, megállapíthatjuk, hogy az évgyűrűsége 1-3 mm között változik, sőt egyes fafajoknál (pl. nyárféléknél) ennél nagyobb is lehet. Megfigyelhető, hogy az elemi forgácson belül egy azonos metszeten nem található meg a korai és a kései pászta egymás mellett a keresztmetszeten belül, de a szálforgács hosszában vizsgálva mindkét pásztát megtaláljuk. Az előzőekben említett fafajoknak a korai és a kései pászta közötti sűrűségkülönbsége kicsi, így az aprítás után a szálforgácsok rétegekre való esése, a forgács felaprózódásának veszélye minimálisra csökken. A gyűrűlikacsú fák a korai és kései pásztájának nagy sűrűségkülönb-

sége miatt kevésbé alkalmasak szálforgácsok gyártására, (pl.: tölgy, kőris) mivel a rideg, nagyüregű, vékonyfalú korai pászták mentén repedés keletkezik, s így az elemi forgácstról szilánkos részek válnak le, rontva ezáltal a szálforgácsok karcsúsági fokát. Gyűrűlikacsú fákat csak abban az esetben lehet felhasználni, ha a forgács vastagságát növeljük, elkerülve így a túlzott felaprózódást.

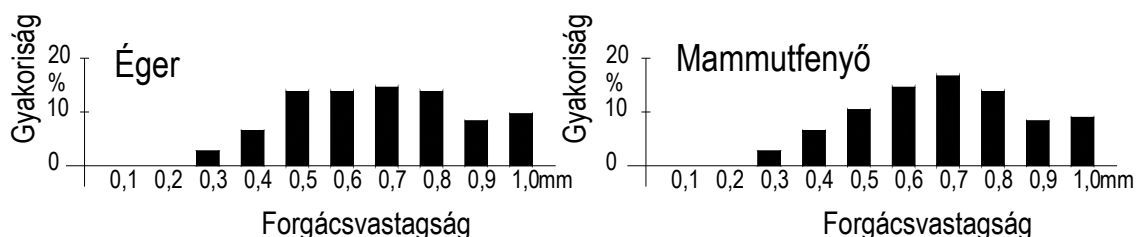
Az **5. ábra** 0,4 mm-es, illetve 0,7 mm-es beállított forgácsvastagság esetén mutatja az erdei fenyőnél, japán vörösfenyőnél (*Larix decidua*), égernél, valamint mamutfenyőnél (*Sequoiadendron giganteum*) ténylegesen keletkező forgácsvastagság eloszlását. Az ábrából kitűnik, hogy a homogénebb szerkezetű erdei fenyőnél, illetve japán vörösfenyőnél nagy gyakorisággal, 30-35 %-ban azt a forgácsvastagságot kapjuk, amit beállítottunk. A kevésbé homogén fáknál, így a mamutfenyőnél, valamint az égernél nagyobb forgácsvastagságot állítottunk be, és a forgács vastagsági eloszlása is szélesebb tartományt ölel fel. A forgács vastagsági eloszlása egyenletes a 0,5-0,8 mm-es tartományban, valamint ebben a tartományban az előállított forgács 70 – 75 %-ban fordul elő.

A vastag forgácsokat „maxichips”-nek nevezték el (Walter és tsai. 1981). A forgácsvastagság ilyen beállításával elérhető az, hogy az előállítandó forgácsok egy bizonyos tartományon belüli szórása minimális legyen, csökkentve ezáltal a finom részek arányát, s megoldva a korai és kései pászták közötti sűrűségkülönbség problémáját.

Forgó késtengelyes aprítógép
Forgácsvastagság 0,4 mm



Forgó késtárcsás aprítógép
Forgácsvastagság 0,7 mm



5. ábra – A forgácsvastagság eloszlása különböző fajok esetében

Kutatómunka a hazai szálforgácsgyártással kapcsolatban

A kutatómunka első lépése a vizsgálandó fajok kiválasztása volt. A kiválasztásnál figyelembe kellett venni a faj szöveti szerkezetét, valamint azt, hogy milyen mennyiségben áll, illetve áll majd rendelkezésünkre. Ezeket a szempontokat figyelembe véve a következő fajokot választottuk ki:

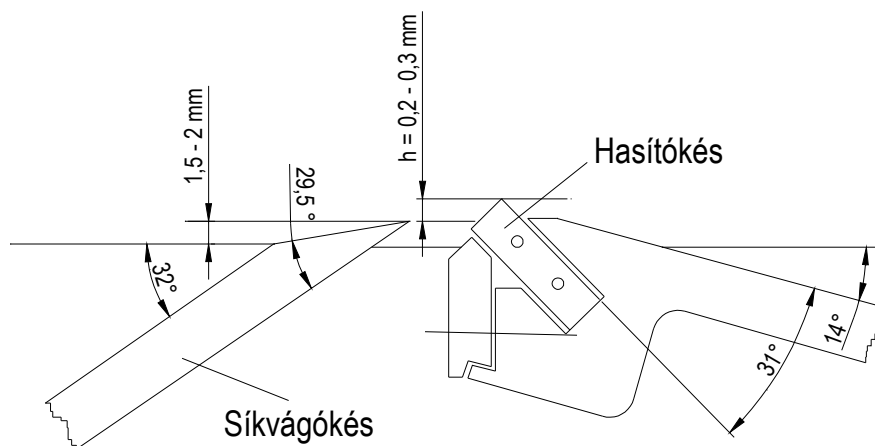
Nyár: Szöveti szerkezete megfelelő szálforgácsok gyártására, a korai és a kései pászta közötti sűrűségkülönbség kicsi, így az aprítás után a szálforgácsok rétegekre való esése, a forgács felaprózódása minimálisra csökken. A nyár nagy részét feldolgozzák (csak 9,36 %-a tűzifa), de mivel gyorsan növény, az erdőállomány cserélődési üteme nagyobb mértékű, mint más fajoknál.

Akác: Szöveti szerkezetét tekintve a gyűrűslikacsú fák nagy részéhez képest a korai és kései pászták közötti sűrűségeltérés kisebb, ami részben a tiliszesedéssel magyarázható, illetve a sejtüregek kisebb átmérőjével. Ipari

alkalmazását tekintve igen szűk körben használják fel egyes kedvező tulajdonságai ellenére. Ezt támasztja alá az a tény, hogy az akác 67,57 %-át tűzifaként értékesítik (**3. táblázat**).

Bükk: Szórtlikacsú faj. A vizsgálandó fajok közül a büknél állapítható meg a legnagyobb homogenitás egy évgyűrűségelességen belül. A kísérletbe való bevonását az indokolja, hogy sok területen a bükköt nem szívesen használják. Napjainkban szinte csak fehér bükköt keres a piac. A Magyarországon kitermelt bükköknél az álgesztesedés mértéke jóval nagyobb, mint a külföldön kitermelt faanyagnál. Ez az álgesztesedési hajlam nagymértékben korlátozza a hazai bükk ipari, illetve piaci versenyképességét.

Erdi fenyő: A fenyőt, mint összehasonlító fajtát vontuk be a kísérletbe. A szálforgácsok gyártása nem üzemi körülmények között, speciális aprítógépekkel történt, hanem a gyártás elvét alapul véve fagyapot gyártó géppel.



A hasítókések távolsága 10 mm

6. ábra – A fagyapotgyártó gép késelrendezésének vázlata

A szálforgács (strand) gyártásánál használt aprítógép

Mivel Magyarországon nincs OSB gyár, így forgácsológép sem, ezért a szálforgácsokat fagyapot-gyártó gépen készítettük el. A gépen annyi változtatást végeztünk, hogy a hasítókések (Ritz kések) távolságát 2 mm-ről 10 mm-re változtattuk. A leválasztott szálforgácsokat 0,45 mm-es forgácsvastagság beállítással készítettük el. A vastagságot e méret alá csökkenteni nem volt célszerű, mivel az elkészített lapkák elvesztették volna szálforgácsokra jellemző tulajdonságukat. A szálforgácskészítésnél használt főbb paraméterek a 6. ábrán láthatók.

A kutatási munka a lapok gyártási stádiumában tart. A kutatás során készített szálforgácsok, OSB lapok, és a tömör fa szilárd-sági vizsgálatainak elvével, mérési eredményével a későbbiekben foglalkozunk.

Irodalomjegyzék

1. Brinkmann E. 1979. *OSB-Platten, ihre Eigenschaften, Verwendung und Herstellungstechnologie*. Holz als Roh- und Werkstoff 37. 139 – 142.
2. Clark, I. 1955. *A new dry process multi ply*. TAPPI 38:11-14.
3. EUWID 1996. *OSB Platten für Europa*. Gernsbach.
4. EUWID Holz special 2000a. *Bau & Innenausbau, 1*. Gernsbach.
5. EUWID Holz special 2000b. *Bau & Innenausbau 2. Holzwerkstoffproduktion erreicht neuen Höchstwert*. Gernsbach.
6. PHARE HU 9604 – 01 – 06. 2000. *Nemzeti favagyron hasznosítás*. Budapest.
7. Walter, K., J. Kieser, T. Wittke 1979. *Einfluß der Spanform auf einige Festigkeitseigenschaften orientiert gestreuter Spanplatte*. Holz als Roh- und Werkstoff 35:183-188.
8. Walter, K. 1981. *Waferboard und Strandboard – Stand der Technik*. Holz-Zentralblatt 107:1665-1667.
9. Winkler A. 1998. *Faforgácslapok*, Dinasztia Kiadó. Budapest. 183 old.