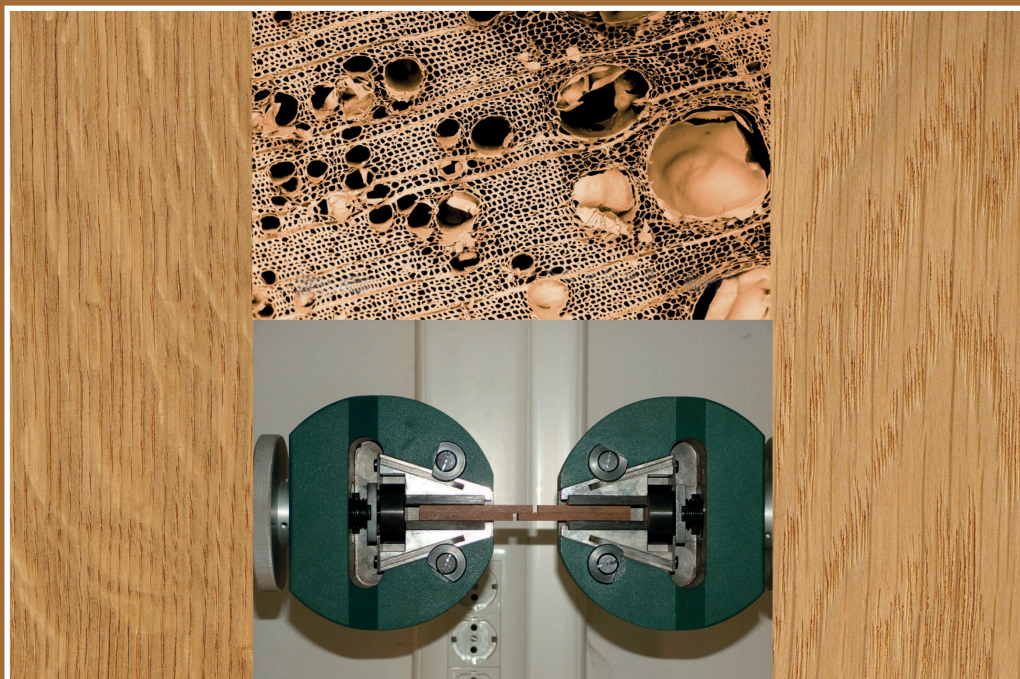


# A faanyagtudományok története Magyarországon



Az MTA Erdészeti Tudományos Bizottságának  
tanulmánykötete III.



2024

Az MTA Erdészeti Tudományos Bizottságának  
tanulmánykötete III.

**A faanyagtudományok története  
Magyarországon**



Az MTA Erdészeti Tudományos Bizottságának  
tanulmánykötete III.

# A faanyagtudományok története Magyarországon

Szerkesztette:

NÉMETH RÓBERT



SOPRONI EGYETEM KIADÓ  
Sopron, 2024

A kiadvány a Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztálya Erdészeti Tudományos Bizottságának kezdeményezésére és irányításával valósult meg.



Jelen kiadvány a Soproni Egyetem Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kara anyagi támogatásával jött létre.

Az egyes fejezeteket lektorálta:  
Németh Róbert

Kiadó:  
Soproni Egyetem Kiadó

Felelős kiadó:  
Prof. Dr. Fábián Attila, a Soproni Egyetem rektora



Creative Commons license: CC BY-NC-SA 4.0 DEED



Nevezd meg! - Ne add el! - Így add tovább! 4.0 Nemzetközi  
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International

Borítókép:  
Báder Mátyás, Bak Miklós, Németh Róbert

ISBN 978-963-334-512-2 (nyomtatott)  
ISBN 978-963-334-513-9 (pdf)  
DOI szám: <https://doi.org/10.35511/978-963-334-513-9>

Nyomdai kivitelezés:



**INFORM**  
Kiadó & Nyomda  
1149 Budapest, Angol u. 34.  
[www.informstudio.hu](http://www.informstudio.hu)

Budapest, 2024/10

# TARTALOM

<i>Beköszöntő</i> . . . . .	6
<i>Előszó</i> . . . . .	7
Faanatómia . . . . .	8
Faanyagvizsgálatok . . . . .	17
Roncsolásmentes faanyagvizsgálatok . . . . .	29
Faanyagok szárítása és modifikálása . . . . .	39
Faalapú kompozitok . . . . .	54
A faanyag színe és színváltozásai . . . . .	79
A fa mechanikai megmunkálása . . . . .	90
A fa, mint építőanyag . . . . .	132
Faanyag ökomérlege . . . . .	151
Faenergetika . . . . .	157
Faanyagok ragasztása és felületkezelése . . . . .	168
Fejezetek a fakémia magyarországi történetéből . . . . .	202
Faanyagvédelem . . . . .	233
<i>A kötet szerzői</i> . . . . .	251

## BEKÖSZÖNTŐ

A Magyar Tudományos Akadémia Erdészeti Tudományos Bizottsága három nagy szakterületet (erdészettudomány, faanyagtudomány, vadbiológia) fog át, melyek között szoros kapcsolat fedezhető fel. Ez a három kötetből álló áttekintés – melynek harmadik, a faanyagtudományt taglaló kötetét tartja kézben a tisztelt Olvasó – kísérlet a három szakterület kutatási eredményeinek, sikereinek és kudarcainak, feladatainak áttekintésére múlt-jelen-jövő bontásban. Tényszerű, forrásjellegű művet kívánunk közreadni, amely a korábbi kutatási eredményeket az eltelt idő távlatából értékeli, áttekinti a jelenlegi helyzetet, illetve egyfajta előre vetítést is megkísérel az egyes szakterületek várható hazai és nemzetközi tendenciáira vonatkozóan.

A szakterületeken belül az egyes tématerületek esetében általános sajátosság az, hogy a múlttal foglalkozó fejezet rész jóval hosszabb, mint a jelent és a jövőt tárgyalók. Ennek oka, hogy különösen az erdészettudomány, de a faanyagtudomány és a vadbiológia egyes tématerületei is évszázados múltra tekintenek vissza. Az is igaz, hogy a régebbi múltból származó eredmények javarészt – nem lebecsülendő – megfigyelésből, összehasonlításból és nem kísérletből, vagy éppen monitoringból származnak. Esetünkben hangoztatni kell még azt is, hogy egy-egy tudományos eredmény olykor hosszú, sok évtizedes, sőt évszázados munkálkodás terméke.

Mivel mindhárom szakterület magáénak vallja a „*theoria cum praxi*” elvet, ezért a kutatás és az egyes szakmák (erdőgazdálkodás, fafeldolgozás, vadgazdálkodás) között nemcsak szoros kapcsolat van, hanem éles határt sem lehet köztük vonni. Ennek következménye az, bár kutatástörténet megírását céloztuk meg, ez esetenként átcsap szakmatörténetbe. Az is igaz, hogy a tématerületek csak kis része tekinthető függetlennek, java részük nagyobb tudományterületekből hasadt ki és szakosodott (erdészeti, fa- vagy vad- előtaggal bővült). Ebből fakad a három szakterület összetettsége, bonyolultsága, más társterületekre való utaltsága is.

Ajánljuk ezt az összeállítást a rokon kutatási területen ténykedőknek a kölcsönösség érdekében, az együttműködés reményében, más, nem rokon szakterületen munkálkodóknak tájékoztatásképpen, esetleges együttműködés lehetőségeként, a jövő kutatóinak (egyetemi és PhD-hallgatóknak) ösztönzésésképpen, forrásmunkaként, a szakmai döntéshozóknak befolyásolásképpen, a gyakorlati szakembereknek tájékoztatás és együttműködés érdekében, továbbá a laikusoknak figyelemfelhívásképpen, az erdészettudomány, a faanyagtudomány és a vadbiológia megismertetése és elismertetése érdekében, s végül magunknak tükörként, a saját berkeken belüli potenciális együttműködés lehetőségeként.

BARTHA DÉNES  
MTA Erdészeti Tudományos Bizottság elnöke

# ELŐSZÓ

A faanyagtudományt, illetve annak történetét e kötetben szélesebb értelemben tárgyaljuk. A klasszikus faanatómia és anyagvizsgálatok, valamint az anyag mikro- és makroszerkezeti felépítése és az anyagtulajdonságok összefüggésrendszerén túl foglalkozunk olyan lényeges faipari technológiákkal is, mint a mechanikai megmunkálás, a szárítás, a ragasztás és felületkezelés. Ahogy a faipari mérnökképzésben, úgy a tudomány világában is egymásra épülnek a különböző szakterületek. A klasszikus anyagvizsgálatokon túl bemutatjuk a roncsolásmentes anyagvizsgálatokat, e területen elért eredményeinket is. A faanyag maga is egy biokompozit, biológiai úton lebomlónak tekinthető, nano- és mikroszerkezete pedig szálerősítésű. A faanyagot feltárva, más komponensekkel keverve mesterséges kompozitok hozhatók létre, akár természetes összetevőkből. Az anyagtulajdonságok közé sorolható a faanyag színe is. A fából készült termékek megjelenése (értéke) alapvetően függ a színtől is. A szín karakterizálása, változtatása és megőrzése ma is komoly alap- és alkalmazott kutatási feladatokat ad. A faanyag kémiai ismerete számos tudományos anyagvizsgálati eredmény magyarázatához nélkülözhetetlen. A különböző faipari technológiák fejlesztése is mélyebb kémiai ismereteket igényel. Az egyre csökkenő rönkméretű, valamint a mérnöki faszervezetek terjedése miatt is szükséges a ragasztás tudományos megalapozása. A 21. századi építészeti megoldások különösen nagy igénybevételnek teszik ki a felületeket, így a felületkezelés és a felületkezelő anyagok fejlesztése is feladat. A faanyag, mint energiahordozó évezredek óta melegíti az embert. A fa – mint széndioxidsemleges tüzelőanyag – modern energetikai hasznosítása hozzájárulhat a klímavédelmi célok eléréséhez. Épületeink egyik hagyományos anyaga a fa. A fával építés reneszánszát éli, a korszerű szerkezeti megoldások számos kutatási feladatot jelentenek. A fatermékek hosszú élettartamának biztosítása nem nélkülözhető, és a jövőben sem nélkülözheti a faanyagvédelmi módszereket. A faanyagok védelme önmagában is egy multidiszciplináris terület (biológia, műszaki és humánegészségügyi). Mind az energetikai hasznosítással, mind a fatermékek előállításával szorosan összefügg az ún. ökomérlegek felállítása, mely nem nélkülözhetik a tudományos megalapozottságot.

E rövid bevezetőből talán érzékelhető a faanyaggal foglalkozó szakterületek sokrétűsége és bonyolult összefüggésrendszere.

A kötet célja, hogy összefoglalja a faanyagtudományhoz köthető kiválasztott szakterületek múltbéli kutatási eredményeit. Igyekeztünk bemutatni az egyes területeken munkálkodó kutatókat, kutatócsoportokat, tanszékeket, intézeteket. Hazánkban a korábbi Faipari Kutató Intézet, majd pedig a Sopronban működő egyetem adott infrastrukturális és szellemi alapot a faanyagtudományi kutatásokhoz. Több területen inkább a jelenkorban keletkeztek eredmények, így sajátos módon a múlt néhány évtizedre tekint csak vissza. A szerzői kollektíva legjobb tudása szerint igyekezett előrejelzést is adni az egyes szakterületek jövőbeli kutatási célkitűzéseit illetően.

A kötet nem vállalkozhatott arra, hogy a faanyagtudomány valamennyi részterületének teljes, részletes keresztmetszetét adja. Ugyanakkor igyekeztünk olyan művet letenni az olvasó elé, amit hasznosan forgathat az elődök kutatómunkájának megismerésére. A szerzők bízunk abban, hogy diákok is érdeklőnek majd a kötetben bemutatott tudománytörténeti írások iránt, továbbá, hogy gyakorló szakemberek is hasznosnak tartják a közölt adatokat, valamint a jövőre vonatkozó megfogalmazásainkat.

NÉMETH RÓBERT  
MTA Erdészeti Tudományos Bizottság alelnöke



# FAANATÓMIA

Komán Szabolcs és Fehér Sándor

## Bevezetés

A faanyag egy olyan természetes lignocellulóz alapú polimer, amely rendkívül komplex biológiai struktúrával rendelkezik. Különböző sejttípusokból épül fel, amelyek nemcsak több százmillió év alatt alakultak ki funkciójuk ellátásához, hanem életük során folyamatosan és gyorsan alkalmazkodnak.

A növénytudomány egyik legrégebbi tudományága az anatómia, amely fontos szerepet tölt be a modern növénytudomány meghatározó ágai között (Sokoloff et al. 2021). Az alkalmazott botanika sajátos részét képezi a faanatómia, ami az elfásodott növényi részek alaktanával foglalkozik. Az anatómiai leírások Molnár et al. (2007) szerint az alábbi területek köré csoportosíthatók:

- élettani, növekedési és kórtani folyamatok megismerése (pl. növekedési zónák változása)
- fafajazonosítás (pl. tűlevelűek és lombosok közötti különbségek)
- faipari technológia műveletek szakszerű végrehajtása (telítés, ragasztás, felületkezelés stb.)
- dendrokronológiai ismeretek (pl. régészeti leletek)
- dendroklimatológiai ismeretek (éghajlati változások megfigyelése)
- fanyagminőségi ismeretek (fahibák, fakárosodások stb.)
- faanyag esztétikai és műszaki jellemzőinek magyarázata (rajzolat, szilárdság stb.)

## A faanatómiai fejlődése

A fatest felépítésének tanulmányozása egészen az ókorig visszavezethető, amikor is először az állati szervezettel vontak párhuzamot. A botanika atyjának számító Theophrastus, többek között a „*Historia plantarum*” és „*Historia naturalis*” könyveivel a botanika alapjait teremtette meg. Műveiben leírja a fatest főbb részeit úgymint a belet, szíjácson, gesztet, de az évygűrűk keletkezésének és éghajlattal való összefüggésének megfogalmazása is megjelenik bennük.

A faanatómia fejlődése szorosan kapcsolódott a mikroszkóp feltalálásához. Robert Hooke (1667) felismerte a növények sejt szerkezetét és a parafa vizsgálata során a benne látott méhsejtszerű üregek leírására alkotta meg a „sejt” szót. Marcello Malpighi 1675-ben publikálta a növények szerkezetére vonatkozó makroszkopikus és mikroszkópos megfigyeléseit az „*Anatome Plantarum*” című könyvben. Foglalkozott a kéreg szerkezetével, azonosította a spirális megvastagodású sejteket, a bélsugarakat, az udvaros gödörkéket a fenyőknél és a tilliszeket a lombos fáknál. A növény szerkezetan atyjának tar-

tott Nehemiah Grew néhány évvel később kiadta a „Növények anatómiája” (1682) című munkáját, melyben összehasonlító mikroszkópos leírásokat adott a fenyőfélék és lombos fajok belső szerkezetéről, azok háromdimenziós megjelenéséhez viszonyítva. Grew egyértelműen kijelentette, hogy munkájának célja az volt, hogy közös és megkülönböztető anatómiai jellemzőket keressen, amit a rendszerezett növényanatómia kezdetének tekinthetünk. Antoni van Leeuwenhoek, a mikroszkópos növényanatómia harmadik úttörője, leírta (1722) számos lombos és néhány fenyő jellemzőit, valamint felismerte a sejtfal makrofibrilláris alkotóelemeit. Összefüggést talált az évgyűrűszélesség és a fa minősége között a gyűrűslikacsú fáknál, de rájött arra is, hogy ez a kapcsolat a fenyőknél épp az ellenkezője. Annak ellenére, hogy számos félreértéshez vezetett a növényi szerkezet struktúrájának és funkcióinak összehasonlítása az állatokéval, ők hárman a faanatómia és fabiológia megalapítóinak tekinthetők.

A 18. század a fabiológiájában jelentős előrelépés nélküli stagnálás időszaka volt. A témában megjelent legfontosabb tanulmány ekkor a John Hill nevéhez fűződő „The Construction of Timber” (1770) című mű. Hill már festőanyagokat is használt a növények mikroszkopikus anatómiájának tanulmányozása során, és felismerte az edény-rost kötegek jelentőségét.

A mikroszkópos technika tökélesedésével tovább fejlődhetett ez a tudományterület is. A kambium felfedezése és annak leírása kiemelendő fontos lépés volt a növekedés megértése és magyarázata szempontjából. Különösen Carl W. von Nägeli munkája járult hozzá ehhez jelentősen, aki a felállított egy hipotézist a sejtfal fibrilláris szerkezetére. Polarizált fénymikroszkóp segítségével pedig Hugo von Mohl (1851) volt az első, aki leírta a sejtfal többrétegű felépítését. 1870 körül már néhány alapelv ismert volt a fa sejtfalának kialakulásával és szerkezetével kapcsolatban.

A fénymikroszkópia 19. és 20. századi fejlődésével párhuzamosan, az elektronmikroszkópia bevezetésével a huszadik század ötvenes éveiben, valamint a spektroszkópiai módszerek és a szinkrotronsugárzás alkalmazása az utóbbi évtizedekben egyre több részletet tárt fel a szövet, sejt és molekuláris szinten. Irving W. Bailey (1938, 1939, 1958) több cikket publikált a fa szövetek szerkezetéről, és munkatársaival együtt feltárta a sejtfal finomszerkezetének részleteit. Johannes Liese (1950) pedig már összekapcsolta a faanatómiát a faanyagvédelemmel.

A faanatómia tudományterületének kiteljesedéséhez számos tudós hozzájárul a világ minden tájáról, többek között a Nemzetközi Faanatómusok Szövetsége (IAWA) keretein belül is. Az elmúlt évtizedekben a módszertani fejlesztések további javulásával a faanyaggal foglalkozó tudósok és a botanikusok egyre inkább a fa kialakulásának biokémiai és molekuláris vonatkozásaira összpontosítottak (Fromm 2013). A molekuláris technikák és a DNS-markerek használata mellett azonban a klasszikus makroszkópos és mikroszkópos faazonosítás is nélkülözhetetlen például a CITES (Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora) keretében védett növényfajok azonosítására.

## A faanatómia oktatása

A faanatómia oktatást nem lehet élesen elválasztani az erdészeti növénytantól, mivel mindkettő oktatása gyakorlatilag azonos töről fakad. A faanatómiai ismeretek oktatása a Selmecebányán elinduló erdőmérnök képzésben folyamatosan jutott egyre nagyobb szerephez. Kövessi Ferenc (1875–1945) a Bányászati és Erdészeti Főiskola növénytani tanszékének tanára hallgatói számára több tankönyvet is írt. „Vezérfonal az erdészeti főiskolán a növényanatómiai gyakorlatok végzéséhez” című kötete 1907-ben jelent meg. Ezt olyan művei követték, mint „A fák anatómiája és fiziológiája” (1908), „Növénytan II. rész” (1910), „Növénykórta. Pathológia” (Csáky 2003).

Fehér Dániel a selmecebányai bányászati és erdészeti főiskolán 1912-ben szerzett erdőmérnöki oklevelet, Majd 1918-ban visszakерült Selmecebányára a növénytani tanszékre tanársegédként. Tanulmányait folytatva, 1920-ban kémia és növénytan tárgyakból bölcsészdoktori oklevelét szerzett Bécsben, az osztrák fővárosban. Részt vett a Selmecebányai főiskola áttelepítésében Sopronba, ahol 1920-tól az áttelepített bányá- és erdőmérnöki főiskolán oktatott, 1921-től adjunktusi, 1923-tól rendkívüli tanári és 1926-tól rendes tanári címmel.

Fehér Dániel szakírói munkássága is igen jelentős, de nem a botanikával jutott el munkásságának legkiemelkedőbb területéhez, az erdők szénkörforgalmához, hanem ezeken keresztül. Fő szakírói tevékenységét is ezen a tudományterületen fejtette ki, de 1928 és 1935 között Mágócsy-Dietz Sándorral három kötetben összefoglalta az erdészeti növénytant, a morfológiát, a fiziológiát és a részletes növénytant (Erdészeti növénytan I–II–III. Sopron, 1929–1935).

A Faipari Mérnöki Kar megalakulása előtt 1949-ben a Növénytani Intézet akkori vezetője, Fehér Dániel vette magához tanársegédnek Gencsi Lászlót, aki 1951-től adjunktusként, majd pedig 1975-től egyetemi tanárként, a későbbi Növénytani Tanszékot vezette (Bartha 2022). Mivel azonban Fehér Dániel professzort teljesen lekötötték a dékáni és a kutatási feladatok, ezért a jegyzetírás főleg Gencsi Lászlóra hárult, amelynek eredményeként több kiváló mű is született, mint pl. az Erdészeti növénytan a szakközépiskolák számára (1950), Erdészeti növénytan I. – Általános növénytan (1950) és az Erdészeti növénytan II. – Növényrendszertan (1950).

Az 1957 megalakuló Faipari Mérnöki Karon először az „Általános növénytan” és a „Dendrológia” tantárgyak keretében kezdődött meg az oktatás, ami a két tárgy összeolvasásával „Faipari növénytan” néven került a Faanyagismeretani tanszékhez. A tananyag kidolgozása is Gencsi László (1924–2022) nevéhez köthető, aki a „Faipari növénytan” jegyzetében a növénytani és faanatómiai tananyagot kidolgozta. Ezen kívül a különböző fajok meghatározásával is segítette az egyetemi hallgatók munkáját, a „Fahatározó: a fontosabb erdei fajok meghatározása a fatestük szerkezetéből folyó tulajdonságaik alapján.” c. oktatási segédletével (1969a). Az 1980-ban megjelenő Erdészeti növénytan és az 1992-ben megjelent Gencsi László és Vancsura Rudolf a Dendrológia, Erdészeti növénytan II. c. könyvben a faanatómiai rész megírása is az ő nevéhez köthető (Bartha 2022), amely könyvek ma is alapműként szolgálnak.

A Faipari Mérnöki Karon Lámfalussy Sándor (1890–1975), aki Pally Nándorral együtt kezdeményezője volt a hazai faipari mérnök képzés megszervezésének, 1948-tól 1961-ig volt az Erdőhasználat Tanszék vezetője. Négy éven keresztül a Fatechnológia Tanszék vezetését is rábízzák, ahol többek között oktatja a Fakereskedelemtant, a Fűrészüzemtant és még két évig a „Hazai fák anatómiája” c. tárgy oktatását is végezte (Tóth 2011).

Török Béla (1894–1934) professzor a faanyagminőség és az erdő kapcsolatának elmélyült kutatója volt. „Első „fatechnológusként” méltán került erdőszelvényeink arcképcsarnokába”, mondta Molnár Sándor róla (Molnár 1998). 1926-ban vette át a Fatechnológia oktatását, s látva a tudományterület hazai elmaradását, külföldön képezte tovább magát. Rövid életútja során is kimagasló szakirodalmak fémjelezték szakmai munkásságát (Török 1929a, 1929b, 1933).

A Fatechnológia Tanszék vezetői közül Pally Nándor, Kovács Illés és Hargitai László munkássága emelkedik ki. Kovács Illés a kor újdonságnak számító faanatómiai kutatás eredményeit a Faanyagismerettan c. szakkönyvében foglalta össze (1979).

A faipari végzettséget szerző diákok számára a faanatómia oktatása előbb a Faanyagismerettani tanszék majd később a Faanyagtudományi Intézet, a Faipari és Műszaki Intézet, jelenleg pedig az Alaptudományi Intézet néven működő szervezeti egységben folyik. Kezdetben „Faanatómia” majd „Fabiológia”, napjainkban pedig „Faanyagismeret” című tárgyak keretében történik. Oktatói az évek során Molnár Sándor, Peszlen Ilona, Németh Róbert, Fehér Sándor, Paukó Andrea, Komán Szabolcs voltak. A hallgatók számára a tananyag elsajátításához többek közt „A fatest háromdimenziós szerkezete” (Butterfield et al. 1997), „Faanyagismeret” (Molnár S. 1999), Magyarország ipari fái (Molnár & Bariska 2002), Faanatómia (Molnár et al. 2007), Földünk ipari fái (Molnár et al. 2016) könyvek szolgálnak.



*Faanatómia gyakorlati oktatása a 70-es években és napjainkban (Fotó: Anon.)*

## Faanatómia kutatások

A faanatómia oktatásával párhuzamosan folyó kutatások már Selmecebányán is folytak. Tuzson János (1870–1943) a Selmecebányai Erdészeti Akadémia növénytan tanára a fás növények anatómiájával kapcsolatban jelentette meg „A fák anatómiai szerkezetéről” (1898) és „A növények belső szerkezete” (1907) című munkáit. Éveken át szerkesztette

a „Növénytan Közlemények” botanikai folyóiratot. Doktori dolgozata többek között a vörösfenyő anatómia vizsgálatát is tartalmazta. Jelentős kutatásokat végzett a bükk álgesztesedésével kapcsolatban. Vadas Jenő (1857–1922) „Az akácfa monográfiája” című (1911) több nyelven megjelent művében elsőként írja le az akác fatestének és kérgének anatómia jellemzőit. Mágocsy-Dietz Sándor (1855–1945) faanatómia vizsgálataiban a gesztesedés és az évgyűrűszélesség összefüggéseivel foglalkozott.

Hollendonner Ferenc (1882–1935) a korszerű magyar növény szövettani és faanatómia kutatások egyik elindítója. Nevéhez fűződik az elszenesedett fák mikroszkópos vizsgálatának kidolgozása, feldolgozta számos régészeti ásatás emberi tevékenységgel összefüggő megégett famaradványait. Fő műve „A fenyőfelék fájának összehasonlító szövettana” 1913-ban jelent meg.

A faanatómia kutatások nemzetközileg is elismert úttörője Greguss Pál (1889–1984) szegedi professzor, összeállította a magyarországi és a közép-európai lombosfák és cserjék meghatározókulcsát és új eredményeket ért el a fák és cserjék szövettani meghatározása terén. Több prehistorikus faanyagot és faszénmaradványt vizsgált meg. „Az élő nyitvatermők xylogomiája” (1956) akadémiai doktori disszertációjában mintegy 1500 fényképet és 350 táblarajzot közöl a témával kapcsolatban.

Gencsi László professzor nem csak az oktatással törődött, hanem munkássága során egyrészt az erdeifenyő törzs- és korona fejlődését, ill. az élő fa koronájának asszimilációs és légzési tevékenységét, másrészt az anatómiai és a szilárdsági jellemzők közötti összefüggéseket kutatta (Gencsi 1967, 1969b, 1973).

Jelentős eredmények születtek a Faipari Kutató Intézetben (FAKI), ahol elsősorban ipari kutatások folytak. Filló Zoltán (1962a) az anatómiai jelleg és az ipari felhasználhatóság közötti összefüggéseket kereste a nyárok esetén. A kvantitatív xylogómiai vizsgálati módszer kidolgozása mellett, cél volt az anatómia jellemzők alapján levont következtetések ipari vonatkozásnak megadása. A fehér fűz farostok mikrostruktúrájának elemzése (1964a) a törzs és az ág viszonyában, a Mohácsi Farostlemezgyár által feldolgozott alapanyag vizsgálatát képezte. Az eredmények a farostlemezek fizikai-mechanikai jellemzőivel kerültek összevetésre. A csertölgy (1962b) esetében is folytak kvantitatív xylogómiai vizsgálatok, de a bálványfa (1964b) faanatómiai tulajdonságai is meghatározásra kerültek az ipari felhasználhatóság kérdéskörében.

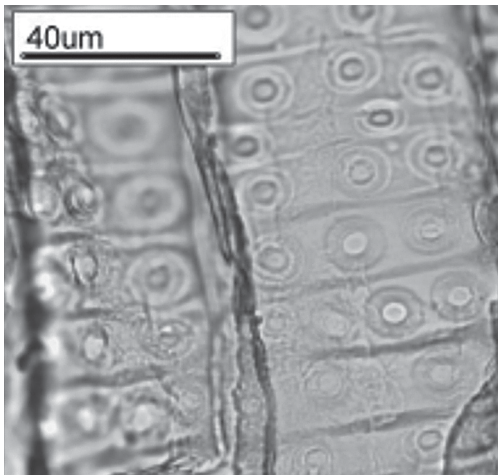
Az ELTE Növény szerzettani Tanszékén és a FAKI tevékenységén belül Babos Károly (1938–2005) biológiai- és növényanatómiával, elsősorban fás növények xylogomiájával kapcsolatban végzett kutatásokat. Régészeti faanyagok, faszemek, de az ipari fák anatómiai jellegzetességeit is vizsgálta. Társszerzőként részt többek között a témát érintő a „Haszonfák” (1979) című könyv elkészítésében is. Több nemesnyár fajta és fajtajelölt anatómiai jellemzőit vizsgálta a hasonló vizsgálatok pontosítása és kiegészítése céljából. Nem titkolt célja az volt ezzel a kutatással, hogy az erdészeti fajtanemesítők munkáját folytatva, meghatározza az új klónok faanatómiai, fizikai, mechanikai tulajdonságait. Babos Károly halálával, ezt a nagy volumenű munkát Molnár Sándor professzor vette át és folytatta a Soproni Egyetem Faanyagtudományi Tanszékén kollégáival karöltve.

A Soproni Egyetem Faanyagtudományi Tanszékén majd jogutójaiban napjainkig is folynak faanatómiai kutatások. Az anatómiai egyedi jellemzők, rendellenességek tekintetében kiemelkedik Peszlen Ilona munkássága (Peszlen 1993; Peszlen & Molnár 1996), aki elsőként hívta fel a figyelmet a nyárfáknál igen gyakori, ún. géles rostú reakciófa elfordulására. OTKA kutatása keretében a juvenilis fa és a reakciófa vizsgálatát végezte ültetvényes faanyagokon.

Molnár Sándor professzor (1944–2014) elsősorban akác és nyár faanyagok anatómiai jellemzőinek területén végzett kutatásokat. Tagja volt többek közt a Faanatómusok Nemzetközi Szövetségének (IAWA). A Faanyagtudományi Intézet vezetőjeként a 2007-ben felfedezett bükkábrányi ősfák maradványainak vizsgálatait végezte kollégáival (Fehér et al. 2008).

A faanatómia területén több doktori dolgozat is született (Fehér 2003; Paukó 2003; Komán 2012; Antalfi 2015; Báder 2021). E tudományterület minden bizonnyal a jövőben is doktori kutatások tárgyául szolgál.

*Bükkábrányi ősfá lelet  
(Fotó: Molnár Sándor, 2007)*



*Ősfá metszet (Fotó: Antalfi Eszter, 2015)*

## Irodalom

- Antalfi E. 2015: Bükkábrányi fosszilis leletek fajaj azonosítása és a Cupressaceae család egyes fajainak dendroklimatológiai vizsgálata. Doktori (PhD) értekezés. Nyugat-magyarországi Egyetem, Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola.
- Babos K., Filló Z. & Somkuti E. 1979: Haszonfák. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 315 o.
- Báder M. 2021: A természetes faanyag tulajdonságainak módosítása termo-hidromechanikus és vegyi eljárásokkal. Doktori (Ph.D.) értekezés. Soproni Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola.
- Bailey I. W. 1938: Cell wall structure of higher plants. *Industrial & Engineering Chemistry* 30(1): 40–47
- Bailey I. W. 1939: The microfibrillar and microcapillary structure of the cell wall. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 66: 201–13.
- Bailey I.W. 1958: Need for a broadened outlook in cell wall terminologies. *Phytomorphology*, 7: 136–38.
- Bartha D. 2022: Gencsi László (1924–2022). *Botanikai Közlemények* 109(1): 1–6.
- Butterfield B. G., Meylan B. A., & Peszlen I. 1997: A fatest háromdimenziós szerkezete. *Faipari Tudományos Alapítvány*, Budapest. 148 o.
- Csáky K. 2003: Híres selmecbányai tanárok. *Lilium Aurum*, Dunaszerdahely, 218 o. ISBN 80-8062-166-7
- Fehér D, & Mágocsy-Dietz S. 1929: Erdészeti növénytan I–III., Sopron, 1929–1935.
- Fehér S. 2003: Mechanikai sebzések hatása az ezüst hárs (*Tilia argentea* Desf.) és a szürke nyár (*Populus x canescens* (Ait.) Smith) anatómiai, fizikai és mechanikai tulajdonságaira. Doktori (Ph.D.) értekezés. Nyugat-Magyarországi Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola.
- Fehér S., Antalfi E., Börcsök Z. & Molnár S. 2008: A bükkábrányi ősfák anatómiai és sűrűségi vizsgálata, *Faipar*. LVI:9–15.
- Filló Z. 1962a: Hazai rezgőnyárok és természetes nyárok kvantitatív xylotómiai vizsgálata. *Faipari Kutatások*. *Faipari Kutató Intézet* Budapest, 1:3–33.
- Filló Z. 1962b: A cserfa (*Quercus Cerris*) anatómiai vizsgálata. *Faipari Kutatások*. *Faipari Kutató Intézet*, Budapest, 2:145–168.
- Filló Z. 1964a: A fehér fűz (*Salix Alba*) anatómiai vizsgálata. *Faipari Kutatások*. *Faipari Kutató Intézet*, Budapest. 2:289–319.
- Filló Z. 1964b: Vizsgálatok a Bálványfa (*Ailanthus Glandulosa*) ipari felhasználhatóságával kapcsolatban. *Faipari Kutatások*. *Faipari Kutató Intézet*, Budapest. 1: 223–258.
- Fromm J. 2013: Cellular aspects of wood formation. Springer Berlin, Heidelberg, 260 o.
- Gencsi L. & Kricsfalvi V. 1950: Erdészeti növénytan az erdészeti technikumok I. osztálya számára. (ideiglenes tankönyv) *Földművelésügyi Minisztérium szakoktatási főosztálya*, Budapest, 238 o.
- Gencsi L. 1950: Erdészeti növénytan I. Általános növénytan. (kézirat, Fehér D. egyetemi ny. e. tanár előadásai alapján) *Agrártudományi Egyetem Tanulmányi Osztály*, Sopron, 100+74 o.
- Gencsi L. 1950: Erdészeti növénytan II. Növényrendszertan. (kézirat gyanánt, Fehér D. egyetemi ny. e. tanár előadásai alapján) *Műszaki Egyetem Tanulmányi Osztály*, Sopron, 123 o.
- Gencsi L. 1967: A szöveti felépítés változása az erdefenyő fatörzsének különböző részeiben. *Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei* 1–2: 95–119.

- Gencsi L. 1969a: Fahatározó: a fontosabb erdei fafajaink meghatározása a fatestük szerkezetéből folyó tulajdonságaik alapján. (egyetemi jegyzet) Erdészeti és Faipari Egyetem Erdőmérnöki Kar, Sopron, 26 o.
- Gencsi L. 1969b: Az anatómiai jellemzők átlagos értékeinek változása az erdeifenyő fatörzsének hosszában. Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei 2: 33–46.
- Gencsi L. 1972: Faipari növénytan. (egyetemi jegyzet) Erdészeti és Faipari Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron, 236 o.
- Gencsi L. 1973: Az erdeifenyő klónok összehasonlító anatómiai vizsgálata. Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei 3: 55–72.
- Gencsi L. 1980: Erdészeti növénytan, I. kötet: Növényszervezetten, növényélettan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 367 o.
- Gencsi L., & Vancsura R. 1992: Dendrológia. Erdészeti növénytan II. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 728 o.
- Greguss P. 1956: Az élő nyitvatermők xylotómiája. Akadémiai doktori disszertáció (Kéziratban).
- Hill J. 1770: The construction of timber. Printed for the author by Baldwin R., Ridley J., Nourse J., Becket T., Elmsly P., Campbell J., & Davies T.
- Hollendonner F. 1913: A fenyőfélék fájának összehasonlító szövettana. Országos Erdészeti Egyesület Budapest, 187 o.
- Hook R. 1667: Micrographia: or some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses: with observations and inquiries thereupon. London.
- Komán Sz. 2012: Nemesnyár-fajták korszerű ipari és energetikai hasznosítását befolyásoló faanatómiai és fizikai jellemzők. Doktori (Ph.D.) értekezés. Nyugat-Magyarországi Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola.
- Kovács I. 1979: Faanyagismerettan. Budapest.
- Kövessi F. 1907: Vezérfonal az erdészeti főiskolán a növénytan-anatómia gyakorlatok végzéséhez. 1-11. rész. Joerges, Selmecbánya.
- Kövessi F. 1908: Fák anatómiája és fiziológiája. Könyomat, Selmecbánya, 182 o.
- Kövessi F. 1910: Növénytan 2. Növényrendszertan. Könyomat, Selmecbánya, 565 o.
- Leeuwenhoek A. 1722: Opera omnia sive arcana naturae. Lejda.
- Liese J. 1950: Handbuch der Holzkonservierung. Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg.
- Malpighi M. 1675: Anatomie Plantarum. Regiae Societati, Londini ad Scientiam Naturalem promovendam institutae, dicata. 82 o.
- Mohl H. 1851: Grundzüge der Anatomie und Physiologie der vegetabilischen Zelle. Braunschweig, F. Vieweg und Sohn.
- Molnár S. 1998: Török Béla élete és munkássága. Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar, Sopron.
- Molnár S. 1999: Faanyagismeret. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 471 o.
- Molnár S. & Bariska M. 2002: Magyarország ipari fái. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 210 o.
- Molnár S., Peszlen I. & Paukó 2007: A Faanatómia Budapest, Magyarország: Szaktudás Kiadó, 224 o.
- Molnár S., Farkas P., Börcsök Z. & Zoltán Gy. 2016: Földünk ipari fái. ERFARET Nonprofit Kft., Sopron, 616 o.
- Nehemiah G. 1682: The Anatomy of Plants. London
- Paukó A. 2003: Lucfenyő és erdeifenyő ültetvények faanyagminőségének összehasonlító vizsgálata. Doktori (Ph.D.) értekezés. Nyugat-Magyarországi Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola.



- Peszlen I. 1993: Influence of site, clove, age and growth rate on wood properties of *Populus euramericana* clones. Dissertation, Virginia, Polytechnic Institute and State University.
- Peszlen I. & Molnár S. 1996: Magyar nyárklónok fatechnológiai tulajdonságai. *Bútor és Faipar*, II. (11-12): 26–28.
- Sokoloff D. D., Jura-Morawiec J., Zori, L. & Fay M. F. 2021: Plant anatomy: at the heart of modern botany, *Botanical Journal of the Linnean Society*. 195(3): 249–253.
- Tóth S. 2011: Lámfalussy Sándor. Faipari Tudományos Egyesület, Sopron, 28 o.
- Török B. 1929a: A fa mechanikai technológiai vizsgálatának erdőgazdasági jelentősége. *Erdészeti Kísérletek*, 166–176.
- Török B. 1929b: A favizsgálatok szabványosításának kérdéséhez. – *Erdészeti Kísérletek*, 22–25.
- Török B. 1933: Összehasonlító vizsgálatok a lucfenyő anatómiai szerkezete és műszaki minősége közötti összefüggések megállapítására. *Erdészeti Kísérletek*, 228–281.
- Tuzson J. 1898: A fák anatómiai szerkezetéről. *Erdészeti Lapok Budapest*. 37(6).
- Tuzson J. 1907: A növények belső szerkezete. – A növényország rendszere áttekintése. In: Entz, Géza & Mágócsy-Dietz S. (eds.) *Az élők világa: növény- és állatország. A műveltség könyvtára* (5). Athenaeum, Budapest.
- Vadas J. 1911: „Az akácfa monográfiája”. Országos Erdészeti Egyesület. Budapest.

## **Wood Anatomy**

Anatomy is one of the oldest branches of botany, wood anatomy forming a special area of it. Studies on the macroscopic structure of timber dating from ancient times have been found, but the significant development of the science came with the invention of the microscope. As a result, the foundations of wood anatomy and wood biology were laid down in the 17th and 18th centuries. As the microscope technique perfected itself, several new findings and increasingly detailed materials were published. At present, too, many scientists all over the world contribute to elaborating wood anatomy, and the continued development of methodologies will further broaden this branch of science. The education of wood anatomy is closely linked to that of forest botany, which had already acquired an increasingly important role in the training of forestry engineers that had begun at Selmechánya (present day Banská Štiavnica, Slovakia). Wood anatomy became a subject in its own right in the training of wood technology engineers, laying the foundations of further branches of science linked to wood utilization and processing. Parallel to education, researches in the field of wood anatomy were not only conducted at the university, but in research institutes established for this purpose. Initially, a significant part of the researches targeted the histological determination of wood species, gradually complemented by correlations between their anatomical features and uses. In connection with cross breeding of cultivars, wood anatomical researches are conducted to explore characteristics of new clones, identify archeological findings, supplemented by using molecular techniques and DNA markers.

# FAANYAGVIZSGÁLATOK

## Klasszikus (roncsolásos) anyagvizsgálatok

Komán Szabolcs, Fehér Sándor és Németh Róbert

### Bevezetés

A faanyagok fizikai-mechanikai tulajdonságainak ismerete nagy jelentőségű a fa- és fa alapú anyagok gyártásához, feldolgozásához és megfelelő felhasználásához. A modern gyártási folyamatok és a számítógéppel támogatott gyártás fejlesztése és alkalmazása is átfogó ismereteket igényel a fa- és fa alapú anyagok fizikai-mechanikai tulajdonságairól. A fa természetes jellege miatt számos különleges tulajdonságát kell figyelembe venni más anyagokhoz, mint például az acélhoz vagy a betonhoz képest. Ilyen például faanyag rugalmassága, inhomogenitása, anizotrópiája és higroszkópikus viselkedése. Az összes tulajdonság a fa nedvességétől, hőmérsékletétől és a vizsgálatok (pl. terhelés) időtartamától is függ. A faanyagvizsgálatoknál napjainkban már szinte az összes klasszikus anyagtudományi kutatási módszert alkalmazzák (nanoindentáció, atomerőmikroszkópia, mechanikai tesztelés elektronmikroszkópban, spektroszkópia (pl. IR, NIR, FTIR, RAMAN)), beleértve a fizikai és mechanikai tulajdonságokkal való összefüggések feltárását (Mai et al. 2021).

### A faanyagvizsgálatok fejlődése

Az első tudományos megközelítések a fa fizikai-mechanikai tulajdonságainak jellemzésére többek között Henri Louis Duhamel du Monceau (1700–1782) és Georges-Louis Leclerc de Buffon (1707–1788) nevéhez köthetők. Ők már leírták a fa sűrűsége és szilárdsága közötti összefüggést (Köstler et al. 1960). Különösen említést érdemelnek Georg Ludwig Hartig (1764–1837) és Heinrich Cotta (1763–1844) munkái, amelyek a szilárdsági tulajdonságokra összpontosítottak. Mindezekre a munkákra építve Karl Karmarsch 1837-ben publikált egy áttekintést a fa tulajdonságairól és feldolgozásáról (technológiájáról) a „Handbuch der Mechanischen Technologie” című könyvében (Karmarsch 1851). A 18. század elejétől a faanyag szilárdságával kapcsolatos kutatások eredményei a még kiforratlan módszerek miatt ellentmondásosak és kevésbé kielégítőek voltak. 1848-ban Chevandier és Wertheim közzétett vizsgálata volt az első eset, amely viszonylag jó leírást adott a tesztelt anyagról és a vizsgálatról. A faanyagvizsgálat modern kutatásainak nagy része H. Nördlinger munkájára épül, aki kutatási eredményeit 1860-ban publikálta. Bauschinger közleményeiben (1883, 1887) erdei- és lucfenyő vizsgálatait mutatta be, abból a szempontból, hogy meghatározza az erdőviszonyoknak és a kivágás időpontjának a faanyag szilárdságára gyakorolt hatását. Megállapítja például, hogy azonos átmérőjű, azonos korú, azonos növekedési ütemű lucfenyő vagy erdeifenyő, azonos nedvességtartalom mellett, ugyanolyan

mechanikai tulajdonságokkal rendelkezik. Amerikában az 1890-es években már több faja-  
jon, nagy darabszámmal végzett kísérletek zajlottak, amelyek célja elsősorban nem a végső  
következtetések levonását, hanem a kutatási irányok kijelölését szolgálta. Itt már olyan szil-  
árdsági jellemzők meghatározása történt, mint a nyomószilárdság, nyírószilárdság vagy a  
hajlítószilárdság. Az eredményeket pedig már 12%-os nedvességtartalomra vonatkoztatták.  
Vizsgálták, hogy a nagyobb keresztmetszetű mintákból kivágott próbatestek szilárdsága  
mennyire feleltethető meg az eredeti méretnek.

Az idő előre haladtával a faanyagtudomány számos eleme került kifejlesztésre, de  
egységbe fogva azért nem alakult ki, mert a kutatás többé-kevésbé az erdőgazdálkodás-  
ra vagy az erdőhasznosításra összpontosult. A faanyagtudomány témaköréről szóló első  
összefoglalókat Franz Kollmann (1906–1987) mutatta be 1936-ban (Kollmann 1936),  
majd Reinhard Trendelenburg (1907–1941) 1939-ben (Trendelenburg 1939), amely kap-  
csán említést érdemel még Leopold Vorreiter (1904–1984) 1949-ben megjelent mun-  
kája is (Vorreiter 1949). Az Amerikai Egyesült Államokban Luxford és Trayer írásában  
a „Wood Handbook” először 1935-ben jelent meg. A fejlődéshez lényegében minden  
földrész a maga módján hozzájárult.

### **Faanyagtudományi oktatás és kutatás**

Hazánkban a soproni főiskola vezető tanáráként Krippel Móricz már kiépített egy  
favizsgálati laboratóriumot (Csáky 2003). Miután a Főiskola átköltözött Sopronba,  
1923-ban megalakult a Fatechnológia Tanszék, amelynek első vezetője szintén Krippel  
Móricz professzor volt (1923–1938), aki egyúttal vezette az Erdőhasználati Tanszéket is.  
Csekefalvi dr. Vitéz Török Béla végezte az első egzakt műszaki vizsgálatokat a fatech-  
nológia terén. 1926-ban átvette a Fatechnológia oktatását, és látva e területen a jelentős  
hazai elmaradást, külföldön képezte magát tovább. Először Berlin-Dahlemben, az Álla-  
mi Anyagvizsgáló Intézetben, majd a Stuttgarteri Műegyetemen dolgozott egy-egy évet.  
A fatermesztés, a faanyagminőség és a fafeldolgozás összefüggéseinek együttes vizsgálatát  
tartotta szem előtt. A „Magyar Alpok (Soproni és Kőszegi hegységek) és a Bükk hegység  
lucfenyő állományainak erdőhasználati értéke” címmel írt doktori értekezésében vizsgál-  
ja az alaki, a szöveti és a fizikai-mechanikai tulajdonságokat, valamint ezek összefüggé-  
seit. A Német Anyagvizsgálók Szövetsége felé azzal a javaslattal élt, hogy a faanyagviz-  
gálatoknál a próbatestek kivételének helye ne abszolút értékben, hanem a törzs százalékos  
arányában legyen meghatározva (Molnár 1988).

Bokor Rezső (1935–1938) erdész talajbiológus a soproni Bánya- és Erdőmérnöki Főis-  
kola Erdőhasználati és Fatechnológiai Tanszékének tanszékvezető-helyettesként dol-  
gozott, majd pedig a szervezeti egység rendes tanára, tanszékvezetője (1938–1944) lett.  
Fatechnológiai munkásságának csúcspontján fűrészüzemek tervezésével, majd pedig faanyag-  
védelemmel foglalkozott. Kutatásai révén bebizonyította, hogy a házigomba nem csak  
az ún. beteg faanyagon telepedik meg, hanem az egészséges faanyagot is megtámadja  
(Bokor 1954). Már akkor felismerte és terjesztette, hogy a „jövő nyersanyaga a faanyag”  
(Bokor 1950).



*Csekefalvi dr. Vitéz Török Béla szobrának koszorúzása. Molnár Sándor professzor előadása a faanyagtudomány történetéről a hallgatóknak (Fotó: Komán Szabolcs, 2011)*

Hazánkban Pallay Nándor (1903–1983) tevékenysége emelkedett még ki ezen a tudományterületen. Többek között foglalkozott a különböző fafajok szilárdsági vizsgálatával, a zsugorodás-dagadás kérdéseivel, a fa mechanikai tulajdonságainak javításával, és a nedvességtartalom hatásával. Jelentős eredménye a nemzetközileg elterjedt Janka keménységmérés hibájának feltárása a sűrűség függvényében; ez alapján egy új mérési módszer bevezetését szorgalmazta. Az általa kifejlesztett keménységvizsgálati eljárás Krippel-Pallay módszerként lett ismert (Pallay 1937, 1938, 1939). Akadémia doktori értekezésre benyújtott (1955a) a „Magyarországi vörösfenyők műszaki tulajdonságai” című munkájában, hazánkban először végzett az egész országra kiterjedő kísérletsorozatot. Az Erdészeti Tudományos Intézet első 5 éves kutatási tervébe beépített vizsgálatok Sopronban, a Kohómérnöki Kar Anyagvizsgáló Intézetében kezdődtek és az Erdőmérnöki Főiskola Fatechnológiai Tanszékén folytatódtak (Pallay 1955b).

Kovács Illés a Fatechnológia tanszék vezetését 1959-ben vette át és vezette azt 1984-ig. Mint jó szakember 1979-ben megírta a Faanyagismerettan című könyvet, de az igazi szakterülete a fűrészipar volt (Kovács 1952, 1974). Hargitai László vezetésével a Fatechnológia Intézetben elsősorban a különböző termőhelyeken nőtt hazai lombos és fenyő anyagok fatermési adatainak és a faminőség kapcsolatának feltárását vizsgálták. Az 1986-ban létrehozott Faanyagtudományi Kutatócsoport pedig már szisztematikus kutatásokat végzett a hazai ültetvényes fafajok, elsősorban a fehér akác és a nyárok, fizikai-mechanikai tulajdonságainak és a termőhely, ill. kezelési módok kapcsolatrendszerének feltárására. Az akác faanyag gőzölésére vonatkozóan már az 1980-as években kiemelkedő eredmények születtek itt.

Az 1988-ban megalakult Faanyagismerettan Tanszéken Molnár Sándor vezetésével az 1990-es években jelentős fejlesztések történtek korszerű anyagvizsgáló berendezések beszerzésével, amelynek eredményeként 1998-tól a Faanyagtudományi Intézet nevet vette fel. A kezdetben fizika-mechanikai és anatómiai vizsgálatok jelentősen kibővültek. A faanyagvizsgálat terén új kutatási területek pl. a faanyagok modifikálása, biotikus és abiotikus károsítókkal szembeni ellenálló képesség vizsgálata, trópusi faanyagismeret, fa-víz

kapcsolatok jelentek meg. Hazánkban elsőként foglalkoztak a nyárfák faminőségének és az erdei vadkárok kapcsolatával, ill. nemzetközi szinten is elsőként jellemezték a nyárfák reakciófáját, ill. tárták fel annak ipari jelentőségét (Németh 2012).

A Faanyagtudományi intézetben jelentős akáckutatások is folytak. Egyik komplex, EU-támogatott nemzetközi projekt kutatási jelentésében számos új eredményt adtak közre (Németh et al. 2000). Molnár Sándor professzor szerkesztésében 2000-ben kiadásra került a Faipari Kézikönyv I. című mű, ami a faanyagok számos tulajdonságát leírja (Molnár et al. 2000). A Faipari Kézikönyv II. (2002) és III. (2003) kötetei technológiai és gépészeti kérdésekkel foglalkoznak, amely kiadványok megjelenítésében is pótolhatatlan tevékenysége volt Molnár Sándornak. Az álszeszes bükk faanyaggal kapcsolatban szintén komoly nemzetközi szintű munkát végzett az intézet. Az OMMF által is támogatott projekt eredményeit az ipar is hasznosította (Molnár et al. 2001). Későbbi EU CRAFT kutatás eredményeit pedig egy nemzetközi együttműködésben írt kézikönyvben tették közzé (Seeling et al. 2007). Előbbi mű az anyagtulajdonságoktól kezdve a szárítás, gőzölés, RR-tartók, termékfejlesztés (dizájn) témakörökben folyt kooperatív kutatómunkát összegzi. Az erdőgazdálkodási és faipari kutatások összekapcsolódásának egyik jó példája Molnár et al. (2002) munkája, mely fehérnyár hibridek faanyagminőségének javítási kérdéseivel foglalkozik. Az intézet cser fafajjal is kiemelten foglalkozott, ill. foglalkozik. Molnár et al. (2006) többek között a gőzölési kísérletek eredményeit is bemutatta.

Molnár Sándor professzor 2003-ban ismerte föl, hogy a jövő faanyaga a lombos fa, ezért még ebben az évben életre hívta a Lombosfa Konferenciát Sopronban, amely azóta már 10 alkalommal került megrendezésre. A konferencia szervezése Németh Róbert professzor általi továbbvitelével, világméretűvé nőtte ki magát, amely keretein belül két-évente találkoznak a téma szaktekintélyei. Mára a Lombosfa Konferencia (Hardwood Conference) kiadványát a WoS adatbázis is jegyzi.



*A X. Hardwood Conference résztvevői a Soproni Egyetem kampuszán (Fotó: Anon., 2022)*

Az 1990-es évek közepétől több kutatás foglalkozott a faanyagok magas nyomású közegben történő gőzölésével Németh Róbert vezetésével, amelynek részét képezték többek között a folyadék- és gázáteresztő képességi, valamint szorpciós vizsgálatok. A fa-víz kapcsolatok kutatási területének fejlesztése jól megalapozta a szárítással kapcsolatos későbbi kutatási feladatok sikerességét. Emellett e területeken szerzett tapasztalat hozta magával a hordógyártáshoz használt alapanyagok vizsgálatát is. Németh (1998a) vizsgálta pl. a gőzölés hatását az akác faanyag párafeltevő képességére vonatkozóan, valamint foglalkozott a hengeres faanyagok vízvesztési kérdéseivel is (1998b). A hazai lombosok juvenilis faanyaga tulajdonságainak vizsgálatára egy OTKA kutatás is indult, amelynek eredményeit 2008-ban kerültek közlésre (Németh et al.) Szintén OTKA kutatás keretében képezték vizsgálat tárgyát a gyors növekedésű akác fajták anyagtulajdonságai (Németh 2008). A Faanyagtudományi Intézet kutatásai egyre erősödtek a faanyagok különböző módosítási eljárásainak terén, ideértve a szárítást, a gőzölést, a termikus és vegyi kezeléseket. Ez utóbbi területekkel részletesen e könyvben a Faanyagok szárítása és modifikálása c. fejezet foglalkozik.

Egy rövid ideig, 2010-2011 között Csupor Károlyt nevezték ki a Faanyagtudományi Intézet élére. Csupor docens úr főleg faanyagvédelem területén jeleskedett (Csupor 2003). Németh Róbert professzor 2011-től 2021-ig töltötte be a Faanyagtudományi Intézet igazgatói pozíciót. Szakmai tevékenységét a szárítás és azzal kapcsolatos kutatások, valamint a faanyag modifikációs eljárásai területén jegyzett publikációk fémjelzik.

Az intézeti kutatások sikeréhez jelentősen hozzájárult a technológia, a fizika és a kémia területével folytatott kooperáció. Tolvaj László és Takáts Péter professzorokkal való együttműködésében számos publikáció született, ill. több rangos nemzetközi tudományos szervezetben voltak közös tagságok (Tolvaj et al. 2005, 2006, 2008; Németh et al. 2004; Molnár et al. 2006). A Kémia és Fizika Intézetekkel folytatott kooperáció további eredménye a bükkfa gőzölésekor keletkező kondenzvíz elemzése, kezelése és hasznosítása (Németh et al. 2007).

Az intézet kutatási területe napjainkban is igen széleskörű. Az ültetvényes faanyagok vizsgálatával (Komán 2012; Komán et al. 2017; Komán 2018; Komán & Fehér 2020; Báder et al. 2022; Báder et al. 2023; Komán 2023) éppúgy foglalkoznak, mint az általános faanyagvizsgálatokkal (Lendvai et al. 2022; Sajdik et al. 2022; Ghavidel et al. 2020; Ghavidel et al. 2021a-b-c; Ghavidel et al. 2023; Lykidis et al. 2023) vagy a faanyag felhasználással (Horváth et al. 2023a; Horváth et al. 2023b). A faanyag modifikációjának témakörében a rostirányú tömörítés (Báder 2015; Báder & Németh 2018; Báder & Németh 2019; Báder et al. 2019; Báder et al. 2020; Báder & Németh 2023), a növényi olajokban való hőkezelés (Bak és Németh 2012; Németh et al. 2016), a viasz alapú telítő eljárások (Németh et al. 2015), az acetilezés (Fodor et al. 2022a-b; Fodor és Bak 2023), vagy nanorendszerekkel (Lykidis et al. 2016; Bak et al. 2018; Bak és Németh 2018; Bak et al. 2022; Bak et al. 2023) kapcsolatos kutatásokat is megtaláljuk.

Az erdőgazdaságokkal karöltve jelentős kutatásokat történtek az ún. „tövönzáradt” fák famínőségének feltárásával, ill. az ilyen faanyagok felhasználhatóságával kapcsolatban. Peszlen Ilona vezetésével OTKA kutatás keretében jelentős alapkutatási munka

történt a lombos faanyagok juvenilis, vagyis fiatal kori faanyagának vizsgálatával kapcsolatban, nemzetközi kooperáció keretében pedig közreműködésével jelent meg a világon elsőként a fatest háromdimenziós szerkezetét bemutató tudományos, szakmai könyv (Butterfield et al. 1997).

Komán Szabolcs, Molnár Sándor, Varga Ferencné, Szalai László (2007) szabadalmaztatott módszert dolgozott ki az ún. sarangolt ipari faválasztékok mennyiségének meghatározására, amely többek között az erdőgazdaságok és erőművek „atrosúly” szerinti faanyag átvételének segítségéül szolgál. A kamerákkal működő rendszer első lépésben a faanyag térfogatát határozza meg, majd a nedvességtartalom mérést követően kiszámításra kerül a szállítmány szárazanyag tartalma.



*A Faimei bemutatása 2005-ben az Egyetemen (Fotó: Anon.)*

A második világháború után megalakultak az államosított ipart támogató új ipari kutatóintézetek. 1949-ben alapították a Faanyagvizsgáló és Fagazdasági Intézetet, amelynek utódja **Faipari Kutató Intézet** néven 1951-től működött. Kutatóinak zömét először erdőmérnökök, faipari technikusok, majd a Budapesti Műszaki Egyetemen végzett faipari szakos gépészmérnökök alkották. A soproni faipari mérnökképzés elindulásáig a faipari kutatási források címzettje kizárólag az Intézet volt. 1997-es megszűnéséig a munkák fokozatosan Sopronba, az egyetemre kerültek át (<http://selmeckincse.hu/>). Az Intézetben folyó kutatások a fa mint alapanyag vizsgálatától, a fanemesítési eljárásokon át, egészen a fahulladékokig, rendkívül széles skálán mozogtak.

Az 1952-ben alapított Faipari Minőségellenőrző Intézet (FAIMEI) intézet feladata elsősorban a könnyűiparhoz tartozó bútór- és faipari üzemek gyártástechnológiájának, a gyártmányok, továbbá a felhasználásra kerülő alap- és segédanyagok minőségének rendszeres ellenőrzése volt. Az 1980-as évekre az intézetnek nemzetközi mérce szerint is kiemelkedő műszerparkja lett. A faipari anyagvizsgálatok körébe tartoztak a faipar által előállított fa alapú nyersanyagok, valamint a faipar által felhasznált legjellemzőbb alapanyagok vizsgálatai. Az 1990-es évektől magán kft-ként működött, tevékenységét 2005-ben átvette a Nyugat-Magyarországi Egyetem (Tóth 2001). A faanyagvizsgálatok fokozatos Sopronba kerülésével a Faipari Mérnöki Karon folytatódtak tovább a kutatások a kar különböző intézeteiben.

2012-ben a Nyugat-magyarországi Egyetemen létrejött a Központi Vizsgálólaboratórium (KVL), amelynek részlegei az Anyagvizsgáló és Faanyagvédelmi Laboratórium, a Kompozit és Félkésztermék-vizsgáló Laboratórium, valamint a Termékvizsgáló Laboratórium. A Laboratórium szabványos vizsgálatokat végez többek között a faanyagok, fa tartószerkezetek, faalapú lemezek, faanyagvédelem, tűzvédelem, bútortestvizsgálatok területén. Tevékenységi köré közé tartozik még a vasúti faaljak vizsgálata, amelyek beépítése hazánkban csak az általa kiállított jegyzőkönyv meglétével lehetséges.

A faanyaggal kapcsolatos vizsgálatok továbbra is a kutatások fókuszában vannak, és a jövőben is fontos kutatási terület lesz. A Soproni Egyetemen és a budapesti Faipari Kutató Intézetben folytatott kutatások jól beágyazódtak a nemzetközi irányvonalakba. Lombos faanyagok kutatása területén kifejezetten iránymutató, meghatározó volt a magyar teljesítmény, és ma is nemzetközileg elismert eredményeket tesz le az asztalra a soproni műhely. A faanyaggal kapcsolatos kutatások jövőjét meghatározza az új faalapú termékek iránti igény, az új fafajták, esetleg fafajok feldolgozási láncba vonása, a klímaváltozás hatásai, hogy csak néhány hajtóerőt említsünk. A műszerpark fejlődésével már önmagában sok érdekes új kutatási eredmény lát majd napvilágot, pl. a sejtfal szubmikroszkópos/makromolekuláris felépítéséről. A fában, mint élőlényben fellelhető biológiai optimalizációs megoldások a szerkezetfejlesztő (mikro és makro)



*Talpfa minősítési jelének beütése –  
a vizsgálatot Dr. Fehér Sándor végzi  
(Fotó: Komán Szabolcs, 2021)*



mérnökök számára nyújtanak ma is, és a jövőben is értékes támpontokat (biomimikri). A különböző kutatások, fejlesztések nem nélkülözhetik a kémia, mint tudományterület egyre intenzívebb bevonását, a fejlődő kooperációt.

## Irodalom

- Báder M. 2015: Practical issues of longitudinally compressed wood - Part 3: Mechanical properties and areas of application of compressed wood (Faanyag rostirányú tömörítésével kapcsolatos elméleti és gyakorlati kérdések áttekintése - 3. rész: A tömörített fa mechanikai tulajdonságai, felhasználási lehetőségei). *Faipar*, 63, 52–65.
- Báder M. & Németh R. 2018: The effect of the relaxation time on the mechanical properties of longitudinally compressed wood. *Wood Res*, 63, 383–398.
- Báder M. & Németh R. 2019: Moisture-dependent mechanical properties of longitudinally compressed wood. *Eur. J. Wood Prod.*, 77, 1009–1019.
- Báder M., Németh R. & Konnerth J. 2019: Micromechanical properties of longitudinally compressed wood. *Eur J Wood Prod*, 77, 11, DOI: 10.1007/s00107-019-01392-0.
- Báder M., Németh, R., Sandak J. & Sandak A. 2020: FTIR analysis of chemical changes in wood induced by steaming and longitudinal compression. *Cellulose*, 27, 6811–6829.
- Báder M., Németh R., Vörös Á., Tóth Z. & Novotni A. 2020: The effect of agroforestry farming on wood quality and timber industry and its supportation by horizon. *Agroforest Syst*, 97(4): 587–603.
- Báder M. 2021: A természetes faanyag tulajdonságainak módosítása termo-hidromechanikus és vegyi eljárásokkal. Doktori (PhD) Értekezés, Soproni Egyetem.
- Báder M., Németh R., Benke A., Köbölkúti Z., Borovics A. & Takács D. 2022: Bending test results of plantation poplar clones. In 10th Hardwood Conference Proceedings; Németh R., Hansmann C., Rademacher P., Bak M. & Báder M. (eds.): *Hardwood Conference Proceedings*; University of Sopron Press: Sopron, Hungary, Vol. 10: 75–82.
- Báder M. & Németh R. 2023: A review of wood compression along the grain-after the 100th anniversary of pleating. *Forests*, 14, 763.
- Bak M. & Németh R. 2012: Changes in swelling properties and moisture uptake rate of Oil-Heat-Treated poplar (*Populus × euramericana* cv. Pannónia) wood. *Bioresources* 7(4): 5128–5137.
- Bak M., Molnár F. & Németh R. 2018: Improvement of dimensional stability of wood by silica nanoparticles. *Wood material science and engineering* 14(1): 48–58.
- Bak M. & Németh R. 2018: Effect of different nanoparticle treatments on the decay resistance of wood. *Bioresources* 13: 4 7886–7899.
- Bak M., Molnár F., Rákosa R., Németh Zs. & Németh R. 2022: Dimensional stabilization of wood by microporous silica aerogel using in-situ polymerization. *Wood science and technology* 56(5): 1353–1375.
- Bak M., Takács D., Rákosa R., Németh Zs.I. & Németh R. 2023: One-step process for the fabrication of hydrophobic and dimensional stable wood using functionalized silica nanoparticles. *Forests* 14(3): 651
- Bokor R. 1950: A fa, mint a jövő ipari nyersanyaga. *Erdészeti Lapok*.
- Bokor R. 1954: Adatok a házigomba fertőzésének kérdésének kérdéséhez. *Erdészeti Kísérletek*.
- Boronkai L. (ed). 2003: *Faipari kézikönyv III. Faipari Tudományos Alapítvány*, Sopron. 365 o.

- Butterfield B. G., Meylan B. A., & Peszlen I. 1997: A fatest háromdimenziós szerkezete. Faipari Tudományos Alapítvány, Budapest. 148 p.
- Carsten M., Uwe S., & Niemz P. 2022: A brief overview on the development of wood research. *Holzforschung*, vol. 76(2):102–119.
- Chevandier E. & Wertheim G. 1848: *Memoire Sur Les Proprietes Mecaniques Du Bois*. Kessinger Publishing.
- Csáky K. 2003: Híres selmecbányai tanárok. *Lilium Aurum*, Dunaszerdahely. ISBN 80-8062-166-7
- Csupor K. 2003: A faanyag károsodása és károsítói. In.: Németh L. *Faanyagok és faanyagvédelem az építőiparban*. 131–165.
- Fodor F., Bak M., Bidló A., Bolodár-V B. & Németh R. 2022a: Biological Durability of Acetylated Hornbeam Wood with Soil Contact in Hungary. *Forests* 13(7): 1003
- Fodor F., Bak M. & Németh R. 2022b: Photostability of Oil-Coated and Stain-Coated Acetylated Hornbeam Wood against Natural Weather and Artificial Aging. *Coatings* 12(6): 817
- Fodor F. & Bak M. 2023: Studying the wettability and bonding properties of acetylated hornbeam wood using pvac and pur adhesives. *Materials* 16(5): 2046
- Ghavidel A., Hofmann T., Bak M., Sandu I. & Vasilache V. 2020 Comparative archaeometric characterization of recent and historical oak (*Quercus* spp.) wood. *Wood science and technology* 54: 1121–1137.
- Ghavidel A., Bak M., Hofmann T., Vasilache V. & Sandu I. 2021a: Evaluation of some wood-water relations and chemometric characteristics of recent oak and archaeological oak wood (*Quercus robur*) with archaeometric value. *Journal of cultural heritage* 51 21–28.
- Ghavidel A., Bak M., Hofmann T., Hosseinpourpia R., Vasilache V. & Sandu I. 2021b: Comparison of chemical compositions in wood and bark of Persian silk tree (*Albizia julibrissin* Durazz.). *Wood material science and engineering* 1–12.
- Ghavidel A., Hosseinpourpia R., Gelbrich J., Bak M. & Sandu I. 2021c: Microstructural and chemical characteristics of archaeological white elm (*Ulmus laevis* P.) and poplar (*Populus* spp.). *Applied sciences-basel* 11(21) 10271
- Ghavidel A., Jorbandian A., Bak M., Gelbrich J., Morrell J. J., Sandu I. & Hosseinpourpia R. 2023: Degradation assessment of archaeological oak (*Quercus* spp.) buried under oxygen-limited condition. *Holzforschung* 77(3) 198–207.
- Horváth D., Fehér S. & Báder M. 2023: The potential of producing high added value structural timber from lamellae waste. *Classification and Visual Grading*. *Wood Res*, 68, 532–546.
- Horváth D., Fehér S. & Báder M. 2023: The potential of producing high added value structural timber from lamellae waste. *test results and analysis*. *Wood Res*, 68, 44–57.
- Karmarsch K. 1851: *Handbuch der mechanischen Technologie*. Hannover: Hellwingsche Hofbuchhandlung.
- Komán Sz., Molnár S., Varga F. & Szalai L. 2007: A sarangolt hengeres fa választékok (papírfa, rostfa, tűzifa) mennyiségének meghatározása fotoanalitikai módszerrel. *Szabadalmi Közlöny és Védjegyterjesztő* 2007/5.
- Komán Sz. 2012: Nemesnyár-fajták korszerű ipari és energetikai hasznosítását befolyásoló faanatómiai és fizikai jellemzők. Doktori (Ph.D.) értekezés. Nyugat-Magyarországi Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola.
- Komán Sz., Fehér S. & Vityi A. 2017: Physical and mechanical properties of paulownia tomentosa wood planted in Hungary. *Wood research* 62, 335–340.

- Komán Sz. 2018: Energy-related characteristics of poplars and black locust *Bioresources* 4323–4331.
- Koman Sz. & Feher S. 2020: Physical and mechanical properties of Paulownia clone in vitro 112. *European Journal Of Wood And Wood Products*.
- Komán Sz. 2023: Quality characteristics of the selected variant of paulownia tomentosa (robust4) wood cultivated in Hungary. *Maderas-ciencia y tecnologia* 25, 1–6.
- Kovács I. 1952: A keretfűrészek teljesítményének emelése és a minőségi kihozatal biztosítása a helyes előtolás szabályozásával. *Faipar*, 6. Budapest.
- Kovács I. 1974: A fűrészcsarnoki munka korszerű technológiája lombosfa-feldolgozás esetén. *Faipar*, 2. Budapest.
- Kovács I. 1979: *Faanyagismeret*. Budapest. 1979.
- Kollmann F. 1936: *Technologie des Holzes*. Berlin: Springer.
- Köstler J.N., Kollmann F. & Massov V. 1960: *Denkschrift zur Lage der Forstwirtschaft und Holzforschung*. Wiesbaden: Steiner.
- Lendvai Á., Németh R. & Báder M. 2022: Analysis of some anatomical features of field elm (*Ulmus Minor* Mill.). In 10th Hardwood Conference Proceedings; Németh R., Hansmann C., Rademacher P., Bak M. & Báder M. (eds); *Hardwood Conference Proceedings*; University of Sopron Press: Sopron, Hungary, Vol. 10: 130–133.
- Luxford R.F. & Trayer G.W. 1935: *Wood handbook, basic information on wood as a material of construction with data for its use in design and specifications*. U.S. Government Printing Office, Washington.
- Lykidis C., Bak M., Mantanis G. & Németh R. 2016: Biological resistance of pine wood treated with nano-sized zinc oxide and zinc borate against brown-rot fungi. *European journal of wood and wood products* 74(6) 909–911.
- Lykidis C., Bak M. & Mantanis G. 2023 Biological resistance of Phoenician juniper wood. *Wood material science and engineering* 1–5.
- Molnár S. 1988: Török Béla élete és munkássága. *Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar*. ISSN 1417-8885, ISBN 963 7180 67 2
- Molnár S., Fehér S., Varga F. & Németh R. 2000: A faanyag műszaki tulajdonságai. In: Molnár, S (ed.) *Faipari Kézikönyv I. Faipari Tudományos Alapítvány*, Sopron. 59–88.
- Molnár S., Németh R., Feher S., Tolvaj L., Papp Gy., Varga F. & Apostol T. 2001: Technical and technological properties of hungarian beech wood consider the red heart. *Drevarsky Vyskum* 46, 21–29.
- Molnár S., Németh R., Paukó A., Göbölös P. 2002: A fehérryár hibridek faanyagminőségének javítási lehetőségei. *Faipar* 50, 24–26.
- Molnár S., Tolvaj L. & Németh R. 2006: Holzqualität und Homogenisierung der Farbe von Zerreiche (*Quercus cerris* L.) mittels Dämpfprozess. *Holztechnologie* 47, 20–23.
- Molnárné P. P (ed). 2002: *Faipari kézikönyv II. Faipari Tudományos Alapítvány*, Sopron. 461 o.
- Németh R. 1998a: Effect of steaming on the sorption isotherms of black locust wood. *Acta Facultatis Ligniensis*. 64–68.
- Németh R. 1998b: Hengeres faanyagok száradása. *Faipar* 46, 30–31.
- Németh R., Feher S., Peszlen I., Babiak M, & Cunderlik S. 2000: Static and dynamic strength properties. Final report on the project activities. Technology for high quality products from black locust. Inco-Copernicus Project No. PL 96-4144; contract No. ERB IC15-CT 960713. Inco-Copernicus, Brussels: 1–15. ,5. o.

- Németh R., Takáts P., Molnár S. & Tolvaj L. 2004: Poplar (*populus*) and robinia (*Robinia pseudoacacia* L.) plantations in Hungary. In: COST E44 Conference 65–79.
- Németh R., Tolvaj L., Molnár S., Rétfalvi T. & Albert L. 2007: Steaming of beech wood, Colour homogenization and the management of waste water. PRO LIGNO 3, 59–68.
- Németh R., Ábrahám J. & Komán Sz. 2008: Lombos fák juvenilis fájának tulajdonságai, Faipar LVI. évf 2008/1
- Németh R. 2008: Fokozott fahozamú nemesített akácfaanyag fizikai, mechanikai és anatómiai jellemzőinek vizsgálata a termőhely függvényében. OTKA F046443 1–16.
- Németh R. 2012: A Faanyagtudományi Intézet kutatásai a Faipari Mérnöki Kar alapítása óta FAIPAR IX. évf. 2012/3. szám.
- Németh R., Tsalagkas D. & Bak M. 2015: Effect of soil contact on the modulus of elasticity of beeswax-impregnated wood. Bioresources 10(1): 1574–1586.
- Németh R., Tolvaj L., Bak M. & Alpar T. 2016: Colour stability of oil-heat treated black locust and poplar wood during short-term UV radiation. Journal of photochemistry and photobiology a-chemistry 287–292.
- Nördlinger H. 1860: Die technischen Eigenschaften der Hölzer. Stuttgart: Cottascher.
- Pallay N. 1937: A fakeménység vizsgálati módszerének kérdése. Anyagvizsgálók közlönye. 1937. szept.–okt. szám. 119138, 119–121.
- Pallay N. 1938: Über die Holzhärteprüfung. Holz als Roh-und Werkstoff. I. évf. január. 126–130.
- Pallay N. 1939: Ergänzende Angaben zum Holzhärte-Prüfverfahren. Holz als Roh-und Werkstoff, 2(2): 413–416
- Pallay N. 1955a: Magyarországi vörösfenyők műszaki tulajdonságai (Az 1955-ben készült kézirat változatlan kiadása). Soproni Egyetem, Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar. Lővér Print Nyomdaipari Kft., Sopron. ISBN:978-963-359-098-0
- Pallay N. 1955b: Fatechnológia – kézirat. Erdőmérnöki Főiskola, Erdőmérnöki Főiskola jegyzetei, Sopron. 91. o.
- Sajdik T., Fehér S. & Báder M. 2022: Analysis of some anatomical features of field elm (*Ulmus Minor* Mill.). In 10th Hardwood Conference Proceedings; Németh R., Hansmann C., Rademacher P., Bak M. & Báder, M. (eds); Hardwood Conference Proceedings; University of Sopron Press: Sopron, Hungary, Vol. 10.
- Seeling U., Ohnesorge D., Helzle C., Burgbacher C., Németh R., Tolvaj L., Teischinger A., Hansmann C., Mittelmalskogler H., Huber H., Oliver J.V., Abián M.A., Pons L. & Custodio R. 2007: Red Heartwood Handbook: Integrated concepts for processing European Beech (*Fagus sylvatica* L.) containing red heartwood. Valencia, Spain: Sorell Impresores, 48 o. ISBN: 8495077264.
- Tolvaj L., Molnár S., Németh R., Albert L., Rétfalvi T. & Varga D. 2005: Lombos faanyagok minőségjavítása hidrotérmikus kezeléssel. In: Molnár, Sándor (eds.) Erdő-fa hasznosítás Magyarországon: A nemzeti erdővagyon minőségi fejlesztésének és bővítésének, valamint a felhasználás korszerűsítésének programja keretében végzett kutató munka eredményei Sopron, Hungary : Nyugat-Magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar: 261–270.
- Tóth S.L. 2001: A fafeldolgozás 1945 után. Agroinform Kiadó és Nyomda Kft. Budapest
- Tolvaj L., Molnár S., Takáts P. & Németh R. 2006: A bükk (*Fagus sylvatica* L.) faanyag fehér- és színes gesztje színének változása a gőzölési idő és a hőmérséklet függvényében. Faipar 54, 15–20.

Tolvaj L., Molnár S., Németh R. & Nagy I. 2008: A gőzölt akác faanyag színének időjárás-állósága. *Faipar* 56, 39–42.

Trendelenburg R. 1939: *Das Holz als Rohstoff*. München: Hanser.

Vorreiter L. 1949: *Holztechnologisches Handbuch*. Wien: Fromme.

URL 1. <http://selmeckincse.hu/> (megtekintve 2023.09.02.)

### **Traditional (destructive) material tests**

Investigations related to wood are still the focus of research and will continue to be an important area of research in the future. The research carried out at the University of Sopron and the Wood Industry Research Institute (Budapest) is well embedded in international trends. In the field of hardwood research, the Hungarian performance was particularly pioneering and decisive, and the research groups in Sopron continue to present internationally recognized results. The future of wood-related research is determined by the demand for new wood-based products, the inclusion of new cultivars, possibly new wood species in the processing chain, the effects of climate change, to name just a few driving forces. With the development of the infrastructure, many interesting new research results will see the light of day, e.g. about the submicroscopic/macromolecular structure of the cell wall. The biological optimization solutions found in wood, as a living being, provide structural (micro and macro) engineers with valuable reference points (biomimicry) even today and in the future. The various researches and developments cannot do without the increasingly intensive involvement of chemistry as a field of science, the developing cooperation.

# RONCSOLÁSMENTES FAANYAGVIZSGÁLATOK

Bejő László

A roncsolásmentes faanyagvizsgálatok kutatásával érdemben az 1990-es években kezdtek foglalkozni Magyarországon, az akkori Erdészeti és Faipari Egyetemen. Divós Ferenc, az akkor nemrégiben az egyetemre került fiatal fizikus-kutató, több hallgató és doktorandusz bevonásával kezdett vizsgálatokat folytatni, melynek fókuszában eleinte a faanyag szilárdságbecslése, valamint akusztikus tulajdonságainak vizsgálata volt.

A kutatásokra hamarosan nemzetközi szinten is felfigyeltek; elsősorban az Egyesült Államokban, ahol már a XX. sz. eleje óta foglalkoztak roncsolásmentes vizsgálatokkal az élőfa, faanyag- és faszerkezet vizsgálatok területén, és az 50-es évek óta rendszeresen tartottak ebben a témában konferenciákat, eleinte elsősorban észak-amerikai résztvevőkkel, de hamarosan nemzetközi szinten is. Divós Ferenc és az egyetem több más munkatársa a '90-es évek eleje óta rendszeres résztvevője lett ezeknek a konferenciáknak, minden alkalommal jelentős új eredményekkel járulva hozzá a roncsolásmentes faanyagvizsgálati tudományterülethez.

## A faanyag vizsgálata akusztikus eljárásokkal

Az első roncsolásmentes faanyagvizsgálattal kapcsolatos kutatásokat még a '90-es évek legelején publikálták a hazai kutatók (Divós et al. 1991) Ennek fókuszában eleinte a faanyag szilárdságbecslése, valamint akusztikus tulajdonságainak vizsgálata volt (Divós 1992). A fűrészáruban keltett rezgések – pl. a hangterjedéshez szükséges longitudinális rezgés, vagy a két vagy több ponton alátámasztott darabok hajlítórengései – frekvenciáját közvetlenül az anyag rugalmassági modulusza határozza meg, ami pedig jellemzően jól korrelál a szilárdsági tulajdonságokkal. Így a hang terjedési sebességének a mérésével, vagy a sajátrezgési frekvencia meghatározásával következtethetünk a fa szilárdságára. A rezgések csillapodása szintén fontos információt hordoz az anyag minőségével kapcsolatban.

Nemzetközi szinten is nagy érdeklődést keltett a '90-es évek közepén a faanyag szilárdságbecslésének kérdése több becslő paraméter bevonásával. Ezen a területen jelentős eredmények születtek a Soproni Egyetemen is. A mérések során elsősorban a fa akusztikai tulajdonságait (hosszirányú és hajlító rezgések, csillapodás, stb.) vizsgálták, de más becslő paramétereket is felhasználtak (Divós & Tanaka 1997). Az eredmények alapján a fa szilárdsága nagy pontossággal becsülhető. Az ennek során elért eredmények a későbbiekben a PLG+ faanyag osztályozó berendezés kifejlesztésének az alapját képezték a Soproni Egyetem Bódi József Roncsolásmentes Faanyagvizsgáló Laboratóriumában.

A faanyag rezgésméréssel történő vizsgálatával a továbbiakban is sokat foglalkoztak a Soproni egyetemen. Vizsgálták többek között a hangsebesség mérés alkalmazását fahibák felderítésére (Divós et al. 2000), a faanyag statikus és dinamikus rugalmassági modulu-

szá közötti kapcsolatot (Divós & Tanaka 2005), illetve a változó keresztmetszet hatását a hang terjedési sebességére (Divós et al. 2005). Emellett a különböző ragasztott és faalapú anyagok vizsgálatával kapcsolatban is zajlott több kutatás, pl. a furnéralapú kompozitok alapanyaga (Ekkler et al. 1994, Láng et al. 2002), forgácslap illetve a rétegelt-ragasztott tartók (Garab et al. 2010) dinamikus tulajdonságainak vizsgálatával.

### **A faanyag vizsgálata más módszerekkel**

Míg a '90-es évek elején, a nemzetközi tendenciákhoz hasonlóan Magyarországon is elsősorban a faanyag dinamikus tulajdonságai álltak a roncsolásmentes faanyagvizsgálatok fókuszában, hamarosan több más területen is vizsgálatok kezdődtek. Az évek folyamán vizsgálatok folytak többek között a fa és faalapú anyagok érintésmentes sűrűségmérése, lézeres rostirány meghatározás, csavarállóság mérés, és az elektromos impedancia mérés alkalmazási lehetőségeivel kapcsolatban.

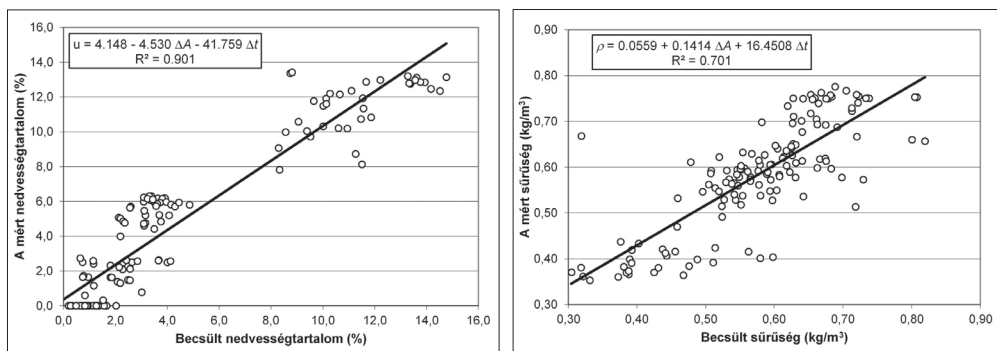
A faanyag sűrűsége és nedvességtartalma meghatározó fontosságú számos faipari alkalmazásban, és többek között hatással van a szilárdsági tulajdonságokra is. E tulajdonságok mérésére gyors és pontos lehetőséget biztosít a különböző hullámhosszúságú elektromágneses sugárzás elnyelésének vagy visszaverődésének a vizsgálata, amely nem csak a teljes fűrészáruról biztosít információt, de alkalmas a sűrűségeltérések feltérképezésére is a fűrészárun belül. Az egy anyagon belüli eltérések fontos információt hordoznak többek között az anyag anatómiai felépítése, teherbírása, rejtett fahibái tekintetében.

Minél kisebb hullámhosszú sugárzással dolgozunk, annál jobb felbontással tudjuk meghatározni a fa sűrűségprofilját. Sopronban több vizsgálat is folyt gammasugárzás alkalmazásával, amellyel nagy pontossággal sikerült becsülni a faanyag sűrűségét (Divós et al. 1996, Utassy & Divós 2011). Az infravörös sugárzás különösen alkalmas a nedvességtartalom becsülésére. A Bódig József Roncsolásmentes Faanyagvizsgáló Laboratóriumban kifejlesztett, NIR lézer diódákon alapuló eljárással nagy pontossággal ( $r^2 = 0,75 \dots 0,90$ ) becsülhető a különböző faanyagok nedvességtartalma (Divós et al. 2015).

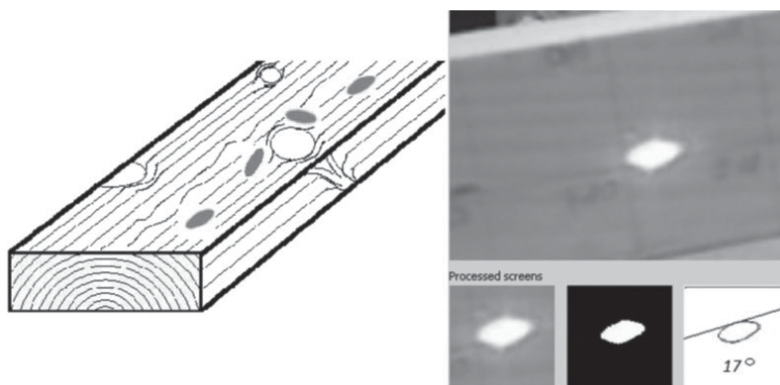
Különösen érdekes és nagy gyakorlati haszonnal kecsegtet a mikrohullámú radar alkalmazása a faanyag sűrűségének és nedvességtartalmának mérésére. A módszert sikerrel alkalmazták előbb cementkötésű forgácslapok (Utassy et al. 2012), később nagyméretű rönkök és rönkmáglyák (Divós és Major 2016) nedvességtartalmának a meghatározása. Ha az átsugárzott energia intenzitását és terjedési idejét is mérjük, a két paraméter függetlennek tekintve akár két függő változó – a nedvességtartalom és a sűrűség – is meghatározható egyetlen mérés alapján. Ezt a feltevést sikerült a közelmúltban bizonyítani is, amikor is a különböző fajfajú és nedvességtartalmú próbatestek nedvességtartalmát 90 %-os, sűrűségét 70 %-os pontossággal sikerült becsülni (Bejó et al. 2019).

A rostirány pontos meghatározása a faanyagban nem egyszerű feladat, ugyanakkor nagy gyakorlati jelentősége van, hiszen a rostkifutás jelentősen befolyásolja a fűrészáru műszaki tulajdonságait, elsősorban a teherbírást. A rostirány meghatározására kitűnő lehetőséget biztosít az ún. „tracheida-effektus”, azaz az a tény, hogy a faanyagra vetített kerek fényfolt a rostlefutástól függően torzul, elliptikussá válik. Az ellipszis orientációja,

valamint a kistengely és a nagytengely aránya alapján a rostlefutás pontosan meghatározható. Ennek mérésével több nemzetközi kutatás mellett Szalai & Pödör (2015) is foglalkozott, akik statisztikai alapon elemezték a mért adatokat, és a statisztikai paramétereket hasonlították össze a faanyag szilárdságával.



*A nedvességtartalom és a sűrűség becslése mikrohullámú radar segítségével*



*A lézeres rostirány meghatározás alapelve (Szalai és Pödör 2015)*

A faanyag csavarállósága (facsavar kitépéséhez szükséges erő meghatározása) az ún. „kisroncsolásos” vizsgálatok közé tartozik; azért tekinthetjük roncsolásmentes vizsgálatnak, mert a szerkezeti anyag teherbírását nem befolyásolja jelentős mértékben. A mért erő összefüggésben van a faanyag szilárdsági tulajdonságaival és sűrűségével is (Divós et al. 1994).

A faanyagban jelenlevő gombakárosítás egyes esetekben befolyásolja az anyag elektromos vezetőképességét, így az kimutatható az elektromos ellenállásának mérésével. Ezen az alapon már régebb óta elérhetőek jól működő műszerek, azonban a közelmúltban vizsgálatok indultak a képalkotó módszer térbeli felbontásának és megbízhatóságának javítására (Vízvári et al. 2015). Az előbbi módszer főleg a beépített faszerkezetek, míg az utóbbi a magas nedvességtartalmú élőfák vagy nedves rönkök vizsgálatához használható.

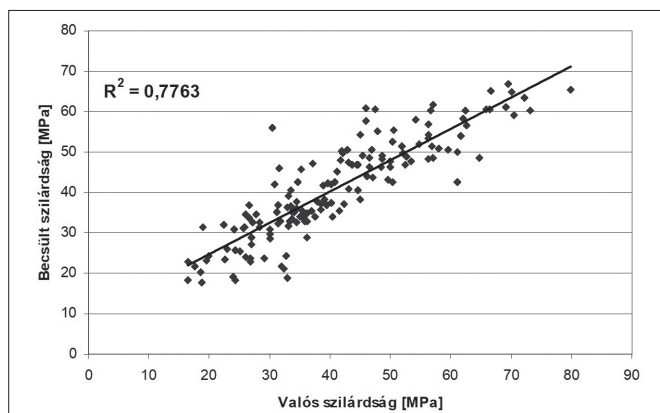


## Fűrészáru osztályozás

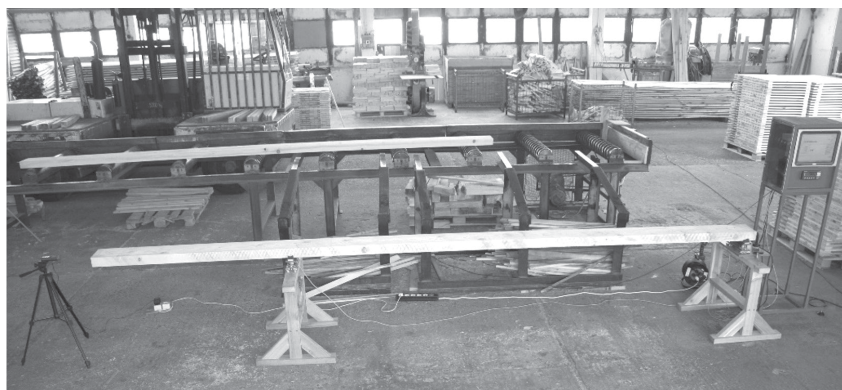
A fűrészáru szilárdsági osztályozása kulcsfontosságú; ez biztosítja a faszervezetek statikai méretezéséhez szükséges bemenő adatokat. Az osztályozás általános szabályait az MSZ EN 14081-1 szabvány írja elő; ez alapján két alapvető osztályozási módszer létezik: a vizuális és a gépi, vagy műszeres fűrészáru osztályozás. Míg az előbbi időigényes, kevésbé megbízható és csak alacsonyabb szilárdsági osztályba sorolást tesz lehetővé, az utóbbi roncsolásmentes szilárdságbecslési módszereken alapszik, és magasabb szilárdsági osztályok megállapítását is lehetővé teszi gyors, megbízható módon. Sajnos az osztályozó berendezések jellemzően igen költségesek, és a hazai üzemek számára nem jelentenek reális alternatívát. Emiatt a hazai kutatók sok erőfeszítést tettek egy olcsón elérhető osztályozó berendezés kifejlesztésére a hazai piac számára.

Az első ilyen osztályozó berendezés kifejlesztése a 2000-es évek elejére tehető. Az osztályozási módszer a longitudinális sajátrezgési frekvencia mérésén alapult, kiegészítve a sűrűség meghatározásával, a fűrészáru tömege és térfogata alapján. Az eljárást a gyakorlatban is alkalmazták, a Graz-i Egyetemen készülő kísérleti bükk RR tartók lamelláinak osztályozására, illetve a Soproni Egyetemen megépült fakupola anyagának kiválogatására. Az osztályozásnak köszönhetően a kupola szerkezetét egészen kis mennyiségű, válogatott vörösfenyő anyagból sikerült megépíteni (Divós et al. 2002a, b).

A longitudinális rezgésekkel végzett fűrészáru osztályozás egyszerű és gyorsan kivitelezhető mérés, azonban a módszer kevésbé érzékeny bizonyos fahibákra, különösen a szilárdság szempontjából nagyon meghatározó göcsök jelenlétére. Emiatt az eljárást továbbfejlesztésre egy komplex kutatás folyt, melybe számos további becselőparamétert (hajlítási sajátrezgési paraméterek, göcsösség, évgyűrű szélesség) is bevontak. A kísérletek során 436 db 5×10 cm keresztmetszetű 2 m hosszúságú légszáraz (16±2%), különböző szilárdsági osztályba tartozó lucfenyő (*Picea abies*), erdei fenyő (*Pinus sylvestris*) és vörösfenyő (*Larix decidua*) próbatesteken végeztek méréseket, és ezeket összehasonlították a hajlítószilárdsági vizsgálatok eredményével. Ennek eredményeit mutatja a mellékelt ábra (Sismándy-Kiss 2012). A kutatás során előkészítették a berendezés első típuseszteléséhez szükséges táblázatokat, valamint kifejlesztésre került egy ipari környezetben használható, por- és rezgésvédett mérési rendszer is.



*A többparaméteres szilárdságbecsléssel megállapított és a mért hajlítószilárdság összefüggése (Sismándy-Kiss 2012)*



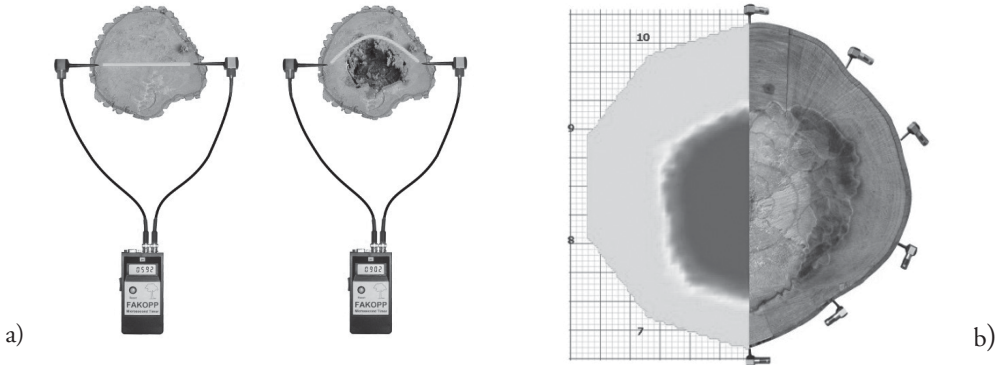
*A PLG+ ipari környezetben használható fűrészáru osztályozó berendezés  
(Fotó: Sismándy-Kiss, 2012)*

## Élőfa vizsgálat

A faanyag vizsgálata mellett, illetve azok eredményei alapján jelentős kutatások kezdődtek a Soproni Egyetemen, az élőfák, azok állapotának és állékonyságának vizsgálata céljából. Az első élőfa vizsgálatok a fa keresztmetszetében végzett egyszerű hangsebesség mérésen alapultak. Ennek alapja, hogy a fatörzs közepén jelenlevő, de kívülről nem feltétlenül látható korhadt részt a hanghullám „megkerüli”, azaz hosszabb úton, és ezáltal hosszabb idő alatt jut el az egyik oldalon levő jeladótól a másik oldalon elhelyezett detektorig (Divós & Mészáros 1994). Az eljárás nagyon jól alkalmazható nagy kiterjedésű, centrálisan elhelyezkedő korhadások és más rejtett fahibák felderítésére, azonban kisebb, hosszúkás, nem centrális elhelyezkedésű problémákat már kevésbé tud detektálni. Az egyszerű hangsebesség-mérés kiterjesztésével jött létre az akusztikus tomográfias eljárás, amely számos érzékelő között mért hangsebességek összevetésével pontos képet ad a fatörzs belsejében található fahibákról. Az eljárás kifejlesztésében a hazai kutatóknak is nagy érdemei vannak (Divós & Szalai 2003).

Az akusztikus tomográfia bizonyos fahibák – pl. az álgeszt – kimutatására kevésbé alkalmas. Ilyen esetben jól működhetnek az elektromos ellenállás mérésén alapuló módszerek. Az elterjedt, de meglehetősen fáradságos és hosszadalmas impedancia tomográfia mellett az egyszerűbb módszerek is célravezetőek lehetnek. Ilyen pl. a Göncz (2018) által alkalmazott egyszerű, négy elektródás mérés, amely, ha az álgeszt kiterjedését nem is, de annak jelenlétét megbízhatóan mutatta ki több, mint 100 bükk fatörzs vizsgálata alapján (Göncz et al. 2018).

Az elsősorban a fatörzsek törésbiztonságának felmérésére szolgáló akusztikus tomográfia mellett a fák gyökérstabilitásával kapcsolatban is folytak kísérletek. Ezek közül érdemes kiemelni a fák gyökérzetének térképezésével foglalkozó kutatásokat (Buza & Divós 2016), amelyek, bár csak részleges sikert értek el (a mélyebb gyökerek vizsgálata egyelőre nem tűnik lehetségesnek), de hasznos eredményeket hoztak.



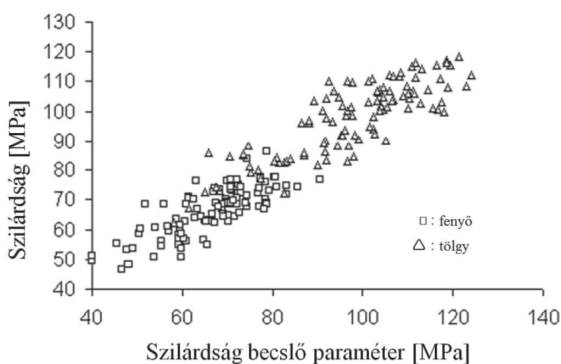
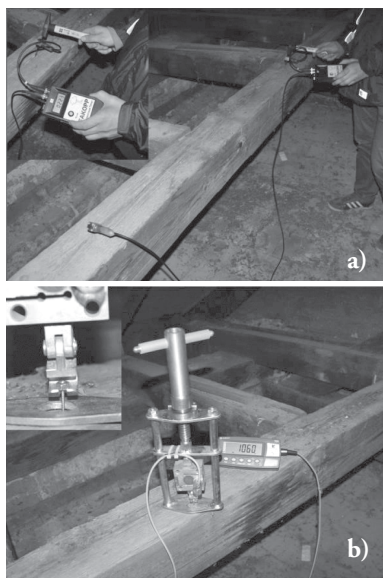
*A fatörzs belső hibáinak felderítése egyszerű hangsebesség méréssel (a) és akusztikus tomográfia segítségével (b) (Forrás: Fakopp Bt., a cég engedélyével)*

Jelentős eredmények születtek továbbá a széll szembeni stabilitás vizsgálatában. Ezt hagyományosan húzóvizsgálattal értékelik, amely azonban fárasztó, időigényes, csak szélcsendben használható, és a szélterhelésre jellemző dinamikus igénybevétel helyett statikus terhelést használ. Sajnos a szélterhelés és a fa mozgásai között közvetlen kapcsolat nem mutatható ki (mivel a szélben mozgó fa komplex, sztochasztikus lengő rendszert alkot), azonban egy Sopronban kifejlesztett, statisztikai paraméterek értékelésén alapuló eljárással mégis megfelelő pontossággal értékelhető a fák stabilitása, közvetlenül a szél által keltett mozgások értékelésével (Bejó et al. 2017). A viszonylag egyszerű módszerrel több fát lehet párhuzamosan értékelni, és így fontos, eddig nem ismert összefüggések tárhatók fel az élőfák szélben való viselkedésével kapcsolatban; például kiderült, hogy a lombos fák stabilitása nem javul, hanem romlik a téli időszakban, amikor elveszítik a lombzatukat (Fathi 2020).

### Faszerkezet vizsgálat

A roncsolásmentes faanyagvizsgálati eljárások egyik fontos gyakorlati alkalmazása a faszerkezetek vizsgálata. A beépített faszerkezetek állapotvizsgálata több kihívást is jelent a fűrészáru vizsgálatához képest; sokszor igen öreg elemeket kell vizsgálni, amelyek rejtett fahibákat tartalmazhatnak. Ráadásul, mivel az elemek be vannak építve, a fűrészáru vizsgálatánál elterjedt, sajátregzéseken alapuló eljárások nagy része nem, vagy csak korlátozottan alkalmazható.

A szerkezetek vizsgálatánál jellemzően két fontos területre koncentrálhatunk; a szerkezeti elemek általános állapotfelmérésére, illetve az esetleges belső fahibák feltárására. Az előbbi módszertanának kidolgozásában nagy szerepe volt Németh László (1998) doktori munkájának. Az állapotfelmérés során jellemzően közvetlen hangsebességmérés végeznek a szerkezeti elemeken, a sűrűségüket pedig valamilyen kisroncsolásos (csavarállóság, tűbehatolás) vizsgálatával becsülik. A szilárdság becslésére mindkét vizsgálat alkalmas valamilyen mértékig, azonban a hangsebesség és a csavarállóság kombinációja adja a legjobb becslést a szerkezeti elemek szilárdságára nézve, Divós et al. 1998.)



Faszerkezetek vizsgálata hangsebesség méréssel (a) (Fotó: Fakopp Bt., a cég engedélyével.), csavarállóság méréssel (b) (Fotó: Fakopp Bt., a cég engedélyével) és a két mérés eredményeiből képzett becsülő paraméter és a mért hajlítószilárdság kapcsolata (c)

A fentiekén túl több kutatás folyt a faszerkezetek elemeiben található rejtett, belső fáhibák detektálásával kapcsolatban. Ezekhez hasonló módszerek használhatók, mint az élőfák esetében (hangsebesség mérés, akusztikus és impedancia tomográfia.) A képalkotó módszerek elsősorban a nagy keresztmetszetű, rétegelt-ragasztott anyagok esetében használhatók jól – több kutatás született az ilyen anyagok akusztikus tomográfias vizsgálatával kapcsolatban (pl. Garab et al. 2010, Major & Divós 2015).

### Az eredmények hazai és nemzetközi elismertsége, gyakorlati alkalmazása

A hazai roncsolásmentes faanyagvizsgáló kutatások nagyon jelentős eredményekkel járultak hozzá a tématerület hazai és nemzetközi tudományos sikereihez. Nemzetközi szinten ezeket az eredményeket számos folyóiratban publikálták, valamint 1991 óta a két évente megrendezésre kerülő Nemzetközi Roncsolásmentes Faanyagvizsgáló Szimpóziumok mindegyikén nagy érdeklődést kiváltó előadások, poszterek formájában is megjelentek ezek az eredmények. Ezen túlmenően, Divós Ferenc szervezésében 1994-ben került sor Sopronban az 1. Európai Roncsolásmentes Faanyagvizsgáló Konferenciára, nagyon jelentős érdeklődés mellett. Ezután tagja lett a nemzetközi szimpózium-sorozat szervezőbizottságának, amelyet később két alkalommal is Sopronban rendeztek meg. A soproni kutatások elismertségét mutatja, hogy Divós Ferenc később az USDA Forest Products Laboratory egyik jelentős közleményének (Wang et al. 2004) társszerzője is lett, a 2017-es szimpóziumon pedig életmű díjjal tüntették ki.

Hazai szinten a több tudományos folyóiratcikk és konferencia közlemény mellett sajnos kevés átfogó roncsolásmentes faanyagvizsgálattal kapcsolatos publikáció született. Ezek közé tartozik az 1999-ben megjelent mérési útmutató (Divós et al. 1999), valamint a Magyar Mérnöki Kamara gondozásában megjelent átfogó tanulmány a faszerkezetek roncsolásmentes vizsgálatáról (Divós et al. 2015). Nagy szükség lenne egy átfogó magyar nyelvű tudományos kiadványra ezen a területen, amely megismertetné a nagyközönséggel a roncsolásmentes faanyagvizsgálatban rejlő lehetőségeket, és a hazai eredményeket.

Divós Ferenc professzor nem csupán elméleti síkon foglalkozott a roncsolásmentes faanyagvizsgálattal; kezdettől fogva szerette volna, hogy ezek a módszerek a gyakorlatban is alkalmazást leljenek. Így alakult meg a FAKOPP Bt, amely nagy sikerrel gyárt és forgalmaz roncsolásmentes vizsgálati berendezéseket, elsősorban az élőfa vizsgálat területén. A cég a világ minden részébe szállít kiváló minőségű műszereket, így a soproni kutatások a gyakorlatban is hasznosultak.

## Irodalom

- Bejő L., Divós F. & Fathi S. 2018. Dynamic root stability assessment – basics and practical examples. In: X. Wang; C.A. Senalik; R.J. Ross (szerk.) Proc. 20<sup>th</sup> International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium Madison, Wisconsin, USA: 262–269.
- Buza A.K. & Divós. F. 2016. Root Stability Evaluation with Non-Destructive Techniques. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 12(2): 125–134. DOI: 10.1515/aslh-2016-0011
- Divós F. 1992. Fűrészáru szilárdság szerinti osztályozása Sopronban. *Faipar* 42(9): 153–156.
- Divós F., Bejő L. & Bradley M. 2015. Near infrared laser reflection based wood moisture content determination. In: R.J. Ross, R. Gonçalves, X. Wang (szerk.) Proc. 19<sup>th</sup> International Non-destructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Rio de Janeiro, Brazilia. USDA Forest Service: 98–102.
- Divós F., Bejő L., Gergely L., Magoss E. & Salamon Z. 1999. Roncsolásmentes faanyagvizsgálat – mérési útmutató. Soproni Egyetem, 79 o.
- Divós F., Csóka L., Szalai L. & Gyenizse P. 2002a. Fűrészáru szilárdság szerint történő osztályozásának gyakorlati alkalmazása. I. rész *Faipar* 50(2): 19–24.
- Divós F., Csóka L., Szalai L. & Gyenizse P. 2002b. Fűrészáru szilárdság szerint történő osztályozásának gyakorlati alkalmazása. 2. rész *Faipar* 50(3): 12–15.
- Divós F., Csupor K. & Bröker F. 1991. Ultrasonic and Stress Wave based: Non-destructive Testing of Wood Proc. 8th International Nondestructive Testing of Wood Symposium, Vancouver, Kanada, 272 o.
- Divós F., Daniel I. & Bejő L. 2000. Defect detection in timber by stress wave technique. In: Aicher, S (szerk.) Proc. International Conf. on Wood and Wood Fiber Composites. University of Stuttgart, Stuttgart, Németország, 279 o.
- Divos F., Denes L. & Iniguez G. 2005. Effect of cross-sectional change of a board specimen on stress wave velocity determination. *Holzforschung* 59(2): 230–231. DOI: 10.1515/hf.2005.036
- Divós F., Járási J. & Hodász E. 1994. Screw Withdrawal Force as Strength Predictor. In: Divós F. (szerk.) Proc. First European Symposium on Nondestructive Evaluation of Wood, 531 o.

- Divós, F. & Mészáros K. 1994. Root Decay Detection by Stress Wave Technique. In: Divós F. (szerk.) Proc. First European Symposium on Nondestructive Evaluation of Wood, 524 o.
- Divós, F., Németh L. & Bejő L.. 1998. Evaluation of the wooden structure of a Baroque palace in Papa, Hungary In: Proc. 11<sup>th</sup> International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Madison, WI, USA: 153–160.
- Divós F., Németh L. & Major B. 2015. Új technológiák bemutatása a faszervezetek felülvizsgálata területén. Útmutató, MMK Erdőmérnöki, Faipari és Agrárműszaki Tagozat, 28 old. [https://efa.mmk.hu/files/FAP2015\\_UjTechnologiak.pdf](https://efa.mmk.hu/files/FAP2015_UjTechnologiak.pdf)
- Divós, F. & Szalai L. 2003. Tree evaluation by acoustic tomography. In: Beall, FC (szerk.) Proc. 13<sup>th</sup> International Symposium on Nondestructive Testing of Wood University of California, Berkeley, CA, USA: 251–256.
- Divós F., Szegedi S. & Raics P. 1996. Local densitometry of wood by gamma back-scattering. *European Journal of Wood and Wood Products* 54(4): 279–281 DOI: 10.1007/s001070050183
- Divos F. & Tanaka T. 1997. Lumber strength estimation by multiple regression. *Holzforschung* 51(5): 467–471. DOI: 10.1515/hfsg.1997.51.5.467
- Divos F. & Tanaka T. 2005. Relation between static and dynamic modulus of elasticity of wood. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 1: 105–110.
- Ekkler, J, Szabadhegyi Gy. & Divós F. 1994. Fertigkeitserhöhung von LVL-Träger Durch Zersörungsfreie Furrnierprüfung. In: Divós F. (szerk.) Proc. First European Symposium on Non-destructive Evaluation of Wood, 581 o.
- Fathi S. 2020. The Reliability and Applications of Dynamic Tree Stability Inspection. PhD. Disszertáció, NyME Cziráki József Faanyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, 103 o.
- Garab J., Tóth A., Szalai J., Bejő L. & Divós F. 2010. Evaluating Glued Laminated Beams Using a Nondestructive Testing Technique. *Transactions of Famena* 34(4): 33–46.
- Göncz B. 2018. Bükk álgeszt kimutatása elektromos mérés segítségével. PhD. Disszertáció, NyME Cziráki József Faanyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, 90 o.
- Göncz B., Divós F. & Bejő L. 2018. Detecting the presence of red heart in beech (*Fagus sylvatica*) using electrical voltage and resistance measurements. *European Journal Of Wood and Wood Products* 76(2): 679–686. DOI: 10.1007/s00107-017-1225-4
- Láng, E.M., Bejő L., Divós F., Kovács Zs. & Anderson R.B. 2003. Orthotropic Strength and Elasticity of Hardwoods in Relation to Composite manufacture. Part III. Orthotropic Elasticity of Structural Veneers. *Wood and Fiber Sci.* 35(2): 308–320.
- Major B. & Divós F. 2016. Sarangolt fa nedvességtartalmának mérési lehetősége elektromágneses hullámokkal. *Faipar* 64(2): 39–45.
- Major B. & Divós F. 2015. Glue laminated timber structure evaluation by acoustic tomography. In: R.J Ross, R. Gonçalves, X. Wang (szerk.) Proc. 19<sup>th</sup> International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Rio de Janeiro, Brazilia. USDA Forest Service: 462–466.
- Németh L. 1999. A roncsolásmentes faanyagvizsgálatok gyakorlati alkalmazásának lehetőségei. PhD. Disszertáció Soproni Egyetem, Faanyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, 128 o.
- Sismándy-Kiss F. 2012. Fűrészáru szilárdsága és fizikai tulajdonságainak kapcsolata. PhD. Disszertáció, NyME Cziráki József Faanyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola, 103 o.

- Szalai L. & Pödör Z. 2015. Laser based optical nondestructive method for evaluation of the pine timber strength. In: R.J Ross, R. Gonçalves, X. Wang (szerk.) Proc. 19<sup>th</sup> International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium, Rio de Janeiro, Brazilia. USDA Forest Service: 210–215.
- Utassy V. & Divós F. 2011. Fűrészáru érintésmentes sűrűségmérése. *Faipar* 59(1): 18–23.
- Utassy V., Divós F. & Alpár T. 2012. Cementkötésű faforgácslapok nedvességmérése mikro-hullámú radarral. *Faipar* 60(2): 14–18.
- Vizvári Z., Kiss T., Máthé K., Odry P., Vér C. & Divós F. 2015. Multi-Frequency Electrical Impedance Measurement on a Wooden Disc Sample *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 11(2): 153–161. DOI: 10.1515/aslh-2015-0012
- Wang X., Divós F., Pilon C., Brashaw B.K., Ross R.J. & Pellerin R.F. 2004. Assessment of decay in standing timber using stress wave timing nondestructive evaluation tools. USDA Forest Products Laboratory General Technical Report FPL-GTR 147, Madison, Wisconsin, USA, 14 o.

## **Nondestructive Evaluation of Wood**

Wood NDT is a very special field of investigation that encompasses the examination of trees, wood material and products, as well as structural testing. It uses a variety of physical principles to examine these entities without compromising their future utility. Hungarian researchers excelled in this field, generating internationally recognized results in all of the above areas, using a wide variety of non-destructive tools. Acoustic investigations led to the development of the PLG+ grading equipment, which uses a number of parameters to estimate the load bearing capacity of lumber accurately. Further investigations included using microwave energy and NIR laser for measuring wood density and moisture content, laser tracheid effect measurements for estimating wood strength, screw withdrawal measurements and conductivity-based assessment of wood decay. Acoustic and impedance tomography measurements have been used and perfected for assessing tree quality/condition and breakage safety. In recent years, pioneering research into dynamic tree investigation significantly contributed to the development of a novel urban tree stability and safety assessment tool that is now in increasingly widespread use. Sound velocity, screw withdrawal force and internal imaging techniques have been developed and used successfully for structural assessment purposes. Much of the research at the University of Sopron led to the development of practically applicable measurement techniques and equipment. The results have been widely published and well received by the international wood NDT research community as well.

# FAANYAGOK SZÁRÍTÁSA ÉS MODIFIKÁLÁSA

Németh Róbert és Bak Miklós

## Bevezetés – Szárítás

A faanyag az élő fa produktumaként vízzel teli környezetben jön létre. A nedvesség eloszlás a törzsön belül egyrészt függ a fafajtól, a vizsgált szöveti résztől (szijács, geszt) továbbá az évszaktól is. Faiparban a szárítási folyamat alatt általában egy feldolgozott félkésztermék nedvességtartalmának mesterséges vagy természetes úton történő csökkentését értjük. A kívánt nedvességtartalom elérése kritikus kérdés a fatermékek gyártása és felhasználása során. A célzott fanedvességet a termék típusa határozza meg, ami a felhasználás körülményeivel, ill. a helyszínen uralkodó hőmérséklettel és relatív páratartalommal áll összefüggésben.

A víz eltávolítása (rosttelítettségi határ alatt) méretváltozással és belső feszültségek kialakulásával jár. A túl intenzív nedvességvesztés szárítási hibákhoz vezet (pl. vetemedés), ami jelentős értékvesztéssel járhat. A túl lassú szárítási folyamat pedig költséges és szintén vezethet hibákhoz (pl. kékülés). A szárítási eljárások (és berendezések) kifejlesztése egyrészt alapos gépészeti ismereteket, másrészt a faanyag és a fatermékek részletes ismeretét igényli. A faipari szárítási folyamatok azon kompromisszum mentén születtek meg, hogy a faanyag a tovább feldolgozáshoz (és termékhez) megfelelő nedvességtartalmát a lehető leggyorsabban érje el, lehetőleg minimális károsodás mellett.

## A szárítási kutatások kezdetei

A szárítás témájában a hazai kutatások a Faipari Kutató Intézetben kezdődtek a 60-as években, ill. a Soproni Egyetemen folytak. A kutatások a természetes és mesterséges szárítási folyamatokra, ill. a gyorsított természetes szárításra is kiterjedtek. Több gazdasági természetű kutatás is publikálásra került, amit főleg a folyamat energiaigénye indokolt. A hazai kutatók támaszkodhattak nemzetközi eredményekre is, de pl. az akác szárítási eljárásait úttörőként kellett megoldaniuk. A hazai faipar 70-es években indult lendületes fejlődése megkövetelte a hazai szárítókapacitás jelentős bővítését. A kutatások egy része a szárítóberendezések műszaki (gépészeti) tervezésére fejlesztésre koncentrált. Ebben az időben számos hazai fejlesztésű szárítóberendezés gyártása kezdődött meg.

Fürjes a fűrészáru szárítás hazai helyzetelemzését végezte el (Fürjes 1969). A szerző részletesen elemzi az egyes felhasználók (szektorok) faanyag mennyiségi igényét. Problémaként említi, hogy a vonatkozó szabványok csak részben tartalmaznak előírásokat a felhasználási hely (v. cél) szerinti nedvességtartalmi kategóriákra, így a megrendelők sokszor nem megfelelő nedvességtartalmú faanyagot kapnak. A munka megjelenésekor mintegy 3000 m<sup>3</sup> szárítókamra-kapacitással rendelkezett az ország, ugyanakkor az igény ennek 3–4-szerese lenne. Megállapítja, hogy a faipar széttagoltsága is oka a sokféle mi-



nőségű és kapacitású berendezés meglétének. A minőségi szárítás, különösen a vastagabb lombos faanyagok esetében erős műszaki és szaktudás béli korlátokba ütközött. Fokozatosan javult a helyzet a technikus és mérnökképzés fejlesztésével, valamint a FATE Szárítási Bizottsága szárítókezelői tanfolyamokat szervezett. Fürjes és kutatótársai a szárítókamrák automatizálásán is dolgoztak. Eredményeik alapján lombos faanyagoknál felére tudták csökkenteni a szárítási időt.

A nyár faanyag természetes szárításával foglalkozott Wittmann Gyula (Wittmann 1969). Hazai viszonyokra és a nyár magas nedvességtartalmára nem lehetett alkalmazni a német kutatók által felállított összefüggéseket. Wittmann a kiinduló nedvességtartalom és az időjárás körülményeket figyelembe vevő összefüggést állított fel a vízvesztés sebességének előre jelzésére. Téli időszakban kb. 2-szeres szárítási idővel kell számolni. Ugyancsak Wittmann (Wittmann 1970) a nyár- és akác fűrészáru gyorsított természetes féltechnikai szárítását kutatta. Ventilátorok és ponyva alkalmazásával a száradási időt kb. 1/3-ára csökkentette a természetes szárításhoz viszonyítva. Ebben a cikkben is találunk részletes gazdasági számításokat.

A nyár faanyag mesterséges szárítási problémáival foglalkozott Fábíán Tibor (Fábíán 1969). A FAKI ekkorra már beüzemelte az érzékelőkkel felszerelt konvekciós kísérleti kamráját. A vizsgálatokat különböző vastagságú anyagokon végezték el. Egy gyorsított szárítási eljárást is alkalmaztak, de a szárítás minősítését nem közlik. A cikkben részletes gazdaságossági számítások is olvashatók, melyek jó összehasonlítást adtak a fenyőhöz viszonyítva.

Különböző szárítási eljárások összehasonlításáról írt cikket Csekunov (1971). Hasznos gyakorlati útmutatót is ad a megfelelő berendezés kiválasztásához. A vákuummal, nagyfrekvenciás erőterrel és IR sugarakkal működő kamrákról is ír, de akkoriban e műszaki megoldások inkább egzotikumok voltak. A gazdaságossági számítások e cikkben is megjelennek. Számos gyakorlati kutatási tapasztalatot követően Csekunov (1973 a) a fűrészáru szárítás elméletének fizikai alapjairól ad közre értékes írást. Ugyancsak Csekunov (1973 b) a korszerű folyamatos furnérszáritásról közöl írást. Munkájában precíz képletet közöl a szárítás időszükségletére vonatkozóan és gazdaságossági szempontokat is elemez.

A 70-es években megindult gazdasági fejlődés (építkezések) jelentős mennyiségű és jó minőségű faalkatrészt igényeltek. Az ERDŐTERV által tervezett szárítókamrákat már teszteli a FAKI. Fürjes (1974) vezetésével megalkotják a hazai fűrészáru szárítás fejlesztésének koncepcióját, mely a 80-as évekre felállított modelleket igyekszik kielégíteni (mennyiségi és minőségi faanyagszükséglet).

## **A szárítási kutatások közelmúltja és jelene**

A faanyag szárításával kapcsolatos kutatások a '90-es évektől a Soproni Egyetemre koncentráálódtak. A kutatások alapvetően a Faipari Mérnöki Kar Fűrész- és lemezipari tanszékén, valamint a Faanyagtudományi Intézetben folytak, ill. folynak az utódszervezetekben.

OMFB program keretében a „Faoszlopok anyagának mesterséges szárítása” c. kutatás keretében Molnár Sándor professzor vezetésével folytak a kutatások a MÁVFAVÉD Kft. dombóvári telephelyén. Ipari együttműködésben sikerült olyan szárítási eljárásokat kidolgozni (konvekciós kamra menetrendek), melyek gyorsabbá ellenőrizhetővé tették az oszlopok vízvesztését. Ugyanakkor a Soproni Egyetem laboratóriumi háttérével az időjárási viszonyokat figyelembe vevő kültéri szárítási modelleket is felállítottunk. Takáts Péter, Molnár Sándor és Németh Róbert kutatók támogatásával, ill. részvételével doktori értekezések is született a témában. Egyik dolgozat (Németh R. 2002) a szárítás kutatásainak elméleti alapjait célozta, és az akác szorpciós izotermáinak változásait taglalta különböző hőmérsékleteket és szöveti szerkezetekben (szijács/geszt/juvenilis fa). Cserta Erzsébet (2012) infravörös szárítási eljárásokkal foglalkozott dolgozatában. Speciális frekvenciaszámok mellett végzett besugárzásokat és megállapította a nedvességi profilokat, ezzel optimalizálta az infravörös szárítást. Ott Ágota az akác és a nyár faanyagok szárítás hatására bekövetkező színváltozásait kutatja (Németh et al. 2013). Az intézet bekapcsolódott az Európai Szárítási Csoport (EDG) és a COST E15 szervezet munkájába is.

A nemzetközi együttműködés kapcsán kiemeljük néhai díszdoktorunk Marian Babiak professzor (Zólyomi Műszaki Egyetem) munkásságát, aki a soproni doktorképzést hathatósan segítette tudományos konzultációkkal. A kooperáció keretében a Faanyagtudományi Intézet által szervezett Nemzetközi Lombosfa Konferencia (<http://www.hardwood.uni-sopron.hu/>) számos kiadásának tudományos bizottsági tagjaként elsősorban a fa-víz kapcsolatok terén bemutatott tudományos eredmények ellenőrzését végezte.

Jelenlegi faipari mérnöki tantervben nem szerepel önálló tárgyként a szárítás és gőzölés, sem a faanyagok módosítása. Ugyanakkor ipari részről továbbra is van érdeklődés a szárítási kérdésekkel kapcsolatban. A jelenleg Faanyagtudományi Tanszék formájában működő néhai intézet közreműködött alagútszáritó kifejlesztésében is. A különböző származású cser faanyagok szárítási kérdéseire koncentráció a kutatások ma is folynak. Itt a cél a nemesítőlyegek hatékony (gazdaságos) kiváltása.



*Vezetékoszlopok szárítás után. Mávfavéd Kft dombóvári telephelye. Molnár Sándor professzor értékeli a szárítás eredményét. (Fotó: Németh Róbert, 1998)*

## **A szárítási kutatások jövője**

A szárítási kutatások jövőjével kapcsolatban egyrészt továbbra is a hatékonyság, főként az energiatakarékos megoldások megtalálása lesz fontos kutatási cél. További kutatási feladatot jelenthet a ma még kevésbé használt, ezért kevésbé ismert faanyagok mesterséges szárításának kutatása. Ez vonatkozik a hazai fafajokra és a nemzetközi fakereskedelmi láncok újra strukturálása miatt előtérbe kerülő afrikai és ázsiai fafajokra (főként ültetvényes pinusok és eukaliptuszok). A klímaváltozás hatására kialakuló növényi stressz (szárazság, extrém hőmérsékletek, károsítók gradációja) megváltoztatja a faanyagok extraktanyag-tartalmát (mennyiségben és minőségben egyaránt), így a mesterséges szárítási folyamatoknál (emelt hőmérséklet) egyre gyakrabban jelennek meg elszíneződések. Az erdőgazdálkodási adatok nyomon követése egyre fontosabb lesz a fafeldolgozók számára is. E rendszer kialakítása, működtetése részint szervezési, adatgyűjtési és elemzési feladat, részben jelentős tudományos erőfeszítést igényel a kutatók részéről (kémikusok, erdészek (biológusok) és faanyag tudósok).

A szárítás alapkutatási kérdési – a fa-víz kapcsolatokhoz köthető kutatások – a bio-alapú (feldolgozott fa) anyagok viselkedésének feltárására is irányulnak majd, hiszen a rostok (esetleg sejtfali elemek) részben őrzik a faanyagok tulajdonságait.

Nemzetközi együttműködésben a feltörekvő ázsiai régiókban is kínálkozik jövőbeli együttműködés. Itt elsősorban a nagy keresztmetszetű és nehezen szárítható trópusi faanyagok gyorsított vákuumszárításának megoldása várat magára.

## **Bevezetés – Faanyagmodifikáció**

Az erdészeti ágazat és a faalapú iparágak számára kihívást jelentenek az erőforrások elérhetőségében, az energiaellátásban és az éghajlatváltozásban bekövetkező változások. Ez része a gazdaság, az ökológia és a társadalmi jólét közötti folyamatos vitának, amely fenntarthatóság néven foglalható össze. A fa természetes, megújuló, újrafelhasználható és újrahasznosítható nyersanyag, amely jelentős szerepet játszhat az éghajlatra és a környezetre gyakorolt negatív hatások minimalizálásában, ha fenntartható módon kezelt erdőkből származik. Egyre nagyobb mennyiségben dolgoznak fel ültetvényeken termesztett lombos és tűlevelű fafajokat, de az ilyen faanyagok általában rosszabb tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a természetes erdőkből származó faanyag.

A mérsékelt övi, Európában előforduló fafajok közül nagyon kevés van, amelyik kültéri, nedves helyen történő felhasználásra alkalmas lenne. Említésre méltó lehet az akác, a tölgy, a vörösfenyő, esetleg a duglászfenyő. A kültéri felhasználásra alkalmas faanyagok iránti kereslet kielégítésére olyan természetes formájában nem ellenálló faanyagokat használnak fel, mint például a lucfenyő, amit az ellenálló képesség növelése érdekében különböző vegyszerekkel kezelnek, ami azonban környezetvédelmi szempontból jelentős hátrány. Egy másik alternatíva a természetes ellenálló képességgel rendelkező trópusi fafajok alkalmazása, ez azonban természetvédelmi szempontból szintén nem szerencsés megoldás. Ennek oka, hogy ezek az alapanyagok általában nem tervszerű erdőgazdálko-

dásból, hanem az egyébként is veszélyeztetett esőerdőkből származnak. Ezen okoknak is köszönhetően – természetesen a faanyag alapvető tulajdonságaitól eltérő technológiai és felhasználási igények mellett – egyre nagyobb mértékben jelentek meg a faanyagot helyettesítő anyagok, mint például műanyagok, fémek vagy a beton. Ezen anyagok hátránya a faanyaggal szemben, hogy az előállításuk jelentős környezetterhelést jelent. A fa versenyképességének megőrzése érdekében új megközelítésre van szükség. A faanyag-módosítással kapcsolatos kutatás az egyik módja e kihívásoknak való megfelelésnek.

A faanyagok módosításának pontos, de nagyon általános meghatározása a következő. A faanyag módosítása során kémiai, biológiai vagy fizikai hatást gyakorolnak a faanyagra, ami a módosított fa élettartama alatt a kívánt tulajdonságok javulását eredményezi. A módosított faanyagnak üzemi körülmények között nem szabad mérgezőnek lennie, továbbá a módosított faanyag élettartama alatt, illetve az élettartam végén, a módosított faanyag ártalmatlanítását vagy újrahasznosítását követően nem szabad mérgező anyagokat kibocsátania. Ha a módosítás célja a biológiai támadással szembeni ellenálló képesség javítása, akkor a hatásmechanizmusnak nem szabad biocidnak lennie (Hill 2006).

A faanyagnál ez elsősorban a vízfelvétel mérséklését, és ehhez szorosan kapcsolódva a tartósság javítását jelenti. Ennek elérésére az alábbiak a fő irányzatok:

- Kémiai módosítás: a fa polimerjeinek reakciói kémiai reagensekkel,
- Termikus módosítás: a faanyag irányított hődegradációja,
- Felületi módosítás: kémiai, fizikai, biológiai hatásra a fa felületi rétegei változnak,
- Impregnálás inert anyagokkal.

A különböző változtatások azonban minden esetben járnak negatív mellékhatásokkal is, tehát a felhasználásnak megfelelően kell kiválasztanunk az alkalmazandó eljárást. Napjainkban a leginkább alkalmazott módosító eljárás a faanyagok hőkezelése különböző módokon, így a tudományos kutatómunka is előtérbe helyezte a faanyag viselkedésének vizsgálatát hő hatására.

Habár a manapság leginkább elfogadott definíció viszonylag újkeletű, a faanyagok módosításának kutatása visszavezethető a XX. század elejéig (Tiemann 1920). Tulajdonképpen ezek, a hőkezelésre irányuló kutatások tekinthetők a faanyagmodifikációs terület alapjának.

Különösen az ezredforduló óta egyre több faanyagmódosítási kutatás folyik Európában és azon kívül is. Ebben a folyamatban már a kezdetek óta részt vesz a Soproni Egyetem. Az intenzívebb kutatás mellett a módosított faanyagok mennyisége és új termékek is megjelentek a piacon. Ezek közé tartozott a termikusan módosított, furfurilézett és acetilézett faanyag. Számos, a faanyagmódosítással kapcsolatos hálózatépítési tevékenység is folyt. Ezen a téren különösen a COST – Európai Tudományos és Technológiai Együttműködés keretében két tevékenység állt a középpontban: A COST FP0904 „Thermohidro-mechanikai faanyag viselkedése és feldolgozása” elnevezésű, 2010–2014 között futó COST-program, valamint a 2015–2019 között futó COST FP1407 „A faanyagok módosításának megértése integrált tudományos és környezeti hatásvizsgálati megközelítéssel keresztül – ModWoodLife” elnevezésű COST-program. Bár az ezredfordulót kö-

vető bő két évtizedben jelentős kutatási és fejlesztési tevékenység folyt, a módosított fa felhasználása tekintetében még mindig csak egy új korszak kezdetén állunk.

A módosított fa mennyisége Európában, de a világ többi részén is csekély az előállított fatermékek mennyiségéhez képest. Az FP1407 COST-program keretében nemrégiben végzett feladat a faanyagmódosítás jelenlegi helyzetének felvázolása volt Európa-szerte a nemzeti leltárak alapján (Jones et al. 2019), amely tevékenységet hazai részről a Faanyag-tudományi Intézet munkatársai segítették. A bejelentett termelési mennyiségek és az ezt követő vizsgálatok alapján úgy becsülték, hogy 2020-ban a módosított fa éves termelési volumene Európában valamivel több mint 700 000 m<sup>3</sup> lesz, ami enyhén szólva igen szerény mennyiség.

### **A faanyagmodifikációs kutatások kezdetei**

A faanyagmodifikációs kutatások előfutárának a faanyagok gőzölésének vizsgálata tekinthető. Ebben az esetben a kezelés hőmérséklete viszonylag alacsony (80–120 °C), azonban bizonyos folyamatok, változások már végbemennek a faanyagban. Klasszikus értelemben azonban a gőzölést még nem tekinthetjük faanyagmodifikációnak. Hagyományosan az akác és bükk gőzölése terjedt el a faiparban önálló technológiaként. Elsősorban a színváltoztatás, nemesítés a célja az eljárásnak, amely különösen akác esetében eredményez markánsan sötétebb színt a faanyagban. Emellett megemlíthető még a gőzölés kedvező hatása a faanyag belső feszültségeinek csökkentésére is. Az akác gőzölésének eredményeiről elsőként Molnár Sándor (1976) számolt be. Ezt követően Tolvaj László végzett részletes kutatásokat a faanyagok gőzölésével, elsősorban a színváltozásra fókuszálva (Tolvaj et al. 2000; Tolvaj és Molnár 2006; Tolvaj et al. 2009; Tolvaj et al. 2009; Tolvaj et al. 2012). Előbbi professzorok munkásságát a gőzöléssel kapcsolatban Varga Dénes és Németh Róbert folytatta doktori disszertációik keretein belül (Németh 2002; Varga 2008).

A gőzöléssel kapcsolatos kutatások a későbbiekben jó alapot szolgáltattak a faanyagok modifikálásának vizsgálatához. 2004-től elsőként a különböző hőkezelő eljárások vizsgálatára került sor. Ezzel a témával legbővebben Horváth Norbert (2008) és Bak Miklós (2013) foglalkozott, akik napjainkban is rendszeresen foglalkoznak ezzel a kutatási területtel. Ezek az eljárások emelt hőmérsékleten, 160–230 °C között történnek, különböző hőátadó közegek alkalmazása mellett (nitrogén, vízgőz, növényi olajok, paraffin). A különböző hőátadó közegek alkalmazására azért van szükség ezeknél az eljárásoknál, hogy a faanyagot elzárjuk a levegő oxigénjétől a folyamat során, így elkerülve a nem kívánt oxidációs folyamatokat.

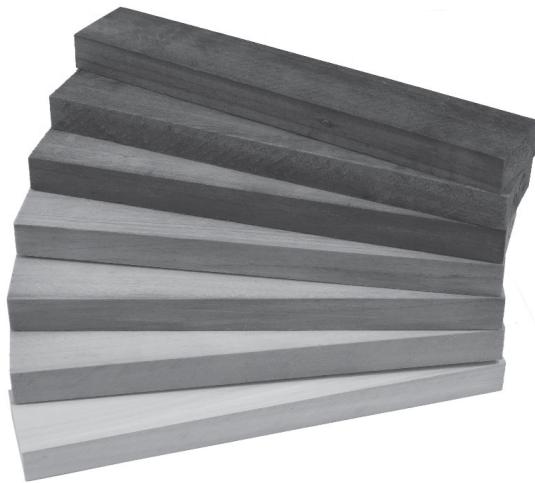
Erdélyi György 1966-ban (Erdélyi 1966) a Faipari Kutató Intézetben egyik első kutatóként foglalkozott különböző fafajok fizikai és mechanikai tulajdonságainak hőkezelés útján történő megváltoztatásával. A kutatócsoport tagjai Desewffy Imréné, Molnár Tiborné és Kajli László voltak. Az eljárást termikus nemesítésnek nevezték el akkoriban, céljuk a higroszkóposág csökkentése volt. Vizsgálataikat saját építésű, légkeveréssel ellátott, nyomásálló és vákuumozható kamrában hajtották végre nitrogén gázban és víz-

gőzben. Tölgyet, csert, bükköt és erdeifenyőt kezeltek 120 °C, 130 °C és 150 °C-on. Jelentős, akár 60%-os szilárdságcsökkenést is mértek (fajlagos ütő-törő munka). A higroszkóposág általában csökkent. Érdekes eredményt adott a cser, ahol a higroszkóposág és a zsugorodás-dagadás mértéke is növekedett 120 °C-on.

Filló Zoltán (Filló 1968) a hőkezelés hatásának szubmikroszkópikus vizsgálatát végezte el bükk faanyagon. Kísérletei elméleti alapokat nyújtottak a gőzölés, a szárítás, a hajlítás és a termikus módosítás menetrendjeinek fejlesztéséhez. Az MTA-val együttműködve elektronmikroszkópos vizsgálatokkal kimutatta az egyes sejtfali rétegek és a középlamella elváltozásait (mikrorepedések).

Fábián Tibor (Fábián 1979) a faanyagok gőzöléséről írt terjedelmes munkát, amiben összefoglalja az addigi hazai és nemzetközi eredményeket. Munkájában a főzéssel is, mint faipari lágyítási eljárással foglalkozott. A munka támpontot ad a gőzölési hőmérsékletek és idők kiszámításához, számos faj és anyagvastagság mentén. Fábián a fűrészárú különböző rétegeiben kialakuló hőmérsékleteloszlással is foglalkozott.

A faanyagban végbemenő változások a kezelési hőmérséklet és a hőntartási idő függvényében eltérő intenzitásúak lehetnek, melytől függően a faanyagok tulajdonságai is különböző mértékben módosulnak. A legszembetűnőbb a faanyagok színváltozása, amely a kezelési paraméterektől függően nagyon változatos lehet. Alapvetően azonban minden esetben sötétebbé válik a faanyagok színe a hőkezelés hatására. Így még az eredetileg kifejezetten világos színű faanyagok színe is tág határok között módosítható a világosbarnától egészen a sötétbarna árnyalatokig.



*Nyár faanyag színváltozása különböző intenzitású hőkezelések hatására  
(Fotó: Bak Miklós, 2022)*

A kutatások rámutattak, hogy a faanyag színváltozásával arányosan a fontosabb műszaki tulajdonságok is megváltoznak. Mérséklődik a zsugorodás-dagadás és az egyensúlyi

nedvesség, egy bizonyos kezelési intenzitás felett pedig csökken a sűrűség és a statikus és dinamikus szilárdságok is. A kezelés intenzitásának növelésével a hőkezelt faanyag farontó rovarokkal és gombákkal szembeni ellenállóképessége is javul (Német et al. 2009; Német et al. 2012; Bak és Németh 2012, Németh et al. 2016; Lagana et al. 2021).

A száraz termikus, a növényi olajokban és paraffinban végzett hőkezelések egyaránt témául szolgáltak a kutatóink számára. Célkitűzések között fontos volt, hogy gyors növésű, ültetvényes fafajok (elsősorban nyárok) és alulhasznosított fafajok (cser, gyertyán) felhasználási lehetőségeit növelni lehessen. Több kutatási projekt foglalkozott a faanyagok hőkezelésével az elmúlt időszakban, amelyek közül kiemelendő a GVOP-3.1.1-2004-050428/3.0 „Vegyszermentes faanyagvédelmi eljárás kidolgozása és kísérleti berendezés megépítése”.

A hőkezelés mellett számos más modifikációs eljárás kutatására sor került. Ezek közül az egyik első volt a faanyagok rostra merőleges tömörítése, amivel Ábrahám József foglalkozott részletesen. Ebben az esetben a tömöríthetőség szempontjából nagy potenciállal rendelkező nyár faanyagok tulajdonságainak javítása volt a cél. Egy-egy termék esetében gyakran csak egy fő tulajdonság határozza meg a fafaj felhasználhatóságát. A nyárfa beltéri felhasználása szempontjából a felületi keménység az a tulajdonság, amely korlátozza a hasznosítást. A cél ebben az esetben egy kis sűrűségű és nagy felületi keménységű anyag előállítása volt a fa tömörítésével alkalmazása mellett. Termo-higro-mechanikus kezeléssel – hővel, gőzzel és nyomással – a nyárfa keménysége a nagyon alacsony 10 N/mm<sup>2</sup>-ről 22 N/mm<sup>2</sup>-re növelhető. A nyárfa 30%-os összenyomásával a keménység 120%-kal növekszik, és eléri a juharfa keménységét, amely a padlóburkolatok kedvelt fafaja. A megnövekedett felületi keménység mellett a fa színe 2-3 mm mélységben barna lett. A kezelés eredménye a kontrollált sejtfal kollapszus az anyag felszíni régiójában. Mivel a sejtüregek a rostokra merőlegesen összenyomódnak, és a porozitás csökken, ez az anyag felületi keménységének és kopásállóságának növekedéséhez vezet. Ez azt jelenti, hogy a kezdetben puha nyárfa anyag felhasználási területe bővíthető. Az előnyök mellett sajnos vannak hiányosságok is a folyamatban. Az eljárás nagyon érzékeny az anyagminőségre, főleg a repedések és göcsök jelenlétére. A kezelés során egy másik fontos tényező az évgyűrűk tájolása. Az évgyűrűket közel merőlegesen vagy párhuzamosan kell elhelyezni a nyomóerő irányával. Ellenkező esetben az eredmény gyakran deformáció vagy meghibásodás lesz az anyagszerkezetekben. A meghibásodások oka lehet a túl alacsony sűrűség, az anyag nem optimális nedvességtartalma, vagy a nyárfa anyagában helyileg magasabb nedvességtartalmú ún. „nedves zsebek” jelenléte. A meghibásodások főként az évgyűrű határán, az évgyűrűk kettéválásaként jelentkeznek. Ennek oka a korai és késői pászta eltérő viselkedése a préselés alatt.

A telítésen alapuló modifikációs eljárások közül a különböző viaszokat alkalmazó kezelések, és a melamingyantás telítés került előtérbe. A viaszok közül a méhviasz és a paraffin alkalmazása volt a kutatások témája. Ezek faanyagba juttatásával a sejtüregek hatékonyan eltömíthetők, így több fontos faanyagjellemző javítható. A sejtüregek eltömítésén felül, vízlepergető hatásuknak köszönhetően jó védelmet adnak a faanyagnak vízzel szemben, valamint a farontó gombák károsítását is mérséklik. Emellett a szilárdsági jel-

lemzőkre pozitív hatást gyakorolnak. A melamingyantás telítéssel kapcsolatos vizsgálatokat a Göttingeni Egyetemmel együttműködésben vizsgálta Bak Miklós 2008-2009-ben. A kezelés eredménye szintén a sejtüregek eltömítése lesz, melynek hatására a vízfelvétel mérséklődik. A kezelés hatásaként elsősorban a felületi keménységek nőnek, a faanyag viszont jelentősen ridegebbé válik (Németh et al. 2015).



*Kombinált modifikáló kamra telepítése a Soproni egyetemen. Háttérben COPCAL kísérleti szárítóberendezés. A képen b-j egyiptomi vendégkutató, Csohány László (Műszolg), Nagy István technikus (SoE), Németh Róbert professzor (SoE)). (Fotó: Anon., 2010)*

## **A faanyagmodifikációs kutatások jelene**

A kémiai modifikációs eljárások közül az acetilezés vizsgálatára került sor intézményünkben. Németh Róbert vezetésével több kísérlet zajlott a témakörben, elsősorban ültetvényes fafajok tulajdonságainak javítását célozva. A későbbiekben ez kiegészült alulhasznosított faanyagok nemesítésével (cser, gyertyán), valamint erdei és mezőgazdasági melléktermékek (szalma, nád, fakéreg) acetilezésével. A gyertyán és cser acetilezését érdemes kiemelni az ezirányú kutatások közül, amelyet Fodor Fanni végzett doktori kutatása során (Fodor et al. 2017; Fodor et al. 2018; Fodor et al. 2022a; Fodor et al. 2022b). A vizsgálatok az Accsys Technologies nevű holland céggel együttműködésben történtek, amely jelenleg is az egyetlen gyártója az acetilezett faanyagnak világszerte. Az eljárással jelentősen sikerült mérsékelni a zsugorodás-dagadás értékeit, valamint megnövelni a farontó gombákkal szembeni ellenállóképességet. A gyertyán tartósságát a nem tartósból (5. rezisztencia osztály) az igen tartós (1. rezisztencia osztály) kategóriába sikerült emelni.



Az acetilezés nem csak a felületen, hanem teljes keresztmetszetben és hosszban történik, így egy viszonylag homogén szerkezetű és tulajdonságú termék hozható létre belőle. A kezelés hatása végleges, nem visszafordítható, nincs veszélye kimosódásnak. Mivel beépülő acetyl csoport természetes anyag (ami amúgy is előfordul a faanyagban), a létrejött termék nem mérgező, nem veszélyes sem az emberre, sem a környezetre nézve, és teljes mértékben újrahasznosítható, mely különösen fontos a fenntartható fejlődés érdekében. Kiváló tartóssága és alacsony karbantartási igénye lehetővé teszi, hogy felvegye a versenyt a trópusi fafajokkal, WPC-vel, PVC-vel vagy alumíniummal.

A nanorészecskék faanyag tulajdonságot javító alkalmazása ma még kevésbé ismert. Ezzel szemben különböző polimerek, papírok vagy textilek szilárdsági, égési, vízzel szembeni és egyéb fizikai tulajdonságot javító hatásvizsgálatával már jelentős eredményeket értek el a szakterületek kutatói. Különböző nanorészecskék felhasználásával sikeresen csökkenthető a vízfelvétel, kialakítható UV-védelem, javítható a szilárdság és a gombaállóság, valamint a tűzállóság. Leggyakoribb alkalmazási területe a nanorészecskéknek a faiparban a felületkezelő anyagok UV-védő adalékaként fordul elő. Mindemellert a faanyagok közvetlen kezelése is megoldható nanorészecskékkel, amely már felületi modifikációként vehető figyelembe. Ennek egyik módja a sejtfalak felületének több rétegben történő bevonása, eltérő polaritású rétegek váltogatásával („layer by layer” módszer). Ezen a területen ért el kedvező eredményeket Csóka Levente és Csiha Csilla. További lehetőség a nanorészecskék létrehozása a faanyag szerkezetén belül („in situ” módszer), valamint a faanyagok felületi, vagy teljes keresztmetszetű kezelése a nanorészecskék szuszpenziójával. A hidrofób jelleg erősíthető agyagásvány (montmorillonit, bentonit stb.), vagy  $\text{SiO}_2$  nanorészecskékkel. UV-védelem kialakítható  $\text{ZnO}$  és  $\text{Fe}_3\text{O}_2$  nanorészecskékkel. A biológiai tartósság növelhető ezüst, réz,  $\text{ZnO}$  és  $\text{SiO}_2$  nanorészecskékkel. Az „OTKA PD116635 A faanyagok fontosabb műszaki jellemzőinek javítása nanovegyületekkel” című projekt keretében Bak Miklós kedvező eredményeket ért el a faanyagok méretstabilitásának, UV-állóságának és biológiai tartóságának növelésével kapcsolatban (Bak et al. 2016; Bak et al. 2018a, Bak et al. 2018b).

A telítő eljárások közül jelenleg a biopolimerek alkalmazása került előtérbe. Ennek során az első vizsgálatok Bak Miklós által a nátrium-alginát alkalmazására irányultak. Sajnos ezek a kísérletek nem hoztak sikert, mivel tulajdonságai miatt az anyagot nem sikerült a faanyagon belül polimerizálni, majd ott kalcium-algináttá, vagyis vízzel szemben stabillá alakítani. Ezután Báder Mátyás vezetésével a politejsavra irányult a figyelem. A legnagyobb problémát ebben az esetben is a faanyagon belüli, in-situ polimerizálás okozta, amelyet nagyrészt sikerült megoldani. Ennek eredményeként a faanyag méretstabilitását sikerült jelentősen növelni.

A faanyag rostirányú tömörítése a gyakorlatban régóta ismert, de nem elterjedt technológia. Annak ellenére, hogy régóta alkalmazzák, az eljárás tudományos háttere nem volt tisztázott. Ezt a tudományos hiányosságot számolta fel Báder Mátyás ezirányú kutatásai során. A fa rostirányú tömörítése és összenyomás utáni relaxációja jobb hajlítási tulajdonságokat eredményez a klasszikus gőzölésen alapuló fahajlítási eljáráshoz képest (Thonet eljárás). A módszer leginkább nagy sűrűségű keményfák esetében alkalmazható.

További előnye, hogy a hosszirányban tömörített fa kihülés után huzamosabb ideig hajlítható állapotban tartható, így tárolható. Ez az anyag elsősorban a belsőépítészetben és a bútortiparban használható. A módosítási folyamat során a normál esetben sima felületű sejtfaalak deformálódnak, meghajlanak és végül harmonikaszzerűen hullámossá válnak. A tömörítéshez és a hajlításhoz is jó minőségű, nagy sűrűségű keményfa alapanyagra van szükség. A tömörítés előtt a fát lágyítani kell, gyakorlatilag gőzöléssel. A tömörítési arány az eredeti hossz 15–25%-a (Báder és Németh 2018; Báder és Németh 2019; Báder et al. 2019; Báder et al. 2020).

A legújabb faanyagmodifikációs eljárás a Soproni Egyetemen a transzparens biopolimer előállítását, amit „átlátszó fa” néven is ismerhetünk. Ezt a kutatást Bak Miklós vezetésével Takács Dávid doktori tevékenysége keretében végzi. Az eljárás során különböző módszerekkel eltávolítjuk a lignint a faanyagból, és a visszamaradó, transzparens cellulózváz pórusait törésmutató azonos polimerrel töltjük fel. Eredetileg epoxy és polimetil-metakrilát polimereket alkalmaztak ennél az eljárásnál, azonban ezek kiváltása lenne a kutatások elsődleges célja biopolimerrel, a fenntarthatósági szempontok figyelembevétele miatt. Biopolimerként az első kísérletek politejsavval történtek, amelynél azonban jelenleg még problémát okoznak az elszíneződések, és az in-situ polimerizáció alacsony hatékonysága. Ennek ellenére az első eredmények biztatóak, balsafa és nyár furnért alkalmazva alapanyagként sikerült átlátszó faanyagot előállítani.

Igazodva az aktuális nemzetközi trendekhez, a különböző modifikációs eljárások kombinálása is megjelent a kutatási palettán. Ennek során első sorban a telítő eljárások kombinálását vizsgáltuk a hőkezelő eljárásokkal különböző módokon. Bak Miklós vezetésével több ilyen jellegű kutatás is zajlik, melyek során az egyes eljárások kedvező hatásait tovább sikerült növelni. Így fokozott méretstabilitást, alacsonyabb egyensúlyi fanedvességet és vízfelvételt, valamint vízlepergető hatást sikerült elérni a méhviaszos és paraffinos telítések, valamint a hőkezelés különböző kombinálásai által. Emellett a faanyagok rostirányú tömörítése során fellépő probléma, a „visszarugózás” jelenségének javítására végez Báder Mátyás előremutató kísérleteket. A rostirányban tömörített faanyag fixálására és tartósabbá tételére hőkezelést, politejsavas telítést és szervesetlen anyagokkal történő telítést (mineralizálást) alkalmazva sikerült kedvező eredményeket elérni. A politejsavas telítés hőkezeléssel kombinálva szintén kedvező eredményeket hozott, elsősorban a méretstabilitást megnövelve. A politejsavas telítés és a hőkezelés együttes alkalmazásával Bak Miklós és Báder Mátyás ért el kedvező eredményeket a párafelvétel és a zsugorodás-dagadás csökkentése révén, habár ezt jelentős szilárdságvesztés kíséri.

### **A faanyagmodifikációs kutatások jövője**

A korábbi eredményekre alapozva a hőkezeléssel kapcsolatos kutatások várhatóan tovább zajlanak. Rendszeresen kerülnek új faanyagok a látómezőbe potenciális alapanyagként, melyek alkalmazhatósága vizsgálatot igényel. Ezek lehetnek ültetvényes természetből származó anyagok, vagy különböző invazív fafajok alapanyaga (bálványfa, amerikai kőris, zöld juhar).

A telítő eljárások esetén tervezzük a különböző biopolimerek alkalmazhatóságának vizsgálatát. Terveink szerint a kaprolakton faanyagmodifikációs felhasználhatóságát fogjuk vizsgálni a közeljövőben. Ugyanezt a polimert tervezzük felhasználni az átlátszó fa előállításához is, valamint elképzelhető a felhasználása más modifikációs eljárásokkal kombinálva is.

A korábban megkezdett kutatások folytatásaként a különböző nanorészecskék további felhasználását is tervezzük. Ennek során folyamatban van hidrofób faanyagok létrehozása szilícium alapú nanorészecskékkel, a farontó gombákkal szembeni ellenállóképesség javítása különböző szilícium-, ezüst-, réz-, bór és cink nanorészecskékkel. Külön feladatot jelent ezek fixálása a faanyagban. A nanorészecskék létrehozása zöldkémiai alapon (erdei melléktermékek extraktumait felhasználva) szintén a kutatási tervek részét képezik. Emellett az erdei melléktermékek extraktumait önmagukban, illetve különböző telítésen alapuló modifikációs eljárásokkal kombinálva is vizsgálni szeretnénk a biológiai tartósság növelése érdekében.

Az acetilezéssel kapcsolatos vizsgálatok szintén tovább folytatódnak. Új fafajok bevonása, technológiai paraméterek vizsgálata képezik a kutatás alapját.

A jelenleg már elterjedt, és ipari alkalmazással is rendelkező faanyagmodifikációs eljárások mellett széles körben léteznek új, ígéretes eljárások. Minden ismertetett eljárás komoly potenciállal rendelkezik a faipar területén a jövőre nézve, jelenleg azonban különböző tényezők hátráltatják az elterjedésüket. A legáltalánosabb gátló tényező az eljárások során felhasznált módosító anyagok vagy technológiák jelenlegi magas ára az alacsony előállított volumen miatt. Ezek ára azonban csökkenhet a közeljövőben, mivel más iparágak részéről is jelentős érdeklődés mutatkozik irántuk, így az igények növekedésével jelentősen növekedhet a termelésük. Így az itt ismertetett eljárások némelyike várhatóan a közeljövőben ipari alkalmazásba is fog kerülni.

## Irodalom

- Báder M. & Németh R. 2018: The effect of the relaxation time on the mechanical properties of longitudinally compressed wood. *Wood Research* 63(3): 383–398.
- Báder M. & Németh R. 2019: Moisture-dependent mechanical properties of longitudinally compressed wood. *European Journal of Wood and Wood Products* 77(6): 1009–1019.
- Báder M., Németh R. & Konnerth J. 2019: Micromechanical properties of longitudinally compressed wood. *European Journal of Wood and Wood Products* 77 (3): 341–351.
- Báder M., Németh R., Sandak J. & Sandak A. 2020: FTIR analysis of chemical changes in wood induced by steaming and longitudinal compression. *Cellulose* 27: 6811–6829.
- Bak M. & Németh R. 2012: Changes in swelling properties and moisture uptake rate of Oil-Heat-Treated poplar (*Populus × euramericana* cv. Pannónia) wood. *Bioresources* 7(4): 5128–5137.
- Bak M. & Németh R. 2018: Effect of different nanoparticle treatments on the decay resistance of wood. *Bioresources* 13(4): 7886–7899.
- Bak M., Molnár F. & Németh R. 2018: Improvement of dimensional stability of wood by silica nanoparticles. *Wood Material Science and Engineering* 14(1): 48–58.

- Csekunov P. 1971: Különböző fűrészáru-szárítási eljárások összehasonlítása. FAIPARI KUTATÁSOK, Faipari Kutató Intézet [FaKI] Budapest, Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest, 1971. 1. sz.: 71–97.
- Csekunov P. 1973 a: A fűrészáru-szárítás elméletének fizikai alapjai. FAIPARI KUTATÁSOK, Faipari Kutató Intézet [FaKI] Budapest, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1973. 1. sz.: 72–91.
- Csekunov P. 1973 b: Korszerű folyamatos furnérszárítás. FAIPARI KUTATÁSOK, Faipari Kutató Intézet [FaKI] Budapest, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1973. 1. sz.: 93–107.
- Cserta E. 2012: Drying Process of Wood Using Infrared Radiation. Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem
- Erdélyi Gy. 1966: Különböző fafajok fizikai és mechanikai tulajdonságának vizsgálata változó hőfokú és időtartamú hőkezelés után. FAIPARI KUTATÁSOK, Faipari Kutató Intézet [FaKI] Budapest, Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest, 1966. 2.sz.: 153 – 188.
- Fábián T. 1969: A nyár fűrészáru mesterséges szárítása. FAIPARI KUTATÁSOK, Faipari Kutató Intézet [FaKI] Budapest, Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest, 1969. 2. sz.: 89 – 99.
- Fábián T. 1979: A faanyagok hidrotermikus kezelése. Faipari Kutató Intézet [FaKI]. Budapest, 1979, 111 o.
- Filló Z. 1968: A hőkezelés hatásának szubmikroszkópikus vizsgálata a bükk rostszövetében. FAIPARI KUTATÁSOK, Faipari Kutató Intézet [FaKI] Budapest, Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest 1968. 1. sz.: 247 – 257.
- Fodor F., Bak M. & Németh R. 2022b: Photostability of Oil-Coated and Stain-Coated Acetylated Hornbeam Wood against Natural Weather and Artificial Aging. *Coatings* 12(6): 817.
- Fodor F., Bak M., Bidló A., Bolodár-Varga B. & Németh R. 2022a: Biological Durability of Acetylated Hornbeam Wood with Soil Contact in Hungary. *Forests* 13(7): 1003
- Fodor F., Lankveld C. & Németh R. 2017: Testing common hornbeam (*Carpinus betulus* L.) acetylated with the Accoya method under industrial conditions. *iForest-Biogeosciences and Forestry* 10: 948–954.
- Fodor F., Németh R., Lankveld C. & Hofmann T. 2018: Effect of acetylation on the chemical composition of hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in relation with the physical and mechanical properties. *Wood Material Science and Engineering* 13(5): 271–278.
- Fürjes J. 1969: A fűrészáru-szárítás helyzete és problémái. FAIPARI KUTATÁSOK, Faipari Kutató Intézet [FaKI] Budapest, Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest, 1969. 1. sz.: 129 – 142.
- Fürjes J. 1974: A fűrészáru-szárítás fejlesztésének koncepciója. FAIPARI KUTATÁSOK, Faipari Kutató Intézet [FaKI] Budapest, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1974. 1. sz.: 21 – 31.
- Fürjes J. 1976: A fűrészáru-szárítás fejlesztésének koncepciója. FAIPARI KUTATÁSOK, Faipari Kutató Intézet [FaKI] Budapest, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1974. 1. sz.: 21 – 31.
- Hill C. (2006) Wood modification – Chemical, thermal and other processes. Wiley Series in Renewable Resources, John Wiley & Sons Ltd., Chichester
- Horváth N. 2008: A termikus kezelés hatása a faanyag tulajdonságaira, különös tekintettel a gombaállóságra. Nyugat-magyarországi Egyetem
- Jones D., Sandberg D., Goli G. & Todaro L. 2019: Wood Modification in Europe: A State-of-the-art about Processes, Products and Applications. Florence University Press, Firenze, Olaszország.
- Lagaña R., Csiha C., Horváth N., Tolvaj L., Andor T., Kúdela J., Németh R., Kačík F. Ā, & Urkovič J. 2021: Surface properties of thermally treated European beech wood studied by PeakForce Tapping atomic force microscopy and Fourier-transform infrared spectroscopy. *Holzforschung* 75(1): 56–64.

- Lykidis C., Bak M., Mantanis G. & Németh R. 2016: Biological resistance of pine wood treated with nano-sized zinc oxide and zinc borate against brown-rot fungi. *European journal of wood and wood products* 74(6): 909–911.
- Molnár S. 1976: Akácfanemesítés Pusztavacson. *Az erdő* 15 (11): 490–492.
- Németh R. 2002: A hidrotermikus kezelés hatása az akác faanyagának szorpciós tulajdonságaira. Doktori értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem
- Németh R., Bak M., Tolvaj L. & Molnár S. 2009: The effect of thermal treatment using vegetable oils on physical and mechanical properties of Poplar and Robinia wood. *Pro Ligno* 5(2): 33–37.
- Németh R., Bak M. & Csordós D. 2012: Thermische Modifizierung von Buche und Pappel mittels Paraffin. *Holztechnologie* 53(6): 5–10.
- Németh R., Tolvaj L., Bak M. & Alpar T. 2016: Colour stability of oil-heat treated black locust and poplar wood during short-term UV radiation. *Journal Of Photochemistry And Photobiology A-CHEMISTRY* 329: 287–292.
- Németh R., Tsalagkas D. & Bak M. 2015: Effect of soil contact on the modulus of elasticity of beeswax-impregnated wood. *Bioresources* 10(1): 1574–1586.
- Németh R., Ott Á., Takáts P., & Bak M. 2013: The effect of moisture content and drying temperature on the colour of two poplars and Robinia wood. *Bioresources*, 8(2): 2074–2083.
- Tiemann H. 1920: Effect of different methods of drying on the strength and hygroscopicity of wood. In: 3rd Ed. „The kiln drying of lumber” Chap. 11. J. P. Lippincott Co.
- Tolvaj L. & Horváth-Szováti E., Sáfár C. 2000: Colour modification of black locust by steaming. *Wood Research (Drevarsky Vyskum)* 45(2): 25–32.
- Tolvaj L. & Molnár S. 2006: Colour homogenisation of hardwood species by steaming. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 2: 105–112.
- Tolvaj L., Németh R., Varga D. & Molnár S. 2009: Colour homogenisation of beech wood by steam treatment. *Drewno-Wood* 52(8): 5–17.
- Tolvaj L., Papp G., Varga D. & Lang E. 2012: Effect of Steaming on the Colour Change of Softwoods. *BioResources* 7: 2799–2808.
- Tolvaj L., Varga D., Németh R. & Molnár S. 2010: Colour modification of black locust depending on the steaming parameters. *Wood Research* 55: 81–88.
- Varga D. 2008: A gőzölés modifikáló hatásának vizsgálata két európai és két trópusi fafaj egyes fizikai-mechanikai tulajdonságainak tükrében. Doktori értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem.
- Wittmann Gy. 1969: A nyár fűrészáru (*Populus Robusta*) természetes szárítása. FAIPARI KUTATÁSOK, Faipari Kutató Intézet [FaKI] Budapest, Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest, 1969. 2. sz.: 83 – 88.
- Wittmann Gy. 1970: Nyár- és akác fűrészáru gyorsított természetes féltechnikai szárítása. FAIPARI KUTATÁSOK, Faipari Kutató Intézet [FaKI] Budapest, Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest, 1970. 1. sz.: 83 – 94.

## **Drying and modification of wood**

The effect of the moisture content of wood materials on material quality has been known since ancient times. Almost all the physical and mechanical properties of wood, as well as changes in size and shape, as well as durability, are significantly affected by the moisture content of the material. Accelerated natural and artificial drying in the more industrially developed countries was accompanied by the increase in the volume of wood use and technical progress. The aim of drying on an industrial scale is to achieve the desired moisture content in the shortest possible time, with acceptable quality challenges (internal stresses, distribution of moisture content). More significant research began in Hungary in the second third of the last century, then within the framework of the Wood Industry Research Institute (FAKI). At that time, the goal was the technical development of self-produced drying equipment and the development of the most effective schedules for domestic deciduous tree species. Economic calculations and SWOT analyzes were often part of scientific works. At the University of Sopron, the researches were primarily aimed at exploring the wood-water relationships of domestic deciduous wood materials (black locust, poplar, hornbeam). In the field of modification of wood materials, researches in Sopron also focused on deciduous wood materials (hardwoods). Initially, we dealt with thermal (dry and steam, then hot oil) and later chemical modification processes (acetylation). Longitudinal and transverse compression of wood also delivered interesting new results, which were also the subject of doctoral theses. Our latest research deals with the modification of wood materials with nanoparticles. The goal is to increase water resistance, fungal resistance, and fire and UV resistance. Our postdoctoral and OTKA research (Miklós Bak) as well as the TKP program ensure medium and, we hope, long-term and high-level research of the topic.

# FAALAPÚ KOMPOZITOK

Alpár Tibor László és Bejő László

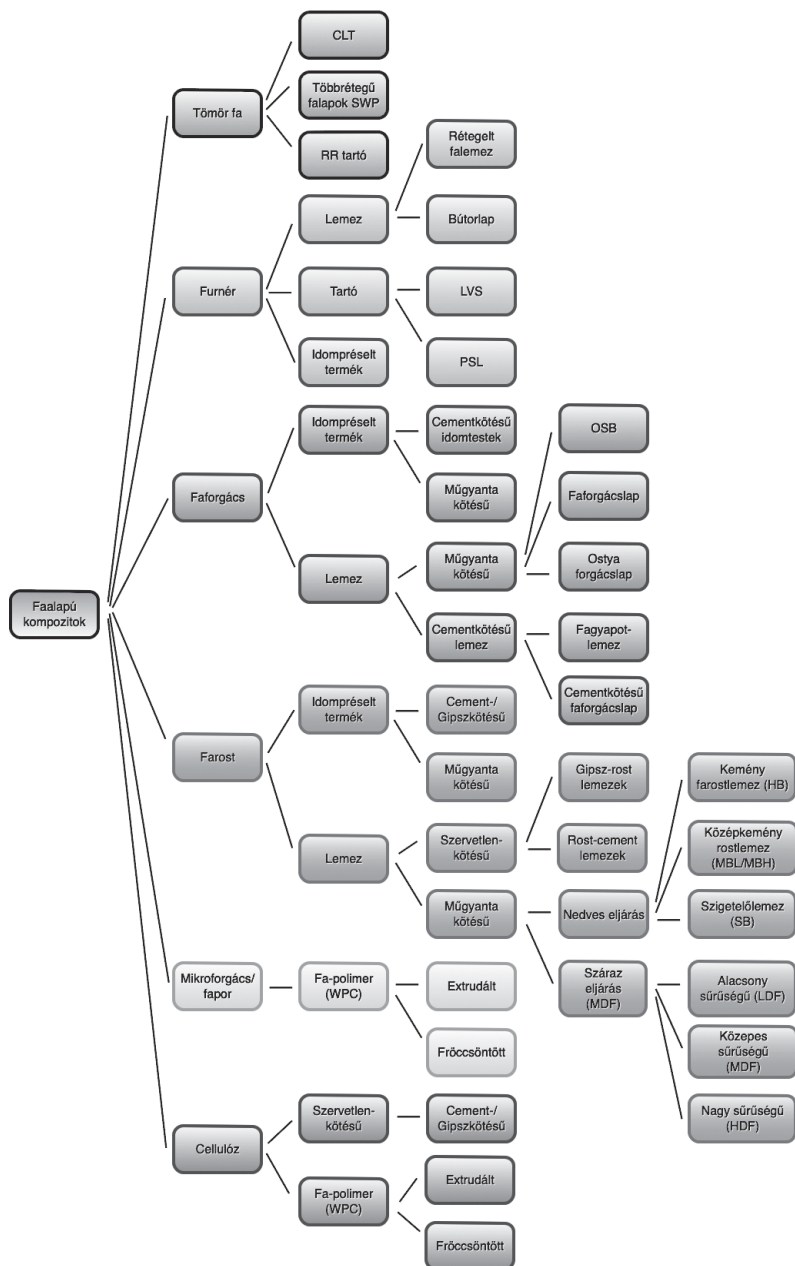
## Kompozitok, faalapú kompozitok

A kompozitok olyan összetett anyagok, amelyek egy mátrix anyagból (pl. műgyanta) és egy erősítő anyagból állnak – biokompozitok esetén közülük legalább az egyik, de inkább mind a kettő biológiai eredetű. A mátrix (vagy beágyazó vagy kötőanyag) fázis lehet ásványi eredetű, mint a cement vagy a gipsz vagy lehet megújuló vagy nem megújuló eredetű polimer. A mátrix védi meg a rostokat a környezeti hatásoktól és a mechanikai sérülésektől, összetartja az erősítőfázist és átadja neki a terhelést. Ezen felül a biológiai eredetű rostok a biokompozitok alapvető összetevői, amelyek rendszerint növényi eredetűek, pl. kender, len, kenaf és más növények rostjai, farost, használnak papír (cellulóz), egyéb melléktermékek. Napjainkban gyorsan nő a biokompozitok iránti érdeklődés új ipari felhasználások miatt, mint a járműipar, repülőgép gyártás, csomagolóipar, építőanyagok és orvosi alkalmazások. A legfőbb előnyök: megújuló, fenntartható, csekély szénlábnym, relatív olcsó, újrahasznosítható, biológiailag lebontható, és környezetbarát.

A faalapú kompozitok hosszú történelemmel büszkélkedhetnek a hagyományos farostlemezekről vagy faforgácsolapokról kezdve az utóbbi időkben divatosabbá vált fa-polimer kompozit (WPC) termékekig (Winkler 1999; Rowell 2005; Klyosov 2007). Három fő eljárással gyártják a szálerősítésű polimer kompozitokat: rövid, hosszú és végtelen szálal erősítéssel. Amíg hagyományosan a rövid és hosszú rostokat termoplasztikus polimerekkel kompaundálják, a végtelen szálakat (szőtt vagy nem szőtt) leggyakrabban hőre keményedő polimer mátrixba ágyazzák (Czvikovszky et al. 2007; Bánhegyi 2007; Vogt et al. 2006). A járműipar mind a természetes végtelen szálal, mind a természetes rövid szálal erősítésű fosszilis eredetű polimer kompozitokat használja (Sobczak et al. 2012). A polimer alapú kompozitokat gyakran módosítják különféle védő vagy funkcionális adalékkal, töltőanyagokkal vagy üveg, aramid, szén vagy éppen természetes szálakkal.

## Faalapú kompozitok

A termoplasztikus műanyagok gyakran fosszilis eredetű (földgáz, szén, kőolaj) polimer anyagok, de léteznek biológiai eredetű anyagok is. A termoplasztikus polimerek szerkezete lehet kristályos, részben kristályos vagy amorf, és ezek a szerzeti sajátosságok befolyásolják a polimerek lehetséges felhasználását feldolgozási technológiáját. A termoplasztikus polimerek alakíthatók felmelegítés majd újbóli lehűtés révén különféle polimerfeldolgozási technológiák segítségével, mint az extrúzió vagy a fröccsöntés (Ebeling et al. 2007; Pukánszky & Móczó 2011.). Szálakat (rostokat) erősítő anyagként alkalmazzák a kompozitokban, hogy a polimer szilárdságát és szívósságát növeljék. Ebben az esetben a rostokat erősítő fázisnak a beágyazó polimert mátrix fázisnak nevezzük. Gyakran kompatibilizáló (kötésvájtó) adalékokat kell alkalmazni, hogy a két anyagfázis közötti együttműködést javítsuk (Pilla et al. 2007; Bledzky & Gassan 1999).



Faalapú kompozitok

A rövidszálas technológiák extrudert használnak a termoplasztikus mátrix és legfeljebb 2 mm hosszú erősítő szálak kompaundálására, amely szálak rendszerint rövidebbek a kompaundált granulátum méreteinél. A szálak véletlenszerűen helyezkednek el a polimerben. (Calumby 2014). A hosszúszálas technológiánál a szálak párhuzamosan



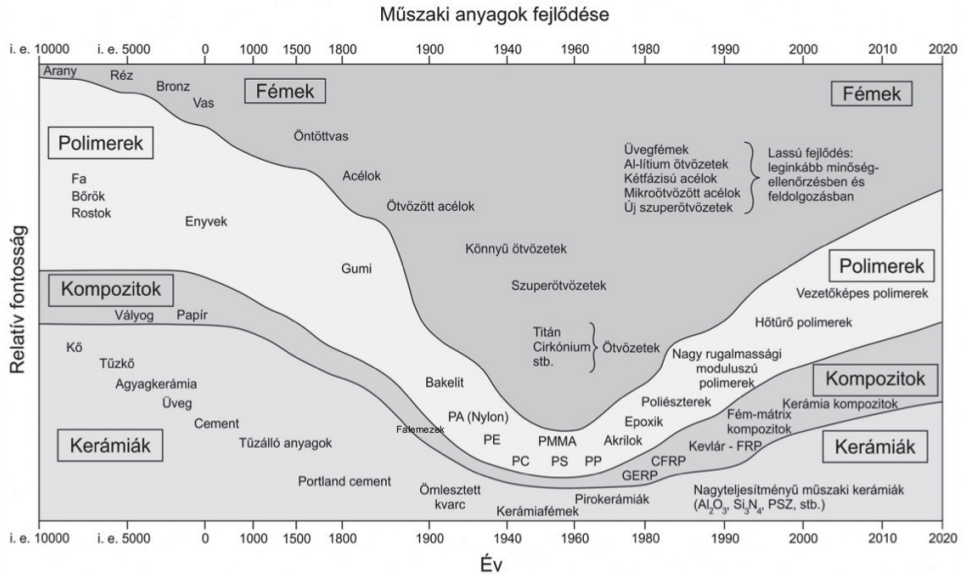
helyezkednek el egymáshoz és a granulátum hosszához képest. Ezeknek többek között nagyobb az ütésállósága (Thomason & Vulg 1998; Scherübl 2006; Holbery & Houston 2006), kisebb a kúszása (Silverman 2004; Yang & Chin 2004) és jobb a dimenzió-stabilitása mind magasabb, mind pedig nulla °C alatti hőmérsékletek esetén (Scherübl 2006; Bogoeva-Gaceva et al. 2007). A publikációk gyakran nem tesznek különbséget az erősítő anyagok típusai között, mint a faliszt, mikroforgácsok és valódi (fa)rostok. Alább szeretnénk bemutatni ezeknek a részecskéknek a morfológiai különbségeit, mint a karcsúság, fajlagos felület, amelyek hatással vannak a kompozit szilárdságára. Ahhoz, hogy megértsük a fa részecskék morfológiájának különlegességeit és szerepét, meg kell ismerni a faanyagok alapvető anatómiai szerkezetét.

A növényi alapú természetes erősítők – lignocellulózoknak is nevezzük őket – lehetnek faanyagok vagy egyynári növények. A fa (és egyéb növények is) maga is egy természetes polimer kompozit rendszer, mivel főleg polimerek építik fel, mint a kristályos vagy részben kristályos cellulóz, és az amorf lignin, ahol az erősítő fázis a cellulóz míg a mátrix a lignin. Az ilyen rendszerekben a ligninen belüli kémiai kötések foka függ a szubsztitúció fokától, ezért a cellulóz-lignin kapcsolatok merevsége változó (Thakur et al. 2014). E két anyag közötti kapcsolatot a hemicellulózok (amelyek ugyancsak polimerek) biztosítják. A cellulózzal hidrogén hidas, míg a ligninnel kémiai kötésben vannak, így létrehozva egy rugalmas, mégis szilárd rendszert (Rowell 2005; Németh 1997) A növények anatómiai felépítését tekintve az egyes sejteknek különféle feladataik vannak: pl. a növény szilárdítása vagy a víz és tápanyagok szállítása. Különböző sejtípusok találhatóak a fenyőfélékben és a lombos fajokban. (Alpár et al. 2017)

## **Kompozitok – a kezdetek**

A kompozitok egyértelműen legizgalmasabbak a műszaki anyagok között és talán szokatlanul hangzik, de a történelem kezdeteitől segítik az emberiség fejlődését. Olyan anyagokról van tehát szó, amelyek együttes használatával valamilyen közös vagy önmagában el nem érhető előnyös tulajdonságot tudunk létrehozni.

Olyan anyagokra kell gondolnunk, mint pl. a vályog, ahol az erősítő szálak anyag a szalma, amely egyfelől stabilizálja, szilárdítja a mátrixként funkcionáló agyagot, másfelől jelentősen javítja a kompozit hőszigetelési tulajdonságait. Napjainkban a vályoggal való építés a környezettudatos megközelítés miatt reneszánszát éli. Nemzetünkhöz kapcsolódó másik lignocellulóz alapú kompozit az őseink által használt oly félelmetes fegyver, a visszacsapó íj, amely fából, szaruból, állati eredetű kötőanyagokból, valamint bőrből és ínkből készült, így létrehozva egy rendkívül nagy szilárdságú és rugalmasságú kompozit rendszert (Kiszely I. 2001).



A műszaki, ezen belül a kompozit anyagok fejlődése

### Faalapú kompozitok – a hőskor

1949-ben az egykori (M. kir.) Erdészeti Kutató Intézetet újjászervezték Erdészeti Tudományos Intézet (ERTI) néven és ekkor alapították a Faanyagvizsgáló és Fagazdasági Intézetet, amely 1950 szeptemberétől Faipari Kutatóintézet (FAKI) néven szolgálta csaknem ötven éven keresztül az elsődleges és másodlagos faipar fejlesztését.

Sopronban az 1957/58. tanévben az erdőmérnök képzés mellett megkezdődött az önálló faipari mérnökképzés, majd 1962-ben létrejött az Erdészeti és Faipari Egyetem, önálló Faipari Mérnöki Karral, ahol az oktatás mellett megalakult a faipari kutatási bázis is. Az anyagtudományi alapkutatások a faanyag fizikai és kémiai tulajdonságait tárja fel, fa-víz kapcsolatok, faanyagmodifikáció kérdéseivel foglalkozik, az alkalmazott kutatások a fa megmunkálásának eszközeire, gépeire, azok kölcsönhatásának vizsgálatára, a technológia fejlesztésére, a faanyagvédelemre, az iparági ökonómiára, logisztikára, hulladékgazdálkodásra és energetikára irányulnak. Az utóbbi években a nanotechnológiai megoldások kutatása is hangsúlyossá vált.

A FAKI bő négy évtizedes tevékenységének idején fontos alap-, alkalmazott és fejlesztési kutatásokat végzett a fa- és faalapanyagú termékeket előállító és felhasználó iparágak részére. Legfontosabb kutatási területei a fűrész- és lemezipar, bútor- és épületasztalos-ipar, faanyagvédelem és faipari szervezés, gyártás- és gyártmányfejlesztés, az alap- és segédanyagok tulajdonságainak vizsgálata, a hulladékhasznosítás, magas- és mélyépítési faszervezetek, bútorok kialakítása, favédő szerek és -eljárások kidolgozása, a számítástechnika faipari alkalmazása volt. Ezek mellett szakértői feladatokat, műszeres vizsgálatokat, szaktanácsadást, ágazati szabványosítási feladatokat is ellátott.

Az első időszakban a hazai lemezipari kutatási eredmények első sorban az 50-es évektől sorra létrejövő gyártási kapacitásokhoz, technológiákhoz, azok fejlesztéséhez, jobbításához kapcsolódtak és fokozatosan szélesedett ki a kutatások tudományos köre a FAKI és az EFE FMK létrejöttével. A hazai faipari tudományos és szakmai élet folyóirata az 1950-ben indult Faipar volt, amelyben mindkét intézmény, valamint a gyárak, üzemek kutatói, mérnökei folyamatosan mutatták be eredményeiket.

Fontos ismerni a hazai lemezgyártás alakulását is, hiszen ez alapvetően meghatározta a vonatkozó kutatások irányát, területeit. Az 50-es évek végéig csak a furnér alapú lemeziparról beszélhetünk. Ez egészen ki az 1959-ben átadott hosszú évekig épült mohácsi nedves eljárású farostlemezgyárral ( $\sim 6000 \text{ m}^3/\text{év}$ ), igaz ugyan, hogy már 1951-ben létrehozták a Farostlemez Kísérleti Üzemet, amely még ebben az évben le is gyártotta az első hazai farostlemezeket. Ugyancsak 1959-ben kezdte meg Szombathelyen működését az első hazai forgácslapgyár ( $6000 \text{ m}^3/\text{év}$ ). Ezekben az években elsősorban a gyártás megvalósításának alátámasztásával foglalkoztak a kutatók, így világgpiaci termelési adatokkal, gazdaságossági kérdésekkel és technológiák ismertetésével foglalkozó publikációkkal találkozhatunk, a termékekhez, technológiákhoz kapcsolódó kutatások jórészt ezt követően indulnak meg, hiszen új anyagokról és termékekről volt szó, amelyek teljes karakterizálása ekkor még hiányzott.

Ifj. Kolosváry (1959) áttekintő tanulmányában a forgácslapgyártásban alkalmazható nagyfrekvenciás melegítés kérdéseit vizsgálta. A kontakt melegítéssel kombinálva egy sokkal kedvezőbb lapsíkra merőleges felmelegedés, és kiegyenlített hőmérséklet-eloszlás valószínűsíthető meg, mely által a forgácslemezek ragasztóanyagának reakciósebessége tejes keresztmetszetben nő és a présidő csökkenthető.

Hadnagy (1959) A. Desodoudil & F. Kollmann *Holz als Roh und Werkstoff* folyóiratban megjelent cikkének recenziójában ír a vizsgálati körülmények befolyásoló hatásairól farostlemez vízállósági vizsgálatain esetén. Megállapítják, hogy a mért jellemzők nem csupán az áztatás idejétől, hanem a víz hőmérséklettől, a víz kémhatásától, a próbatestek elhelyezkedésétől és a próbatest nagyságától is függenek.

Széplaki (1959) technológiai kutatást folytatott a forgács- és pozdorjalapok préselési paramétereinek vizsgálatával, amellyel új hőprések tervezési elveihez járult hozzá. Vizsgálata a présparaméterek függvényében változó jellemzőket, mint a szilárdság, felületi finomság, gázok/gőzök eltávoztása. Célja a préskapacitások növelése volt a termékjellemzők javítása mellett.

Nagyon fontos technológiai kutatást végzett Zombori (1960) a forgácslapok ragasztózáására és préselésére vonatkozóan. Felismerte a hőpréselés során a lapszerkezetben létrejövő gőz transzport általi hőtranszport jelentőségét, és meghatározta a fedő és közép réteg optimális nedvességtartalmát. Ugyancsak vizsgálta a prészárás sebességének és hőmérsékletének hatását a késztermék minőségére. Barlai & Lázár (1960) is a hőpréselési folyamatok és paraméterek hatásait vizsgálta, úgy, mint a nedvesség szerepét a zárás idővel ill. a kötési szilárdsággal összefüggésben, valamint a forgácslemez és a kész lapok nedvességtartalma közötti összefüggéseket. Vizsgálat továbbá a préselési hőmérséklet hatását a zárás időre, a ragasztóanyag kikeményedési körülményeire. Vizsgálta a présnyomás fajtáját

értéke és a zárási idő összefüggését ill. a présnyomás hatását a lap víztelenedésére. Cziráki (1983) a forgácslapgyártás hőpréselése során vizsgálata nedvesség szerepét, a „gőzütés” eljárás különböző formáiban. Palotai (1968) is foglalkozott a faforgács és pozdorja lapok préselési paramétereinek optimalizálásával, első sorban a présdiagram jelleggörbéjére vonatkozóan. Dalocsa (1969) kifejezetten a forgácslapgyártás présidejének csökkentési lehetőségeit vizsgálta a vegyszerezési paraméterek optimalizálásával, és további technológiai kutatási irányokat vetett fel. Winkler (1987) hőkamerával vizsgálta a hőmérséklet eloszlását kéreglapokban, faforgácslapokban, valamint rétegtelmezben hőpréselés során. A vizsgálat pontosabb présidőmeghatározást tett lehetővé.

Ez első nem technológiához kötődő kutatási beszámoló a FAKI-ból származik. Bálint et al. (1960) a xylenol és karbamid ragasztóanyaggal készített forgácslapok gombaállóságát vizsgálták, és megállapították, hogy a karbamid alapú ragasztóanyag inkább elősegíti a gombák terjedését, míg a xylenol ragasztóval készült lapoknál a gombakárosítás gátlását figyelhették meg. Később Vehovszky (1964) is foglalkozott a forgácslapok gombaállóságával, azon belül is a védőszer forgácslemezbe juttatásának módszereivel (forgácsra permetezés, ragasztóanyagba keverés), annak hatékonyságával.

Hamar (1960) a technológiai paraméterek kemény farostlemez minőségére gyakorolt hatásait vizsgálata: optimális aprítékméretet, az őrlésfok és a szilárdsági jellemzők összefüggését, a síkszítás lemezképzés kérdéseit, a hőpréselés paramétereit, valamint a farostlemezek edzésének (termikus utókezelésének) jelentőségét. Később Asztalos (1964) is vizsgálata a farostlemez minőségét befolyásoló tényezőket, úgy, mint a faanyag tárolása, aprítása, a rostosítási paraméterek (lombos és fenyők közti különbség) valamint a présparaméterek. Asztalos & Balogh (1968) a nedves eljárású farostlemezek rétegelváltását és annak technológiai okait vizsgálták, és javították termékminőséget a síkszita egyes szakaszainak beállításával. Devescovi (1988) keménylombos fafajok rostosítási paramétereinek hatását vizsgálta a rostminőség szempontjából. Az összefüggéseket matematikai függvényekkel írta le. Winkler & Patt (1988) erdeifenyő, fekete nyár, akác és csertölgly alapanyagok cellulózfeltárási lehetőségeit vizsgálták ASAM-eljárással.

Dalocsa (1960) kimutatta a forgácslapok hajlítószilárdságának jelentős függését a próbatetek szélességétől, ami a szabványosalkotást is megalapozta. Később (1961) vizsgálta a forgácslapok nedvességgel szembeni viselkedését, a vízfelvételi és dagadási jellemzőket, ezek dinamikáját, a sűrűséggel, bemerítési módokkal való összefüggéseit, valamint ezeknek a forgácslap szilárdságára gyakorolt hatását. 1967-ben a mechanikus és légsodrásos forgácssterítők elméleti és gyakorlati kérdéseivel foglalkozott a forgácslapok fizikai és mechanikai jellemzőinek vonatkozásában, amely eredmények alapján ismertette a kétféle eljárás előnyeit, hátrányait.

Hadnagy 1961-ben a forgácslapok szerkezetével, annak vizsgálati módszereivel foglalkozott, amikor még nem létezett a röntgenes sűrűségeloszlás vizsgálat. E helyett mechanikus módszereket alkalmazott és hasonlított össze, mint a lapsíkra merőleges szakító szilárdság vizsgálat, rétegnyíró szilárdsági vizsgálat, hasító vizsgálat és a rétegtellenállás vizsgálat. Vámos (1980) a forgácslapok csavarállóságával foglalkozott nagy részletességgel

különböző csavarok és magfurat alkalmazásával. Eredményei alapján szabványmódosításokat javasolt.

Ruska egy három részes cikksorozatban (1962) foglalkozott a forgácslap minőségi jellemzőinek roncsolásmentes, elektromos vizsgálataival, amelyeket a FAKI-ban fejlesztettek ki. Ilyen a dielektromos módszerrel történő nedvességtartalom és sűrűség meghatározás, in-line méretmeghatározás, in-line vastagságmérés kontakt, induktív ill. kapacitív mérőátalakítókkal.

Horváth & Illés (1963) a faalapanyag és választékainak a forgácslap tulajdonságaira gyakorolt hatásait vizsgálták. A kísérletek tölgy, cser és bükk fajokra tértek ki – rönk és tűzifa – és vizsgálták az ezekből készített forgácslemezek felületi minőségét, éltartósságát és megmunkálhatóságát. Fáy et al. (1963) ugyancsak a keménylombos fajok alkalmazhatóságát vizsgálták a farost és forgácslapgyártásban, hogy az alapanyagbázist bővíteni lehessen, ill. a hazai fafajösszetételhez tudják igazítani. Ezt megelőzően fenyő és lágylombos fajokat dolgoztak csak fel a hazai gyárak és ez a vizsgálat kiterjedt a bükk, a tölgy és a cser alapanyagokra, elsősorban fűrészipari és bútorgyártási hulladék bázison. Később Heidekker (1966) a fenyő és a cser keverési arányának hatását vizsgálta a farostlemezek szilárdsága és higroszkópos jellemzői szempontjából. Sikerült szélesebb fajkeveréssel is változatlan minőségű keményfarostlemezt készíteni. Lázár (1968) a lombos fajok hatásait vizsgálta valamennyi technológiai művelet szempontjából, így a forgácsképzés, a ragasztózás, és hőpréselési paraméterek tekintetében. Megállapította, hogy a fedőrétegben előnyösebb lágylombos fajokat alkalmazni, míg a középrétegben keménylombosok is elhelyezhetők a kedvező szilárdság eléréséhez. Optimalizálta a ragasztóanyag szórás cseppméretét és a présdiagramot. Alpár (1971) a különböző fajok apríték és forgács jellemzőit, valamint a tömörítési foka és a szilárdsági értékek közti összefüggéseket vizsgálta. Takáts (1977) a cser forgács lenpozdorjával, majd 1978-ban lenpozdorja nyárral való különböző arányú keverésének lehetőségeit vizsgálta pozdorjalapok gyártásakor. A két lombos faj közül a nyár adott jobb eredményeket. Takáts (1980) a lenpozdorja részecskék alakiságát – úgy, mint méret eloszlás és karcsúság – is vizsgálta szitaanalízissel, és akkor még újdonságnak számító számítógépes statisztikai kiértékeléssel. Fonófűz és lenpozdorja hulladék különböző arányú keverésével folytatott lapgyártási kísérleteket Takáts (1982), és megállapította, hogy a fűzhulladék arányának növelése a szilárdság romlását eredményezi. Nyárs (1985) mesterséges klimatikus körülmények ill. a farontó gombok forgácslapok mikrostruktúrájára gyakorolt hatását vizsgálta pásztázó elektronmikroszkóp segítségével.

Cziráki (1964) szabályozott tulajdonságú forgácslapok laboratóriumi gyártásával kísérletezett. Már az OSB amerikai szabadalmaztatása előtt (Elmendorf) készített és vizsgált irányított forgácselrendezésű lemezeket, amely módszer a forgácselrendezéstől függetlenül alkalmas lehet lemez, tartó és idompréselt termékek gyártására egyaránt. Devescovi (1982) orientált fedőréteggű forgácslapokkal végzett kutatást. A középréteg hagyományos középforgács volt, míg a vékony fedőrétegbe strand szerű furnérhulladékot alkalmaztak orientáltan. Az így készített lapok hajítószilárdsága duplája volt a közönséges forgácslapénak.

Kolosváry (1965) a forgács és pozdorjalapok vízzel szembeni ellenállásának változását vizsgálata az alapanyagok előzetes hőkezelése függvényében, ahol 13 perces időtartammal és 160-200-210-235 °C hőmérsékletű előkezeléseket végzett. A hőkezelt alapanyagból készített forgácslapok szilárdsága csak kis mértékben romlott, vastagsági dagadásuk azonban közel a felére csökkent. Ezen eredmények alapján Tomek Antalné (1965) további, részletesebb vizsgálatokat folytatott termikusan kezelt faforgácsok lemeztulajdonságokra gyakorolt hatásairól. Ő rövid, néhány perces, ám magas hőmérsékletű, 230–300 °C, kezelésnek vetette alá a forgácsokat, majd vizsgálata a forgácsok kémiai összetevőinek (cellulóz, hemicellulózok, lignin) változásait. Ezek függvényében változnak a forgácslapok higroszkópos tulajdonságai és az alkalmazott ragasztóanyagok adszorpciós tulajdonságai. Domján (1976) faroslemezek környezeti klimatikus viszonyok hatásai szerinti viselkedését vizsgálta bútortipari felhasználás szempontjából. Ennek keretében légnedvesség változás hatására létrejövő méretváltozásokat és deformációt vizsgálta a raktározási körülmények függvényében

Alpár & Joó (1965) a forgácslapok forgácsalmazait és azoknak a késztermék jellemzőire gyakorolt hatását vizsgálták. Vizsgálták mind a fedő-, mind a középrétegben jelenlévő apró forgácsok (<3,0 mm) hatását a fizikai, mechanikai tulajdonságokra. Emellett vizsgálták a célforgácsok gyártási paramétereiktől való függését is (Alpár & Joó 1965). Alpár (1965) ezen felül vizsgálata a ragasztózási technológiák hatásait, konkrétan a térfogató ill. súly szerinti adagolás hatását a forgácslapok fizikai, mechanikai tulajdonságaira. Az adagolási módszerek hatását a forgácsvastagság és a fafaj hatásai szerint vizsgálta. Arató (1983) a keretfűrészpor forgácslapban történő alkalmazását vizsgálata és megállapította, hogy keresztáramú őrlőgépekkel való finomítás után kiválóan alkalmas, hogy a fedőrétegben alkalmazzuk.

Amrik & Zombori (1965) újabb típusú farostlemezek (nedves eljárású) gyártásával foglalkozott. Ezek között a finom rostréteggel borított keményfarostlemezekkel, ahol a finom réteg javítja a hajlítószilárdságot. Foglalkozott a száradó olajokkal nemesített farostlemezekkel is. Ez utóbbiaknál 35–40%-os szilárdságnövekedést és a dagadás 40%-os csökkenését figyelték meg. Tomek 1967-ben végzett újabb kutatásokat farostlemezek száradó olajjal történő nemesítésével kapcsolatban. Nyolcféle természetes olajjal dolgozott, amelyekkel főzés révén impregnálta a farostlemezeket, majd 200 °C-on végezte az edzést. Kutatásával meghatározta a szükséges olajmennyiségeket és kezelési paramétereket, amelyekkel mind szilárdsági növekedést, mind pedig a higroszkópos jellemzők jelentős javulását tudta biztosítani.

Forgácsok ragasztózási problémáival foglalkozott Tóth (1966) és Alpár (1966) is. Tóth a nedvességszint és a nyílt idő hatását vizsgálata a forgács és vegyi anyagok nedvességtartalma, ill. a katalizátor aránya függvényében. Alpár a porlasztók beállításai, a porlasztási kép és a hajlítószilárdság összefüggéseit vizsgálta és optimalizálta a porlasztó nyomását és az átáramló ragasztóanyag mennyiségét. Szendrey (1969) a faanyag kémiai tényezőinek, első sorban a kémhatásnak a forgácslapgyártása gyakorolt hatását vizsgálata. Megállapította, hogy különböző fafajok eltérő katalizátor mennyiséget igényelnek, hogy azonos körülmények között legyenek préselhetők.

A faalapú kompozitok világában egészen új irányú kutatást folytatott Czvikovszky és Kolozsváry (1967), mégpedig a sugárkémiai úton készül fa-műanyag kompozitokat vizsgálták. A módszer lényege, hogy a műanyag (PVC) fázis monomereit folyadék állapotban viszik be a fába, majd valamilyen nagy energiájú sugárzással in-situ történik meg a műanyag polimerizációja. Németh (1975) a hőre keményedő poliészter gyantával impregnált rezgő nyár paradiffúzióját vizsgálata. Kimutatta, hogy a monomer, ill. kikeményedés után a polimer nem hatol be az interfibrilláris terekbe, így a sejtfalak vízfelvétele csak kis mértékben csökkenti, és a nedvességfelvételt csak lassítja.

Reményi (1968, 1970) három részes cikksorozatban publikálta összehasonlító vizsgálatait különböző eljárásokkal és gyártónál készített rétegeltlemezek szilárdságáról. A változók a fafajban, rétegszámban, rétegvastagságban, ragasztóanyag előkészítésben, préselési paraméterekben, felhordott ragasztóanyag-mennyiségben voltak. Ezeken felül gazdasági elemzést is készített a vizsgált technológiákkal ill. termékekkel kapcsolatban. Németh (1976, 1977) a műszaki és a bútorigipari színfurnér-gyártási technológiákat vizsgálta, ezen belül is kihozatalt, a hámozott furnér szakadatlanságát, a technológia rugalmasságát, stabilitását. Németh (1986) a rétegelt falemezek hőmérsékleteloszlását vizsgálta hőpréselés során. A lemezszerkezet felmelegedésének pontos ismerete segítséget ad a présparaméterek optimalizálására. Tölgy, bükk és mahagóni színfurnérok felületi minőségét vizsgálta Németh (1980) a prizmakialakítás és hasítási irány függvényében. Megállapította, hogy míg a hazai gyűrűslakcsú fafajok esetén törekedni kell a felezett prizmaalakra, addig a hazai szórtlakcsúak esetében nincs jelentősége a prizmakialakításnak. Németh (1985) a furnérhámozás során keletkező repedéseket vizsgálta és definiálta a kritikus repedés fogalmát. Megállapította méréseivel, hogy a repedések milyen mértékben befolyásolják a furnér, ill. az abból készült rétegeltlemezek szilárdságát. Molnár et al. (1983) az akác színfurnér gyártásra való alkalmasságát vizsgálták. A prizmákat túlnyomásos gőzöléssel lágyították különböző paraméterek mellett, majd vízszintes hasítógépen 0,7 mm vastag furnért hasítottak. Munkájuk során kidolgozták az akác furnérgyártási technológia paramétereit. Németh (1985) a tömörítés és a rétegelt lemezek tulajdonságai közti összefüggéseket vizsgálata. Bükk és nyár furnérok különböző préselési paraméterek melletti tömörítését végezte el, és vizsgálata a tömörödés idő és nyomás függését. Emellett vizsgálta a rétegeltlemez gyártásakor bekövetkező tömörödés hatását a termék szilárdságára vonatkozóan. Németh & Jakál (1987) a műszaki furnérok jellemzői és a belőlük készült rétegeltlemezek szilárdsága közötti összefüggéseket vizsgálták. A kutatás során bükk, gyertyán, éger, hárs és nyár furnérokat vizsgáltak, és megállapították, hogy a rétegelt lemezek tulajdonságai csak a furnértulajdonságok együttes figyelembevételével tervezhetők. Szoros lineáris összefüggést állapítottak meg a furnér és a rétegeltlemez szilárdsági jellemzői között.

Az építőipari felhasználási igények megjelenésekor Nyárs (1972) a forgácslapok égéskésleltetési lehetőségeit vizsgálta különböző szervesetlen égéskésleltető anyagok alkalmazása esetén. Később (1986) a forgácslapok tartóságának vizsgálataival foglalkozott, öt módszert hasonlított össze: a víz- és nedves klímaállóság, a ciklikus igénybevételek, a természetes kitértség, az élettartam, valamint a korróziós és biológiai vizsgálatokat. Nyárs (1987) a forgácslapok természetes körülmények közötti kitértségét is vizsgálta MUF, UF

és Portland cement kötőanyag felhasználása mellett. A lemezek hajlítószilárdságát vizsgálta a 3, 12, 18, 24 és 30 hónap után. A legtöbb esetben a szilárdság exponenciális csökkenését figyelte meg.

Németh (1977) a forgácslapgyártás egy fontos környezeti kérdésével, a formaldehid kibocsátással foglalkozott. Vizsgálta a felszabaduló formaldehid mennyiségét befolyásoló tényezőket, és a csökkentési lehetőségeket.

Pál (1978) vizsgálta először a forgácslapok és farostlemezek érdességét mechanikus érdességmérő műszerrel. Méréseivel felületi minőségi sorrend meghatározására tett javaslatot.

Winkler (1986) a hazai farostlemezgyártási fejlesztések lehetőségeiről írt, melyek közül a gipszkötésű rostlemez laboratóriumi kísérleteit részletezi akác és cser alapanyagból, amelyek főbb jellemzői azonban alatta maradnak a fenyő alapanyagú hasonló termékek értékeihez képest. A faforgácslapipar fejlesztési lehetőségeiről – pl. furnérforgácslap – és új vizsgálati módszerekről ír Winkler (1980), amelyek közül kiemelte a pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatait, amelyek lehetővé tették a ragasztási felületek és törésképek részletes elemzését.

Cziráki & Winkler (1980) a furfurologyártásban keletkező fahulladékok hasznosíthatóságával foglalkozott. Vegyes fafajú farostlemezgyártási farostot keverték különböző arányban a furfurologyártás lombosfa hulladékával és készítettek belőle farostlemezeket. Ugyancsak vizsgálták háromrétegű forgácslapban való hasznosítást, ahol vegyes forgácshoz keverték a hulladékot. A furfurologyártási hulladék alkalmazásakor egyes keveréseknél nem használtak ragasztóanyagot. A hulladék arányának növelésével általában romlott a lapok szilárdsága.

### Faalapú kompozitok – a rendszerváltás után

Nyárs (1992) a ragasztóanyagok és fafaj használatának a forgácslapok tartósságára gyakorolt hatását vizsgálta akác, erdeifenyő, csertölgy és nyár alapanyagok, valamint MUF, PF és MDI ragasztóanyagok felhasználásával. A vizsgálati módszerek széles körűek voltak: természetes kitettség, nedves klíma, ciklikus öregítés, tartós terhelés és biodegradáció. Megállapította, hogy mind a fafaj, mind a ragasztóanyag befolyásolja a tartósságot. Emellett új vizsgálati módszereket is alkalmazott, mint pl. az IR spektroszkópia a biodegradáció nyomon követésében.

Szántó & Németh (2001) farostlemezek szorpciós tulajdonságait vizsgálták különböző fafaj mixek, lemezvastagságok és prэшőmérsékletek esetén. Szántó et al. (2003) az óriásfű (*Elymus elongatus* (*Agropyron elongatum*) cv. *Szarvasi-1*) nedves eljárású farostlemezgyártásban történő felhasználhatóságát vizsgálták. A laboratóriumi és üzemi kísérletek igazolták a Szarvasi-1 fű alkalmasságát, azonban egy tényleges felhasználás több technológiai módosítást igényelt volna. Ugyanezt az alapanyagot vizsgálata Alpár & Markó (2016), ám ezúttal száraz eljárású farostlemez (MDF) kísérleti gyártásához karbamid-formaldehid, melamin-karbamid-formaldehid valamint fenol-formaldehid ragasztó felhasználásával. Winkler & Alpár (2005) keménylombos fafajok, nevezetesen



akác és csertölgly alkalmazhatóságát vizsgálták nedves eljárású farostlemezgyártásban ill. gipszkötésű rostlemez gyártásban. Alpár et al. (2007, 2010) laboratóriumi, majd ipari körülmények között vizsgálták ültetvényes fafajok alkalmazhatóságát száraz eljárású farostlemezgyártásban. A vizsgálat fafajok Pannónia nyár, I214 nyár, akác és feketefenyő voltak.

Bejó et al. (2005) kísérletet tettek teherviselő célú cement kötésű kompozit gerendák kifejlesztésére, azonban nem sikerült megfelelő szilárdságú gerendákat előállítaniuk. A cement és faanyag közötti kapcsolat javítására tett kísérleteik, melynek során különböző rétegenkénti (LbL) nanobevonatokat alkalmaztak (Bejó et al. 2016a, b) ígéretes eredményeket hoztak. Sajnos azonban a továbbiakban, a termék továbbfejlesztése során nem sikerült jelentős javulást elérni a gerenda szilárdságában.

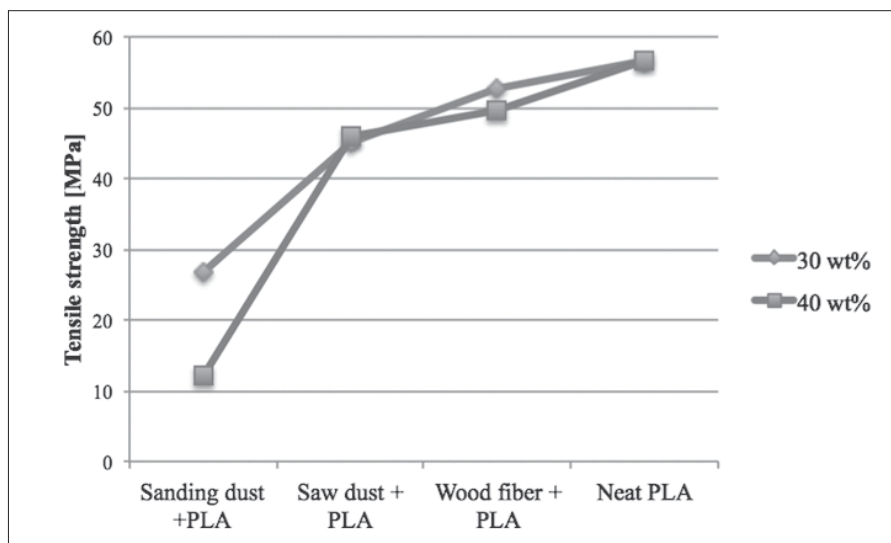
Alpár (1994, 2000) cementkötésű forgácslapok kötés gyorsítási lehetőségeit kutatta mind adalékanyagok alkalmazása, mind pedig CO<sub>2</sub> injektálás révén, amely területen számos új eredményt ért el. Optimalizálta a széndioxidos kötés gyorsítás paramétereit, vizsgálta a hagyományos és a gyorsított eljárású lemezek porozitását (Alpár et al. 2003). Fontos megállapításokat tett ezen termékek TG és DSC vizsgálatai révén (Alpár et al. 1997). Klasz (2008) húszféle hazai nyár hibridet vizsgált meg cementkompatibilitás tekintetében hidratációs vizsgálatokkal ill. cukor- és tannintartalom mérésekkel. Alpár & Rácz (2006) I214 nyárfá és erdei fenyő különböző arányú keverékeivel készített jó eredménnyel cementkötésű forgácslapokat. Alpár et al. (2011, 2012) alternatív kompatibilizáló anyaggal, PDDA töltésmódosítóval ill. montmorrillonit nano ásvánnyal végzett sikeres kutatásokat nyár, valamint erdefenyő alapú cementkötésű kompozitok – cementkötésű forgácslapok, valamint fagyapotlemezek – tekintetében. Mind a szilárdsági eredmények, mind az anyaghasználat igen kedvezőnek bizonyult.

A CLT néven ismert, tömörfa lamellákból álló keresztlaminált építőlemez robbanás-szerű fejlődésen ment keresztül az elmúlt két évtizedben, és továbbra is töretlen az érdeklődés e sokrétű, környezetbarát építőanyag iránt. A nagy érdeklődésre való tekintettel a CLT-hez egy idő után várhatóan egyre nehezebb lesz jó minőségű fenyő faanyagot beszerezni, ezért a közeljövőben felértékelődhet egyéb fafajok szerepe. Hazai kutatók (Markó et al. 2015, 2016) magyar I-214 olasznyár (*Populus × euramericana* cv. I-214) felhasználásával tettek kísérletet CLT gyártására. Az eredmények részben biztatóak; a kísérleti panelek szilárdsága megfelelő lett, azonban a rugalmassági modulus némileg alulmaradt a várakozásokhoz képest. A rossz eredmények egyik okaként a lamellák osztályozását azonosították. Jelenleg folynak a kísérletek jobb műszaki tulajdonságú nyár, valamint vegyes (bükk-nyár, bükk-fenyő, fenyő-nyár) panelek fejlesztésére.

A nyár faanyag ragasztott építőipari termékekben történő hasznosítására már a '70-es években történtek kísérletek (Wittmann & Pluzsik 1973, 1975; Kajli et al. 1975). Ennek köszönhetően 1975-ben meg is épült egy hazai nemesnyárból (*Populus × euramericana* cv. *Robusta*) készült többfunkciós csarnok, melynek érdekessége, hogy a külső héjazata is nyár vázszerkezetű könnyűszerkezetes panelekből készült. Egy 2012-es felülvizsgálat megállapította, hogy a megfelelő faanyagvédelemmel ellátott nyár anyagból készült

csarnok közel 40 év elteltével is jó műszaki állapotban van (Schlosser et al. 2012). Ez is mutatja, hogy a nyár anyag építőipari hasznosításában van potenciál.

Sanadi et al. (2004) WPC kutatással foglalkoztak, kenaf rostokat ágyaztak polipropilén mátrixba. Kötésvjavítóként maleinsav anhidritet használtak, valamint a rostokat különböző arányú glicerinnel kezelték. Ez utóbbi arányának növelése növekvő szál-mátrix kapcsolattal, így növekvő szilárdsággal járt. Alpár (2019) fa-PLA (politejsav) kompozitokon vizsgálta az erősítő faanyag részecskék alakiságának hatását a kompozit szilárdságára. Falisztet (csiszolatpor), mikroforgácsot (fűrészpor) és valódi rostokat (defibrátor rost) kevert extrúderrel különböző arányban a PLA mátrixba. Megállapította, hogy az alakiságnak jelentős hatása van a kompozit szilárdsági jellemzőire, ill. definiálta az alakiság alapján, hogy milyen karcsúsági tényező esetén tekinthető a fa részecske erősítőszálnak, és mikor egyszerű töltőanyag. Markó & Alpár (2018) len szövet ill. üveg szövet erősítésű PLA réteges kompozitokat vizsgáltak, és megállapították, hogy kompatibilizáló adalék nélkül erősebb kölcsönhatás alakul ki a lenszálak és a PLA között, mint az üvegszálak és PLA között. Kocsis (2008) farosttal erősített műanyagkompozitok tönkremenetelét vizsgálta akusztikus emissziós módszerrel PLA mátrixba ágyazott mikroforgács erősítésű kompozitban.



*Különböző alakiságú és mennyiségű fa részecskékkal erősített fa-PLA kompozitok húzószilárdsága (Sanding dust – csiszolatpor, wood fiber – farost, wt%-tömegszázalék)*

Winkler et al. (2006) több kutatás eredményéről számoltak be, így foglalkoztak szálas műanyag hulladék akácfa rostokból készített gipszkötésű farostlemezekbe történő alkalmazásával, papír- ill. cellulózyári rostiszap, REA-gipsz és precipitált mésziszap hasznosításával, továbbá impregnált dekorpapír hulladék forgácslapgyártásban történő hasznosításának lehetőségével (Alpár & Winkler 2006). Alpár et al. (2006) forgácsla-

pok és farostlemezek újrahasznosíthatóságával foglalkozott. A falemezeket különböző hőmérséklet és gőzállapotok mellett autoklávban hitrotermikusan kezelték, majd az így szétcsétt és rekondicionált forgácsokból és farostokból, 100%-ban újrahasznosított alapanyagból tudtak szabványos minőségű forgácslap és MDF termékeket készíteni.

Takáts et al. (2012) magassfényű, színes újságpapír darálásával, majd kötőanyag hozzáadása nélküli hőpréselésével készített extra nagy sűrűségű rostlemezeket, amelyek érdekes alapot jelenthetnek a papírhulladékok újrahasznosításában. Varga (2007) cementkötésű rostlemezeket készített napilap célú újságpapír újrahasznosításával, különböző rost-cement keverési arány mellett félszáraz eljárással. Németh (2010) irodai papírhulladékot hasznosított újra különböző arányban farosthoz keverve száraz eljárású MDF gyártásában.

Érdekes kísérlet történt a 2010-es évek elején a fertő-tavi nád anyagának hasznosítására, cement kötésű kompozit anyag formájában (Alpár et al. 2012). A kísérlet során nád anyag és cement felhasználásával szigetelő panelek készültek. Az eredmények kielégítőek voltak; a kereskedelmi forgalomban kapható fagyapot alapú szigetelőanyagokhoz hasonló szigetelőképeségű paneleket sikerült előállítani.



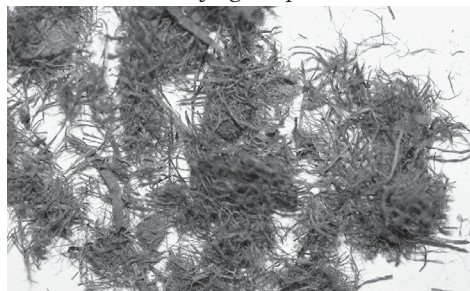
*Kalapácsos malomban ledarált forgácslap*



*Hidrotermikusan kezelt, majd szétbontott forgácslap*



*Kalapácsos malomban ledarált MDF*



*Hidrotermikusan kezelt, majd szétbontott MDF*

*Forgácsok és farostok hidrotermikus kezelés után újrahasznosítási kísérletekben*

A furnéralapú szerkezeti anyagok hazai gyártásának lehetősége szintén nagy érdeklődést generált a hazai kutatók körében. Már a '90-es években is folytak kísérletek hazai

anyagból készíthető LVL fejlesztésére (Kovács et al. 1997), majd a 2000-es évek elején magyar–amerikai együttműködésben is folytak erre vonatkozó, komplex vizsgálatok (Bejő & Láng, 2004). Németh et al. (2003) I-214 és Marilandica nyár klónok alkalmazását vizsgálták LVL gyártásban, és megállapították ezek alkalmazhatóságát szerkezeti célú termék gyártásához. A későbbiekben történtek további próbálkozások, elsősorban a hazai nyár alapanyag bázis ilyen jellegű kihasználására (Vilpponen et al. 2014), azonban az eredmények ipari hasznosítása egyelőre még várat magára.

Érdekes kísérlet történt a 2010-es évek elején a fertő-tavi nád anyagának hasznosítására, cement kötésű kompozit anyag formájában (Alpár et al. 2012). A kísérlet során nád anyag és cement felhasználásával szigetelő panelek készültek. Az eredmények kielégítőek voltak; a kereskedelmi forgalomban kapható fagyapot alapú szigetelőanyagokhoz hasonló szigetelőképes paneleket sikerült előállítani.

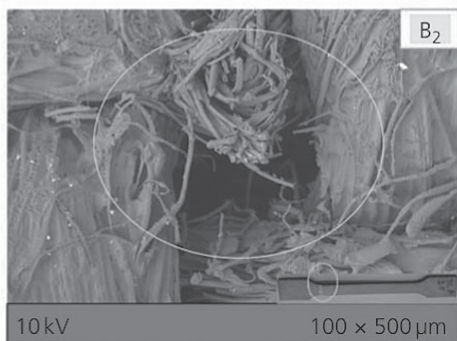
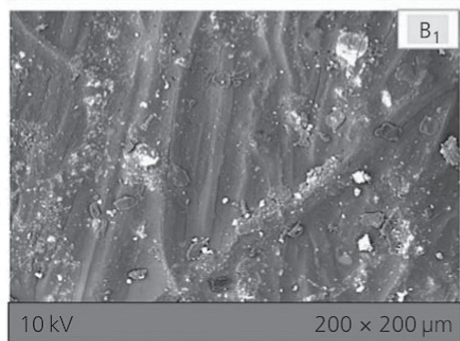
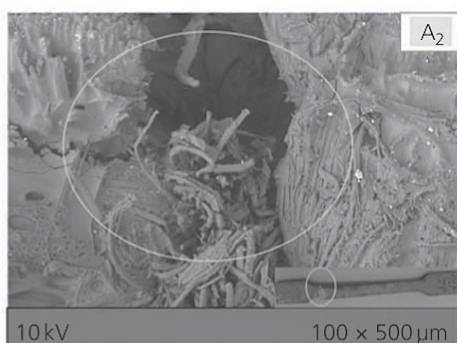
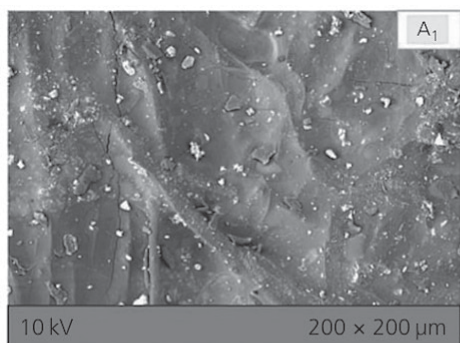
A furnéralapú szerkezeti anyagok hazai gyártásának lehetősége szintén nagy érdeklődést generált a hazai kutatók körében. Már a '90-es években is folytak kísérletek hazai anyagból készíthető LVL fejlesztésére (Kovács et al. 1997), majd a 2000-es évek elején magyar–amerikai együttműködésben is folytak erre vonatkozó, komplex vizsgálatok (Bejő & Láng, 2004). Németh et al. (2003) I-214 és Marilandica nyár klónok alkalmazását vizsgálták LVL gyártásban, és megállapították ezek alkalmazhatóságát szerkezeti célú termék gyártásához. A későbbiekben történtek további próbálkozások, elsősorban a hazai nyár alapanyag bázis ilyen jellegű kihasználására (Vilpponen et al. 2014), azonban az eredmények ipari hasznosítása egyelőre még várat magára.

Érdekes kutatási projektet jelentett az egyiptomi–magyar együttműködés, amely az afrikai ország mezőgazdasági hulladékainak hasznosítását célozta. A kutatók (Dahshan et al. 2011) a forgácsképzési és préselési paraméterek optimalizálásával igyekeztek minél jobb tulajdonságú forgácslap termékeket előállítani, bár az eredmények elmaradtak a faforgácslap teljesítményétől.

Bár a közvetlenül az ipar számára végzett kutatások jelentősége a rendszerváltás után csökkent, ebben az időszakban is folytak projektek közvetlenül az ipari megbízásból. Ilyen volt a – bútoralkatrész céljára készülő – kisméretű bükk rétegelt lemezek vetemedésére vonatkozó vizsgálat (Bejő 2010). Ennek eredményei rámutattak, hogy a vetemedést elsősorban a hőmérséklet befolyásolja, míg az – iparban rutinszerűen végzett – utólagos lesúlyozás nincs jelentős hatással az alkatrészek vetemedésére.

Az elmúlt években számos természetes szál-erősítésű polimer kompozit kutatás folyt az Alpár Tibor által vezetett Biokompozit Kutatócsoportban. A klasszikus fizikai és mechanikai tulajdonságok mellett a határfelületi anyagjellemzőket is rendszeresen vizsgálják FTIR, SEM, EDX, TG, DSC, XRD módszerekkel. Brahmia et al. (2020a, 2020b) több kutatást is folytatott cementkötésű forgácslapok tűzállósági jellemzőinek javítására. PEG 400, foszfor és bórvegyületeket használ az erdeifenyő és nyár alapanyagok kezelésére. Sikerült egy osztállyal feljebb sorolnia a termék tűzállósági besorolását. Hasan et al. (2021g, 2021f) félszáraz technológiával kísérleteztek kókusz héj és erdeifenyő forgács felhasználásával, továbbá egyes fafajból, különböző fa-cement tényezővel is készítettek rostlemezt. Egy másik kutatási terület volt különböző növényi részek (vörösfenyő ill.

tiszafa geszt, hárs levél, szil virágzat, mamutfenyő kéreg) segítségével zöldkémiai módszerrel nyert nano ezüst részecskék alkalmazása különböző természetes szövetekkel – szizál, len, kender – és üvegszövettel készített réteges kompozitokban (Hasan et al. 2021a, 2021b, 2021c, 2021d, 2021e). Vizsgálták rizs szalma és energia nád különböző arányú keverékének alkalmazhatóságát fenol-formaldehid ragasztóanyaggal biokompozit termék gyártásában (Hasan et al. 2021h). Kókusz forgács, rövid rost és hosszú rostszálak kombinálásával készítettek három-rétegű kompozitot MUF ill. fenol-formaldehid ragasztóval kihasználva a különböző alakúságú részecskék erősítő hatását. A kísérleti lemezek többek között kiváló hőszigetelési tulajdonságot mutattak (Hasan et al. 2021i, 2021j). Egy további kutatási terület a réteges kompozitok vizsgálatai. Len és üvegszövet kombinálásával, MDI ragasztóval készítettek hibrid kompozitokat és vizsgálták a mechanikai jellemzők mellett SEM segítségével a kialakult struktúrát, EDX és FTIR segítségével a felületi elemeket és TGA/DTG-vel az elemek bomlási hőmérsékleteit (Hasan et al. 2021c). Len szövet erősítésű PLA ill. PP kompozit szál-mátrix kapcsolatát vizsgálta Hasan et al. (2021k) SEM, FTIR és TG segítségével.



*Len/PLA és len/PP biokompozitok SEM-felvételei: FPLA (A1), FPP (B1), FPLA törési felület (A2) és FPP törési felület (B2)*

## **Jövőbeni potenciálok**

A természetes szálakkal erősített polimer kompozit hozzájárul a biokompozitok fejlődésének elősegítéséhez a fenntarthatóság és a teljesítmény szempontjából. A biokompozitok jelentős piaci pozíciót értek el a nagy hozzáadott értéket képviselő termékek esetében, különösen az autópárhban. Ahhoz, hogy más piacokra is kiterjedhessen, mint például az új építési technikák és a fogyasztási cikkek, a kompozitoknak nagy teljesítményjellemzőkkel, tartóssággal, kaszkádhasználattal és megbízhatósággal kell rendelkezniük. Bár a biokompozitok iránti érdeklődés az utóbbi időben növekszik, a fő kihívás továbbra is a hagyományos kompozitok helyettesítése. A biokompozitoknak összemérhető vagy jobb funkcionális és szerkezeti tulajdonságokkal kell rendelkezniük tárolás, felhasználás és a környezeti lebomlás szempontjából. Az átfogó kutatások alapján a biokompozitok piaca várhatóan bővül a jövőben, mivel a társadalmi, környezeti tudatosság és a fenntarthatóság kérdései kényszerítik ezeket a változásokat. A termékek és a technológiák gyorsan fejlődnek. Még mindig vannak kihívások az elfogadásukkal kapcsolatban, a teljesítmény-költség arány kérdései fenntarthatóságuk ellenére (a mátrix, valamint az erősítő fázisok megújuló mivolta és újrahasznosíthatósága) vonzóak. Az új anyagok jellemzéséhez új szabványokra van szükség.

A biokompozitok fenntartható alapanyagbázisra épülnek, és teljes mértékben újra hasznosíthatók, ugyanakkor drágábbak lehetnek, ha teljesen természetes alapúak és biológiailag lebonthatók, valamint érzékenyek a hőmérsékletre, a nedvességre és a biológiai kártevőkre. Ezenkívül a szerkezeti célokra tervezett biokompozitoknak meg kell felelniük a különféle előírásoknak, mint például a kibocsátás, az igénybevétel és a nagy mennyiségű hulladék kezelése. A biokompozitok új generációit széles körben kell felhasználni a tömeggyártású fogyasztási cikkekben, mind beltéri, mind kültéri termékekben. Az orvosi alkalmazásoknak ígéretes jövője is van, mivel a kutatások a biokompozitok új tulajdonságait tárják fel. A biokompozitok jó specifikus tulajdonságokkal rendelkeznek, de tulajdonságaik nagyon eltérőek. Gyengeségeiket a természetes rost / mátrix alapú kompozitok korszerű feldolgozásának közelmúltbeli és jövőbeli fejlesztéseivel kell leküzdeni. (Gurunathan et al. 2015; Mohanty et al. 2002)

A közeljövőben többek mellett a biokompozitok felhasználása is növekszik a szerkezeti alkalmazásokban. Megfelelő mátrix alkalmazásával a biokompozitok 100% -ban biológiailag lebonthatók lehetnek, de biológiai lebonthatóságuk kontrollálása kihívást jelent. A biokompozitok gyenge hosszú távú teljesítményt, nemlineáris mechanikai viselkedést és alacsony ütési szilárdságot mutattak. Fontos a biokompozitok életciklusának értékelése annak érdekében, hogy megőrizzük a fő előnyt a nagy teljesítményű biokompozitok kidolgozása során. Új piacok alakulnak ki, amikor ezek a termékek tartósabbak, méret-stabilak, erősek, nedvességállóak és tűzállóak lesznek. (Faruk et al. 2012)

A jövőben rejlő lehetőségeket a nanotechnológia mutatja be. Számos ígéretes lehetőséget kínál a biokompozit termékek fejlesztésére. Nemcsak a nanokompozitokat kell figyelembe venni, hanem a nanotechnológián alapuló bevonatok fejlesztését is, amelyek csökkentik a vízfelvételt, csökkentik a biológiai lebonthatóságot és az illékony szerves

vegyületek kibocsátását, sőt javítják a lángállóságot. A nanokristályos cellulóz felhasználását különféle célokra vizsgálják, mivel erősebb, mint az acél, és merevebb, mint az alumínium. A nanokristályos cellulózzal megerősített kompozitok fejlett teljesítményt, értéket, tartósságot és élettartamot biztosítanak egy teljesen fenntartható technológia mellett. (Fernandez et al. 2016; Halász et al. 2015)

A 2021 év építőanyag trendjei bebizonyították, hogy milyen veszélyes mértékben függővé vált a hazai építőipar a nemzetközi építőanyag piactól. A fenyő faanyag jelentős ár ingadozásai különösen nehéz helyzetbe hozták az ácsipart és a könnyűszerkezetes faházgyártást. A helyzetet tovább rontja, a klímaváltozás miatt elszaporodó erdei kártevők által előidézett fenyőpusztulás, illetve ennek következtében a jövőben várhatóan csökkenő fenyő alapanyagkészletek. A hazai lombos faanyag alternatívát kínál a költséges külföldi fenyő faanyag kiváltására. Az utóbbi évtizedekben számos kísérlet történt néhány hazai lombos faanyag (pl. nyár) felhasználására különböző területeken, különösen a ragasztott szerkezeti termékek (hossztoldott fűrészáru, rétegelt-ragasztott tartó, CLT) gyártásában, változó sikerrel. A lombos faanyag alapú építőipari célú kompozitok fejlesztése hangsúlyos lesz a következő években.

## Irodalom

- Alpár T. 1965: A kötőanyagfelhordásnál és terítésnél alkalmazott térfogat, illetve súly szerinti adagolás hatása a forgácslapok fiziko-mechanikai tulajdonságaira. *Faipar XV.* 8: 243–246
- Alpár T. és Joó I. 1965: Az apróforgácstartalom hatása a faforgácslapok fiziko-mechanikai tulajdonságaira. *Faipar XV.* 6: 179–188
- Alpár T. és Joó I. 1965: Az apróforgácstartalom hatása a faforgácslapok fiziko-mechanikai tulajdonságaira. *Faipar XV.* 7: 197–204
- Alpár T. 1966: Kötőanyag-felhordás a forgácslapgyártásba szekunder-levegős porlasztók segítségével. *Faipar XVI.* 10: 306–310
- Alpár T. 1971: Forgácslapipari kutatások többféle fafaj együttes használatával kapcsolatosan. *Faipar XXI.* 8:247–251
- Alpár T. 1994: Széndioxidos kikeményítésű cementkötésű forgácslapok porozitásvizsgálata. Diploma dolgozat. Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron
- Alpár T., Németh K., Takáts P., Winkler A. 1996: Thermal Analysis of Cement-Bonded Particleboards. In: Moslemi, AA (szerk.) *Inorganic-Bonded Wood and Fibre Composite Materials* (Conference : 5th : 1996 Sep : Spokane, WA). 123–130.
- Alpár T. 2000: Kötésgyorsítási módszerek a cementkötésű forgácslapok gyártásánál. Doktori (PhD) disszertáció. Soproni Egyetem, Sopron
- Alpár T., Takáts P., Hatano Y. 2003: Porosity of cement-bonded particleboards hardened by CO<sub>2</sub> injection and cured by hydration. *JAPAN AGRICULTURAL RESEARCH QUARTERLY* 37(4): 263–268
- Alpár T., Hatano Y., Shibisawa T. 2006: Recycling of particleboard and fiberboard by hydrothermal process - hydrolisis of the adhesive and reconditioning of compressed wood-cells. 6th Global Wood and Natural Fibre Composites Symposium, April 5–6. Kassel, Germany, 18-1, 18-4.

- Alpár T., Winkler A. 2006: Recycling of Impregnated Décor Paper in Particleboard. *ACTA SILVATICA ET LIGNARIA HUNGARICA* 2006/2: 113–116
- Alpár T., Rácz I. 2006: Cementkötésű forgácslapok gyártása nyár forgácsból. *Faipar LIV.* 4: 20–25.
- Alpár T., Fácán T., Rácz I., Kátoli G. 2007: MDF/HDF production from plantation wood species. The 4th Conference on Hardwood Research and Utilisation in Europe 2007
- Alpár T., Pavlekovic A., Fácán T., Kátoli G. 2010: MDF-HDF production from plantation wood species - Industrial results (A research study). The 4th Conference on Hardwood Research and Utilisation in Europe 2010.
- Alpár T., Pavlekovic a., Selmecci É., Horváth L. 2011: Wood wool cement boards produced with nano minerals. 3rd International Scientific Conference on Hardwood Processing (IS-CHP32011) I: Peer reviewed contributions, 75–82.
- Alpár T., Schlosser M., Hajdu I., and Bejo L. 2012: Developing Building Materials from Cement-bonded Reed Composite Based on Waste Materials. in *The Impact of Urbanization, Industrial and Agricultural Technologies on the Natural Environment: International Scientific Conference on Sustainable Development and Ecological Footprint*, 359–367.
- Alpár T., Selmecci É., Csóka L. 2012: Advanced wood-cement compatibility with nano mineral. *International Scientific Conference on Sustainable Development & Ecological Footprint*, March 26–27 2012, Sopron, Hungary, 7. o.
- Alpár T., Markó G. 2016: Energy Grass as Raw Material for MDF Production. *Acta Sylvatica et Lignaria*, 13(1): 67–77.
- Alpár, T.L., Markó, G., Koroknai, L. 2017: Natural Fiber Reinforced PLA Composites: Effect of Shape of Fiber Elements on Properties of Composites, In: Vijay Kumar Thakur, Manju Kumari Thakur, Michael R Kessler (szerk.) 2017, *Handbook of Composites from Renewable Materials: Volume 2 - Design and Manufacturing*. New York: John Wiley & Sons; Scrivener, 287–312.
- Alpár T. 2019: Effect of Element Morphology on Strength of Wood-PLA Composite. *Proceedings of the 62nd International Convention of Society of Wood Science and Technology* October 20–25, 2019 – Tenaya Lodge, Yosemite, California USA
- Amrik L. és Zombori J. 1965: Vizsgálatok farostlemezek újabb választékainak gyártásával kapcsolatban. *Faipar XV.* 9: 293–298
- Arató I. 1983: A keretfűrészpor továbbaprítása és felhasználása finom felületű forgácslap gyártásához. *Faipar XXXIII.* 10: 289–294
- Asztalos T és Balogh G. 1968: Farostlemezek rétegelválásának okai és azok megszüntetése. *Faipar XVIII.* 6: 186–190
- Asztalos T. 1964: Farostlemez minőségét befolyásoló tényezők. *Faipar XIV.* 9: 281–284
- Bálint Gy., Krisztián Gy. és Konrád L. 1960: Xylenol és karbamid műgyantával ragasztott forgácslapok gombaállóságának vizsgálata. *Faipar X.* 5: 141–150
- Bánhegyi, G., 2007: Hosszú szállal erősített műanyagok az autóiparban (Continuous fiber reinforced plastics in automotive industry), *Műanyagipari Szemle*, 2007/2.
- Bejo L ; Lang, EM. 2004: Simulation based modeling of the elastic properties of structural composite lumber. *WOOD AND FIBER SCIENCE* 36(3) 395–410.
- Bejó L, M. B, C. L, H. Z, and K. Zs 2016b.: Improving the connection between wood and cement using LBL nanocoating to create a lightweight, eco-friendly structural material. *IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING*, vol. 123, no. conf 1



- Bejő L. 2010: Kisméretű bükk rétegeltlemezek vetemedését befolyásoló tényezők vizsgálata – Factors influencing the warpage of small beech plywood panels. FAIPAR, vol. 58, no. 1, 11–17.
- Bejő L. 2010: Kisméretű bükk rétegeltlemezek vetemedését befolyásoló tényezők vizsgálata – Factors influencing the warpage of small beech plywood panels. FAIPAR, vol. 58, no. 1: 11–17.
- Bejő L., Takáts P., Vass N. 2005: Development of Cement Bonded Composite Beams. ACTA SILVATICA ET LIGNARIA HUNGARICA: AN INTERNATIONAL JOURNAL IN FOREST, WOOD AND ENVIRONMENTAL SCIENCES 1, 111–119.
- Bejő, B. Major, and L. Csóka 2016a.: A fa és cement kapcsolatának javítása LbL nanobevonatokkal = Improving the wood-cement interface by LbL nano-coating. FAIPAR, vol. 64, no. 2, 1–6.
- Bejő, B. Major, and L. Csóka 2016a.: A fa és cement kapcsolatának javítása LbL nanobevonatokkal = Improving the wood-cement interface by LbL nano-coating. FAIPAR, vol. 64, no. 2: 1–6
- Bledzki, A.K., Gassan, J.M. 1999: Composites reinforced with cellulose based fibres, Progress in Polymer Science 24: 221–274.
- Bogoeva-Gaceva, G., Avella, M., Malinconico, M., Buzarovska, A., Grozdanov, A., Gentile, G. and Errico, M. E. 2007: Natural fiber eco-composites, Polymer Composites, Volume 28, Issue 1: 98–107.
- Brahmia F.Z., Alpár T., Horváth P.G., Csiha C. 2020: Comparative analysis of wettability with fire retardants of Poplar (*Populus T cv. euramericana I214*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*). Surfaces and Interfaces 18: 100405, 7. o.
- Brahmia F.Z., Kovács Z., Horváth P.G., Alpár T.L. 2020: Comparative study on fire retardancy of various wood species treated with PEG 400, phosphorus, and boron compounds for use in cement-bonded wood-based products. Surfaces and Interfaces 21: 100736, 12. o.
- Calumbi, R. 2014: Long fiber reinforced thermoplastics A lightweight solution for engineering applications, SAMPE BRAZIL Conference 2014 (11th November 2014).
- Cziráki J 1964: Szabályozott tulajdonságú forgácslapok gyártása. Faipar XIV. 8: 248–255.
- Cziráki J. 1983: Energiatakarékos technológiák kialakításának elméleti és gyakorlati kérdései, a faforgácslap nedvességtartalmának szerepe a forgácslapgyártásban. Faipar XXXIII. 12:353–356.
- Cziráki J. és Winkler A. 1980: A furfurologyártásban keletkező fahulladék hasznosítási lehetőségeinek vizsgálata. Erdészeti és Faipari Tudományos Közlemények. 1980. 2. sz: 203–207.
- Czvikovszky T. és Kolozsváry G. 1967: Sugárkémiail úton készült fa-műanyag kombinációk. Faipar XVII. 6:164–170.
- Czvikovszky T., Nagy P., Gaál J., 2006: A polimertechnika alapjai, Műegyetemi Kiadó, 367–385.
- Dahshan, W., Abdel, M. A., and Bejő L. 2009: Additives of wood substitutes manufactured from Egyptian Agricultural Residues. JOURNAL OF AL AZHAR UNIVERSITY ENGINEERING SECTOR, vol. 6, no. 18: 121–132.
- Dahshan, W., Abdel, M. A., and Bejő L. 2009: Optimizing the milling parameters of farm residues using a local hammer mill. in Proceedings of the 16th Annual Conference of the Misr Society of Agricultural Engineering, 1172–1189.
- Dahshan, W., Abdel, M. A., and Bejő L. 2011: A forgácsképzés paramétereinek optimalizációja egyiptine nezőgazdasági hulladékanyagok feldolgozásakor. FAIPAR, vol. 59, no. 4: 5–12.
- Dalocsa G. 1960: A forgácslapok hajlítószilárdság értékeinek változása a próbatestek szélességétől függően. Faipar X. 8: 236–244.

- Dalocsa G. 1961: A forgácsolások vízfelszívási és dagadási tulajdonságainak vizsgálata. *Faipar* XI. 4: 105–118.
- Dalocsa G. 1967: A faforgácsoláson légsodrások és mechanikus terítési elvének alkalmazásával készített faforgácsolások néhány tulajdonságának összehasonlítása. *Faipar* XVII. 4: 97–106.
- Dalocsa G. 1969: A faforgácsolások préselési időtartamának tudományos megalapozásához és további csökkentéséhez szükséges kutatások lehetséges irányai. *Faipar* XIX. 9: 259–262.
- Devescovi J. 1982: Forgácsolások hajlítószilárdságának javítása orientált fedőréteggel. *Faipar* XXXII. 8: 239–242.
- Devescovi J. 1988: A rostosítási paraméterek hatása a rostminőségre keménylombos fafajok rostosításakor. *Faipar* XXXVIII. 1: 22–25.
- Domján G. 1976: A farostlemez készítmények bútoripari felhasználásával kapcsolatos hőmérséklet és klímaviszonyok vizsgálata a TVB-nél. *Faipar* XXVI. 9: 284–286.
- Ebeling, F-W.; Huberth, H.; Schirber, H.; Schlör, N.; Schwarz, O., 2007: *Kunststoffkunde*, Vogel Business Media
- Faruk, O., Bledzki, A.K., Fink, H-P., Sain, M. 2012: Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010, *Progress in Polymer Science* 37: 1552–1596.
- Fáy M., Karner K., Lonkai J., Schmidt E., Zágoni I. 1963: A keménylombos fafajok felhasználási lehetőségének vizsgálata és technológiája a farost- és forgácsolóiparban. *Faipar* XIII. 11: 325–332.
- Gurunathan, T., Mohanty, S., Nayak, S.K. 2015: A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives, *Composites: Part A* 77: 1–25.
- Hadnagy J. 1959: A vizsgálati körülmények befolyása a farostlemez vízállósági vizsgálatának eredményeire. (Cikkismertetés) *Faipar* IX. 3: 82–86.
- Hadnagy J. 1961: Forgácsolások szerkezetének vizsgálati módszerei és összehasonlításuk. *Faipar* X. 5: 141–146.
- Halász, K., Hosakun, Y., Csóka, C. 2015: Reducing Water Vapor Permeability of Poly(lactic acid) Film and Bottle through Layer-by-Layer Deposition of Green-Processed Cellulose Nanocrystals and Chitosan. *INTERNATIONAL JOURNAL OF POLYMER SCIENCE*.
- Hamar K. 1960: A kemény farostlemez minőségét befolyásoló egyes technológiai tényezőkről. *Faipar* X. 6: 187–193, ill. *Faipar* X. 8: 253–255.
- Hasan K. M. F., Horváth P.G., Alpár T. 2021c: Thermomechanical Behavior of Methylene Diphenyl Diisocyanate- Bonded Flax/Glass Woven Fabric Reinforced Laminated Composites. *ACS Omega* 2021, 6, 9: 6124–6133.
- Hasan K. M. F., Horváth P.G., Alpár T. 2021f: Development of lignocellulosic fiber reinforced cement composite panels using semi-dry technology. *Cellulose* 28: 3631–3645.
- Hasan K. M. F., Horváth P.G., Alpár T. 2021g: Semi-dry technology-mediated coir fiber and Scots pine particle-reinforced sustainable cementitious composite panels. *Construction and Building Materials* 305: 124816
- Hasan K. M. F., Horváth P.G., Horváth A., Alpár T. 2021b: Coloration of woven glass fabric using biosynthesized silver nanoparticles. *Inorganic Chemistry Communications* 126: 108477
- Hasan K. M. F., Horváth P.G., Kóczán Z., Alpár T. 2021i: Thermo-mechanical properties of pretreated coir fiber and fibrous chips reinforced multilayered composites. *Scientific reports*. 11:3618

- Hasan K. M. F., Horváth P.G., Kóczán Z., Bak M., Alpár T. 2021a: Colorful and facile in situ nanosilver coating on sisal/cotton interwoven fabrics mediated from European larch heartwood. *Scientific Reports* 11:22397
- Hasan K. M. F., Horváth P.G., Kóczán Z., Bak M., Horváth A., Alpár T. 2021e: Coloration of flax woven fabrics using *Taxus baccata* heartwood-mediated nanosilver. *Coloration Technology*. 00:1–11.
- Hasan K. M. F., Horváth P.G., Kovács Z., Kóczán Z., Bak M., Horváth A., Alpár T. 2021c: Hemp/glass woven fabric reinforced laminated nanocomposites via in-situ synthesized silver nanoparticles from *Tilia cordata* leaf extract. *COMPOSITE INTERFACES 2021*: Online: 28 Sep 2021 1–19. o.
- Hasan K. M. F., Liu X., Kóczán Z., Horváth P.G., Bak M., Bejó L., Horváth A., Alpár T. 2021d: Nanosilver coating on hemp/cotton blended woven fabrics mediated from mammoth pine bark with improved coloration and mechanical properties. *JOURNAL OF THE TEXTILE INSTITUTE* Published online: 12 Nov 2021 1–10. o.
- Hasan K.M.F., Horváth P.G., Bak M., Anh Le D.H., Mucsi Z., Alpár T. 2021g: Rice straw and energy reed fibers reinforced phenol formaldehyde resin polymeric biocomposites. *Cellulose* volume 28, 7859–7875.
- Hasan K.M.F., Horváth P.G., Kóczán Z., Anh Le D.H., Bak M., Bejó L., Alpár T. 2021j: Novel insulation panels development from multilayered coir short and long fiber reinforced phenol formaldehyde polymeric biocomposites. *Journal of Polymer Research* 28:467
- Heidekker G. 1966: A farostlemezek szilárdsági jellemzői és a keverési arány közötti összefüggések. *Faipar XVI.* 10: 315–321
- Holbery, J. and Houston, D. 2006: Natural-fiber-reinforced polymer composites in automotive applications, *JOM*, Volume 58, Issue 11: 80–86. o.
- Horváth S. és Illés K. 1963: Az alapanyag különböző fajtáinak és választékainak befolyása a forgácslemezyártásra. *Faipar XIII.* 4: 110–117.
- Kalji, L., Wittmann, Gy., Pluzsik, A., Bárány, A. 1975: Hazai fafajok alkalmasságának vizsgálata egyenes rétegelt- ragasztott tartók gyártásánál, valamint e tartók felhasználása vázszerkezetek kialakításánál. *FAKI kutatási jelentés, Budapest*
- Klasz C. 2008: Különböző fafajok hatása a cement hidratációjára. *Szakdolgozat. Nyugat-magyarországi Egyetem*
- Klyosov, A. A., 2007: *Wood-plastic composites*, Wiley, 50 o.
- Kocsis Z 2008: Farosttal erősített polimer kompozitok fejlesztése. PhD értekezés. *Budapesti Műszaki Egyetem, Budapest*
- Kolosváry G. 1959: A nagyfrekvenciás melegítés alkalmazása a forgácslapok készítésénél. (A vonatkozó irodalom alapján készült tanulmány). *Faipar IX.* 2: 52–57.
- Kolosváry G. 1965: Faforgács és kenderpozdorja bútortalapok vízzel szembeni ellenállóképességének növelése a forgács, illetve a pozdorja előzetes hőkezelése útján. *Faipar XV.* 2: 46–49.
- Kovacs, Zs ; Divos, F ; Fodor, T ; Lang, EM. 1997: An Investigation and Evaluation of Laminated veneer Lumber (LVL) Manufactured from European Hardwoods: Copernicus-ELVE Project, Progress Report IV. University of Sopron, Hungary. 1–30.
- Lázár L. 1968: A forgácslapok gyártástechnológiájának egyes elméleti és gyakorlati kérdései lombos fafajok esetében. *Faipar XVIII.* 3: 74–83.
- Lovász L és Takáts P. 1982: Fonófűz (*Salix americana*) mint az agglomerált lapgyártás alapanyaga. *Faipar XXXII.* 5: 152–155.

- Markó G., Alpár T. 2018: Continuous flax fibre reinforced PLA composite. Proceedings of the 61st International Convention of the Society of Wood Science and Technology and Japan Wood Research Society November 5–9, 2018 – Nagoya, Japan
- Markó G., Bejő L., and Takáts P. 2015: CLT hazai I-214 olasz nyár faanyagból = The applicability of I-214 hybrid poplar as Cross-Laminated Timber raw material. FAIPAR, vol. 63, no. 2: 36–41.
- Markó G., Bejő L., and Takáts P. 2016: Cross-laminated timber made of Hungarian raw materials. IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING, vol. 123, no. conf 1
- Mohanty AK, Misra M, Drzal LT. 2002: Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world. J Polym Environ 2002, 10: 19–26.
- Molnár S., Szabadhegyi G., Berecz A. 1983: Az akác színfurnérgyártás néhány tapasztalata. Faipar XXXIII. 2: 58–62
- Németh B. 2010: Irodai papírhulladék lemezipari hasznosításának lehetőségei. Szakdolgozat. Nyugat-magyarországi Egyetem
- Németh J. 1976: Furnérgyártási folyamat technológiai színvonalvizsgálata. Faipar XXVI. 12: 371–376.
- Németh J. 1977: Bútoripari felhasználásra kerülő színfurnérok gyártmányszínvonal-vizsgálata. Faipar XXVII. 2: 56–60.
- Németh J. 1980: A színfurnérok felületi minőségének alakulása a különböző furnérprizma alakzatok alkalmazásának függvényében. Faipar XXX. 5: 137–140.
- Németh J. 1985: A furnér sűrűségének és a hámozási repedéseknek hatása a műszaki furnérok szilárdsági tulajdonságaira. Faipar XXXV. 2: 44–47.
- Németh J. 1985: A vastagsági tömörítés hatása a rétegelt falemezek egyes szilárdsági tulajdonságaira. Faipar XXXV. 5: 155–160.
- Németh J. 1986: A rétegelt falemezek hőeloszlásának vizsgálata a hőpréselés során. Faipar XXXVI. 6: 184–187.
- Németh J. és Jakál L. 1987: A műszaki furnérok jellemzőinek hatása a rétegelt falemezek szilárdsági tulajdonságaira. Faipar XXXVII. 3: 67–71.
- Németh K. 1975: A műanyag-fa kombinációban lejátszódó vízgőzdiffúzió. Faipar XXV. 11: 327–329.
- Németh K. 1977: Forgácslapüzemek formaldehidemissziója. Faipar XXVII. 8: 246–250.
- Németh K. 1997: Faanyagkémia. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
- Németh, J., Szabadhegyi, Gy.; Kovácsvölgyi, G. 2003: LVL (Laminated Veneer Lumber) típusú, furnér alapú, szerkezeti célú anyagok előállítására hazai kitermelésből származó nyár klónok alapanyagbázisán. FAIPAR 51, 3: 6–9.
- Nyárs J. 1972: Faforgácslapok égéskezelése. Faipar XXII. 9:296–300.
- Nyárs J. 1985: Forgácslapok mikrostruktúrájának vizsgálata. Faipar XXXV. 8: 247–250.
- Nyárs J. 1986: Faforgácslapok tartósságának vizsgálata – Módszerek. Faipar XXXVI. 6: 168–174.
- Nyárs J. 1987: Faforgácslapok tartósságának vizsgálata. Természetes kitérés hatása a degradációra. Faipar XXXVII. 12: 361–363.
- Nyárs J. 1992: A fajaj és a kötőanyag szerepe a faforgácslapok tartósságnövelésében. Faipar XLII. 11–12: 181–187.
- Pál I. 1978: Forgácslapok és farostlemezek érdességének felülvizsgálata. Faipar XXVIII. 5: 135–137.

- Palotai P. 1968: Optimális préselési paraméterek meghatározásának lehetőségei. *Faipar XVIII.* 11: 350–353.
- Peer reviewed contributions. October 16 – 18, 2011 Blacksburg, Virginia, USA, 75–82.
- Pilla, S., Gong, S., O'Neill, E., Rowell, R. M., Krzysik, A. M. 2007: Poly lactide-Pine Woodflour Composites, *Proceedings of 9th International Conference on Wood & Biofiber Plastic Composites*, 375–388.
- Pukánszky, B., Móczó, J. 2011: *Műanyagok (Plastics)*, Budapesti Műszaki Egyetem, Budapest
- Reményi Á. 1968: Különböző technológiai eljárásokkal gyártott rétegelt lemezek szilárdsági értékeinek összehasonlító vizsgálata. *Faipar XVIII.* 5:133–138.
- Reményi Á. 1970: Azonos vastagságú rétegelt lemezek szilárdsági értékeinek vizsgálata, különböző rétegszám és furnérvastagság figyelembevételével. *Faipar XX.* 4:102–107.
- Reményi Á. 1970: Azonos vastagságú rétegelt lemezek szilárdsági értékeinek vizsgálata, különböző rétegszám és furnérvastagság figyelembevételével. III. rész. *Faipar XX.* 12:378–379.
- Rowell, R.M. 2005: *Handbook of wood chemistry and wood composites*, Taylor & Francis, 365 o., 36. o., ..
- Ruska L. 1962: A forgácsolap minőségi mutatóinak elektromos vizsgálata I-II-III. *Faipar XII.* 3: 75–81, *Faipar XII.* 4: 121–124., *Faipar XII.* 6: 168–171.
- Sandai A, Hunt J., Kovácsvölgyi G, Kurhana S., Destree B., Caufeld D. 2004: Lignocellulóz-polipropilén kompozitok mechanikai tulajdonságainak javítása. *Faipar LII.* 1: 16–19
- Scherübl, B. 2006: An innovative composite solution in the new Mercedes A Class - A successful story about the natural fiber “abaca”. in: Bledzki, A.K. & Sperber V.E. 2006. 6th Global Wood and Natural Fibre Composites Symposium. (4–5. April 2006) University of Kassel
- Schlosser M., Horváth N., and Bejő L. 2012: Glulam beams made of Hungarian raw materials. in *The 5th Conference on Hardwood Research and Utilisation in Europe 2012*, vol. I–II, 383–392.
- Silverman, E.M. 2004: Effect of glass fiber length on the creep and impact resistance of reinforced thermoplastics, *Polymer Composites*, 8(1): 8–15.
- Sobczak, L., Lang, R.W., Haider, A. 2012: Polypropylene composites with natural fibers and wood – General mechanical property profiles, *Composites Science and Technology*, 72(5): 550–557.
- Szántó D., Németh R. 2001: Farostlemezek szorpciós vizsgálata. *Faipar XLIX.* 2–3: 13–16.
- Szántó D., Winkler A., Nagy J. 2003: Farostlemezek óriásfűből. *Faipar LI.* 3: 18–20.
- Szendrey I. 1969: Fakémiai tényezők szerepe a forgácsolapok préselésénél. *Faipar XIX.* 4: 97–100.
- Széplaki L. 1959: Forgácsolap és pozdorja lemezipari prések vizsgálata. *Faipar IX.* 12: 368–371.
- Takáts P. 1977: Lenpozdorja-faforgácsok. *Faipar XXVII.* 5: 147–150.
- Takáts P. 1978: Lenpozdorja és nyár faforgács együttes felhasználásának lehetősége a lapgyártásban. *Faipar XXVIII.* 5: 145–146.
- Takáts P. 1980: Lenpozdorja alaki jellemzőinek meghatározása számítógépes adatfeldolgozással. *Faipar XXX.* 12: 377–380..
- Takáts P., Varga N., Takáts A. 2012: Papírhulladék hasznosítása lapalapú biokompozit előállítására II. *Faipar LX.* 1: 29–35
- Thakur, V.K., Thakur, M.K., Gupta, R.K. 2014: Review: Raw Natural Fiber–Based Polymer Composites. *International Journal of Polymer Anal. Charact.*, 19: 256–271.
- Thomason, J.L. and Vlug, M.A. 1997: Influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre-reinforced polypropylene: 4. Impact properties, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 28(3): 277–288.

- Tomék A. 1965: A fa termikus kezelése során végbemenő fizikokémiai folyamatok és azok hasznosítása a forgácslap gyártásban. *Faipar* XV. 12: 377–383.
- Tomék A. 1967: Nedves eljárású farostlemezek nemesítése száradó olajokkal. *Faipar* XVII. 7: 189–197.
- Tóth K. 1966: Ragasztási problémák a forgácslapgyártásban. *Faipar* XVI. 8: 239–242.
- Vámos R. 1980: Faforgácslapok csavarállóságának vizsgálata az alkalmazott csavar és a magfurat jellemzőinek függvényében. *Faipar* XXX. 5: 141–147.
- Varga S. 2007: Cementkötésű rostlemezek gyártása hulladékpapír felhasználásával. Szakdolgozat (Nyugat-magyarországi Egyetem)
- Vehovszky J. 1964: Forgácslapok gombaállóságának vizsgálata. *Faipar* XIV. 12: 369–372.
- Vilpponen, E., Komán Sz., and Bejő L. 2014: Investigating the bending properties of hardwood reinforced poplar LVL. in *Eco-efficient Resource Wood with special focus on hardwoods*, 67–68.
- Vogt, D., Karus, M., Ortmann, S., Schmidt, C., Gahle, C. 2006: *Wood-Plastic-Composites (WPC)*, nova-Institut GmbH
- Winkler A. 1980: Új forgácslaptípusok és kutatási eredmények. *Faipar* XXX. 12: 356–361.
- Winkler A. 1986: A magyarországi farostlemezgyártás fejlesztésének egyes kérdései. *Faipar* XXX-VI. 4: 97–100.
- Winkler A. 1987: Eine Methode zur Messung der Temperturverteilung im Plattenquerschnitt während der Heisspressung von Holzwerkstoffen. *Holztechnologie* 28. 3: 125–127.
- Winkler A. és Patt R. 1988: Herstellung von Zellstoffen aus vier verschiedenen Holzarten nach dem ASAM-Verfahren. *Holz als Roh- und Werkstoff* 49. 9: 341–345.
- Winkler A., Alpár T. 2005: Usability of black locust and turkey oak in fiberboard production. 2nd International Conference on Hardwood Research and Utilization in Europe, Sopron, Hungary
- Winkler A., Alpár T., Bittmann L., Bejő L., Takáts P. 2006: Sarangolt faválasztékok és alternatív lignocellulóz anyagok felhasználási lehetőségei a lemezgyártásban. *Faipar* LIV 2–3: 3–8.
- Winkler, A. 1999: Farostlemezgyártás (Fiberboard production), 11 o., Dinasztia Kiadó
- Wittmann Gy., Pluzsik, A. 1973: Faanyagú váz és térelhatároló szerkezetek felhasználásával készülő, többcélú csarnokjellegű épület kialakítása. FAKI kutatási jelentés, Budapest
- Wittmann Gy., Pluzsik, A. 1975: A faanyagú rétegelt-ragasztott tartószerkezetek hazai alkalmazásának új eredményei. *Faipari Kutatások* 1975(1):61–69.
- Yang, S. and Chin, W. 2004: Mechanical properties of aligned long glass fiber reinforced polypropylene. II: Tensile creep behavior, Volume 20, Issue 2: 207–215.
- Zombori J. 1960: Forgácslapok optimális ragasztási körülményei. *Faipar* X. 5: 150–155.

<http://www.feiplar.com.br/materiais/palestras/SAMPE/apresentacao/Celanese.pdf>

<http://www.muanyagipariszemle.hu/2007/02/hosszu-szallal-erosített-muanyagok-az-autoiparban-02.pdf>

## **Wood-Based Composites**

In 1949, the former Royal Hungarian Forest Research Institute was reorganized as the Forest Research Institute (ERTI). At the same time, the Wood Testing and Wood Economy Institute was founded, which was renamed Wood Industrial Research Institute

(FAKI) in September 1950, and served the development of forest products and wood products industry for almost fifty years.

In Sopron, wood industrial engineer training began in the 1957/58 academic year, to complement the existing forestry engineer training. In 1962, the University of Forestry and Wood Sciences was established with an independent Faculty of Wood Sciences, where, in addition to education, a wood industry research base was also established. Basic materials science research explores the physical and chemical properties of wood, deals with wood-water relations and wood modification. Applied research deals with tools and machines for wood processing, their interaction, technology development, wood protection, industrial economics, logistics, waste management and energy. In recent years, research into nanotechnological solutions also became prominent.

During its more than four decades of activity, FAKI carried out important basic, applied research and development for the industries that produce and use wood and wood-based products. The most important research areas were sawmilling and panelboard industry, furniture and joinery industry, wood protection and process organization, production and product development, testing the properties of wood and other raw materials, waste utilization, construction of high-rise and underground wooden structures, furniture, wood preservatives and processes development, the introduction and application of computer technology in the wood industry. In addition, FAKI also provided expert tasks, instrumental tests, expert advice, and sectoral standardization tasks.

Originally, the research results of the domestic panelboard industry were primarily related to the production capacities and technologies created in the 50s, their development and improvement. Later, the scientific scope of the research gradually broadened with the establishment of FAKI and the Faculty of Wood Sciences. The domestic journal of the scientific and professional life of wood industry, *Faipar*, was launched in 1950, and offered a platform for the researchers and engineers of both institutions and the factories and plants to present their results continuously.

Until the end of the 50s, the panelboard industry was limited to veneer-based products. Later, a wet-process fiberboard factory (~6,000 m<sup>3</sup>/year) was established in Mohács. The plant did not open until 1959, but a Fiberboard Pilot Plant was established in 1951, and produced the first domestic fiberboards that year. Also in 1959, the first domestic particleboard factory started operating in Szombathely (6,000 m<sup>3</sup>/year). In these years, researchers mostly focused on production support. Publications dealt with world market production data, economic issues and descriptions of technologies. Research related to products and technologies largely started somewhat later, since these were new materials and products, and their full characterization was incomplete at the time.

During these decades all types of wood based panels and composites were researched from plywood, through particleboard, fiberboards, cellulose based products, cement and gypsum bonded products, WPC, and fiber reinforcing, to new and alternate raw materials, environmental impacts, and so on.

# A FAANYAG SZÍNE ÉS SZÍNVALTOZÁSAI

Tolvaj László és Preklet Edina

## Bevezetés

A szín érzet egy nagyon összetett folyamat eredménye. A tárgyak a rájuk eső „fehér” (a szivárvány mindegyik színét tartalmazó) fényt részben elnyelik, a maradék részt pedig visszaverik, ami a szemünkbe jut. A szemünk szelektíven érzékeny a különböző hullámhosszú (színű) fénysugarakra. A szemünkben keletkező ingerületeket az agyunk alakítja színéretté. A színmérésnél ezt az összetett folyamatot kell mérőműszerekkel követni. Nem véletlen, hogy az első (készülékfüggetlen) jól működő színmeghatározó rendszert csak 1931-ben alkották meg. Annak ellenére, hogy Newton a fény- és színelméletét már 1672-ben bemutatta a Royal Society-ben. A bemutatott elmélet olyan nagy vitát generált a Tudós Társaságban, hogy a publikálásra csak 1704-ben szánta rá magát a neves tudós.

A faanyag színével foglalkozó első publikációk az 1900-as évek elején jelentek meg Schramm és Wislicenus tollából (Schramm 1906 a, b; Wislicenus 1910). Az összehasonlítható színmérési adatok létrehozásához szükséges egységes rendszert 1931-ben hozta létre a Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság (CIE) az X, Y és Z színinger összetevők meghatározásának rögzítésével. Ezen színinger összetevők felhasználásával lehet létrehozni színtereket. A Magyarországon szabványosított szintér a CIE  $L^*a^*b^*$  szintér. A benne szereplő  $L^*$ ,  $a^*$  és  $b^*$  színkoordinátákat bonyolult, köbgyökös képletek adják meg az X, Y és Z színinger összetevők felhasználásával (Csanády et al. 2015). Ezek a bonyolult képletek voltak az okozói, hogy az elektronikus számoló- és számítógépek megjelenéséig számottevő szakirodalmat nem találunk a színmérés területén.

A faanyag színvilága a természet egyik csodálatos alkotása. Az európai faanyagok színe a vörös és a sárga színtartományok között helyezkedik el, barnás színárnyalatú. Ez a meleg-barna tónus nyugalmat sugároz, ezért az emberek szívesen veszik körül magukat fából készült tárgyakkal. A fák többségének gesztje sötétebb, mint a szíjács, továbbá az az átmetezett pásztahatárok különleges rajzolatot képeznek a fából készült tárgyak felületén.

## A színméréses faanyag-vizsgálatok múltja és jelene

A faanyag színének vizsgálata és mérése Magyarországon a huszadik század nyolcvanas éveiben kezdődött. Az ember színlátásának műszeres követése bonyolult, köbgyökös képletek alkalmazását kívánja meg, ezért a rendszeres színméréshez szükség volt a számoló- és számítógépek használatának elterjedésére. A faanyag színmérésével foglalkozó első magyarországi publikációk Németh Károly nevéhez fűződnek (Németh 1981 a, b, c, 1982, 1984; Németh & Faix 1988). A szerző bemutatta a faanyagok színjellemzőit és azok változását a felületkezelések során. Javaslatokat tett a CIE  $L^*a^*b^*$  színmérő rendszer



alkalmazási lehetőségeire a faiparban. A tapasztalat szerint a világos faanyagok színezete sárgás árnyalatú, míg a sötét faanyagok színezete barnás árnyalatú. A színmérés igazolta, hogy a világosság és a színezet (színezeti szög) között egyenes arányosság áll fenn (Tolvaj et al. 2013). A későbbi vizsgálatok kimutatták, hogy a faanyag ezen tulajdonsága megmarad akkor is, ha színváltoztató termikus kezelés vagy fotodegradáció történik (Tolvaj & Németh 2008; Tolvaj & Mitsui 2010; Tolvaj et al. 2012; Kánnár et al. 2018).

A tárgyak színét a kémiai szerkezetükben lévő konjugált kettős kötések határozzák meg. A faanyagban ilyen kötések a ligninben és az extrahálható anyagokban találhatóak. Az extrakt anyagok határozzák meg a faanyag színét. A késői pászta általában több extrakt anyag van, ezért a késői pászta rendszerint sötétebb, mint a korai pászta. Az extrakt anyagok érzékenyen reagálnak a termikus kezelésekre és a fényhatásra. A frissen felfűrészelt akác és éger faanyag színe a vörös irányába tolódik el már 1–2 órás napsugárzás hatására. Németh Károly (1998) kutatásaiban összehasonlította a faanyagok termikus hatásokra bekövetkező színváltozásait extrakt anyagok kivonása előtt és után. Megállapította, hogy a színváltozást is döntően az extrakt anyagok okozzák. Oxidatív és nem oxidatív közegben elvégezve a kísérleteket azt tapasztalta, hogy oxigén jelenlétében erőteljesebben változik a szín.

A kedvezőtlen vagy jellegtelen színű faanyagok színét termikus kezeléssel célszerű módosítani. Ilyen kezelés a gőzölés, amikor 80–120 °C hőmérsékleten, telített vízgőzben módosítjuk a faanyag színét. A faanyag gőzölése fél évszázados múltra tekint vissza. A gőzölés színváltoztató hatásának leírásával először a magyar szakirodalomban találkozunk. A Faipari Kutató Intézetében a gőzölésnek az akác faanyag fizikai-mechanikai tulajdonságaira gyakorolt hatását vizsgálták. A gőzölési vizsgálatok középpontjában azóta is az akác faanyag található, mert a magas extrahálható anyagtartama miatt intenzív színváltozás érhető el. Az ipari méretű gőzölőben történt akácnesesítés eredményeiről Molnár Sándor (1976) számolt be. Az ipari gőzölőknél gondot jelentett, hogy nem tudták reprodukálni a kívánt színt akác esetében, de a bükk gőzölésénél ez a probléma nem jelentkezett. Az eltérések okának feltárása, egy nemzetközi projekt keretében szisztematikus laboratóriumi mérésekkel, a Soproni Egyetem laboratóriumában valósult meg. A projekt az 1996–2000 évek között futó nemzetközi INCO-COPERNICUS Program volt. A programban a partnereink voltak a Hamburgi Egyetem, a Zólyomi Egyetem és a delfti TNO Centre for Timber Research kutatóintézet. A projekt célja az akác faanyag ipari hasznosításának kiterjesztése volt. A natúr akác nem tetszetős, sárgás színének módosítása kedvezőbb barnás árnyalatra a projekt fontos alapeleme volt.

A műszeres színmérés kimutatta, hogy az akác színváltozása nagyon érzékeny az alkalmazott gőzölési hőmérsékletre. A leggyakrabban alkalmazott 100 °C alatti hőmérsékletek esetében, 4 napos gőzölésnél jól megfigyelhető ez az érzékenység. A laboratóriumi vizsgálatok megmutatták, ha a hőmérsékletet mindössze 5 °C-kal növeljük (95 °C-ról 100 °C-ra), akkor a vörös színezet 37%-kal növekszik, a sárga színezet értéke pedig 12%-kal csökken, a gőzölés előtti állapothoz viszonyítva. A szemünk ennél sokkal kisebb színváltozásokat is észrevesz, ezért az akác gőzölésénél pontosan tartani kell a beállított hőmérsékletet (Tolvaj et al. 2000). Erre a feladatra a 60–80-as évek gőzölő berendezései még nem voltak alkalmasak. Ezért nem működött az adott szín reprodukálása.

A 100 °C fölötti hőmérsékleteken a színváltozás akác esetében rövid idő alatt végbemegy és itt érhetők el a „csokoládébarna” színárnyalatok. Ezeken a hőmérsékleteken a gőzöléshez nyomásálló gőzölő berendezés szükséges. Magyarországon egyetlen ilyen berendezést állítottak üzembe Nyírbátorban.



*A nyírbátori nagynyomású gőzölőhenger. A betolásra előkészített faanyag mennyisége jól mutatja a gőzölőhenger méretét. 2007. október 6., avatóünnepség. (Fotó: Molnár Sándor, 2007)*

A kétezres évek elején tovább folytattuk az akác faanyag gőzölési tulajdonságainak vizsgálatát és az újabb eredményeket 2010-ben adtuk közre (Tolvaj et al. 2010). Az akác faanyag gőzöléssel történő színváltoztatásáról PhD dolgozat is készült (Horváth 2000). A dolgozat készítése során matematikai képletek születtek, melyek megadják az akác faanyag színváltozását a gőzölési hőmérséklet és gőzölési idő függvényében.

A barna színárnyalatok széles skálája hozható létre az akác faanyag gőzölésekor. Megállapításra került, hogy ezek a színárnyalatok hasonló színhatást keltenek, mint a sötét egzóta faanyagok. Sok esetben a különbség alig látható volt, vagy a gőzölt akác kedvezőbb rajzolatot mutatott, mint a hasonló egzóta faanyag. (Banadics et al. 2016).

A korai gőzölési tapasztalatok alapján az a mondás járta, hogy csak az élőnedves faanyagot lehet eredményesen gőzölni (Kollmann et al. 1951). A nagy térfogatú kamragőzölő faanyaggal való feltöltésénél általában nem lehet garantálni, hogy a berakott faanyag azonos nedvességtartalmú legyen. Különösen igaz ez olyan cégek esetében, akik több helyről szerzik be a gőzölendő faanyagot. A szállítások és a közbülső tárolások során a faanyag jelentősen száradhat. Ezért megvizsgáltuk, hogy a fent idézett régi megállapítás mennyiben helytálló. Az eredmények azt mutatták, hogy 95 °C fölötti hőmérsékleten már nincs lényeges különbség a szárazan és a nedvesen gőzölt faanyag színváltozása között. A kellően

magas gőzölési hőmérsékleten a gőzben lévő vízmolekulák sebessége elég magas ahhoz, hogy a faanyagot feltöltsék a színváltozáshoz szükséges vízmennyiséggel.

Két európai (akác és tölgy) és két trópusi (mearbau és sapupira) fafaj gőzölési tulajdonságait vizsgálta Varga & van der Zee (2008). A színváltozás mellett a mechanikai tulajdonságok változását is nyomon követték a gőzölési paraméterek függvényében (Varga 2008).

Bükk és cser faanyag gőzölésénél a színváltozás mértéke sokkal kevésbé függ az alkalmazott hőmérséklettől, mint az akácnál. A bükk faanyag gőzölési tulajdonságait egy ER-FARET program keretében vizsgáltuk részletesen. Bükk esetében a jellegtelen szürkés-fehér szín vörös irányú eltolása a cél. Ehhez a folyamathoz elegendő az egy napos gőzölés 100 °C alatt. Ezért a bükk faanyagot nem szokták 100 °C fölötti hőmérsékleten gőzölni. Ha 100 °C alatt gőzölünk, akkor a vörös színezet változásának eltérése a 80 °C-os és a 100 °C-os gőzölésnél egy nap alatt csupán 2%. A mért adatok tükrében nem meglepő, hogy a bükkgőzölés színváltoztató hatása alig függ a hőmérséklettől (Tolvaj et al. 2009; Tolvaj 2013). Az akác és a bükk faanyag gőzölési tulajdonságai közötti nagy különbség az eltérő extrakt anyagtartalommal magyarázható. Az álgesztes bükk faanyag hasznosításának növelésével foglalkozott egy Európai Unió Együttműködési Projekt 2004 és 2007 között (melyben német, spanyol, osztrák egyetemek és kutatóintézetek vettek részt a Soproni Egyetem mellett. A vizsgálatokban a fehér és az álgesztes bükk faanyag színét módosítottuk gőzöléssel, magas hőmérsékletű szárítással és UV besugárzással. A vizsgálatok azt mutatták, hogy a gőzölés alkalmas az álgeszt és a fehér faanyag közötti színelkülönbség csökkentésére. A gőzölés a fehér bükk faanyag színét a vörös árnyalatú álgeszt irányába toltta el, míg az álgeszt színe alig változott a gőzölés során. Az álgeszt és a fehér faanyag közötti nagy színelkülönbséget nem lehet megszüntetni gőzöléssel, de az eltérés jelentősen csökken és hasonló lett, mint más fafajoknál a korai és a késői pászta közötti színelterés.

A cser faanyag gőzölési tulajdonságait több projektben is vizsgáltuk annak érdekében, hogy a geszt és a szíjács közötti színelterést csökkentsük (Graboparkett projekt 2004, Homparkett projekt 2005, Nyírerdő projekt 2006) A jó fizikai és mechanikai tulajdonságú cser faanyag felhasználását nagy mértékben akadályozza, hogy a geszt sokkal sötétebb, mint a szíjács. A cser faanyag gőzölési tulajdonságai hasonlóak a bükk faanyag tulajdonságaihoz (Tolvaj & Molnár 2006, Tolvaj 2013). A gőzölés ezt a nagy színelterést jelentősen redukálja, és a geszt szürkés-barna színárnyalatában a szürke tónust lecsökkenti, ezáltal kellemes barna színárnyalat érhető el. Gőzöléssel a cser faanyag sokkal értékesebb felhasználása valósulhatna meg a jelenlegi eltüzelés helyett. Sajnálatos, hogy a fafeldolgozásban a csergőzölés ipari méretekben még nem erjedt el.

Az ültetvényben termelt nyár faanyag értéknövelő felhasználásánál is felvetődött a gőzölés lehetősége. Banadics Endre PhD hallgató vizsgálta a nyárgőzölés színváltoztató hatását. A kísérletek megmutatták, hogy a nyár faanyag jellegtelen szürkés-fehér színárnyalata gőzöléssel kellemes barna árnyalatúvá tehető, és a színezet dúság is megkétszereződik (Banadics & Tolvaj 2019). Előnye a gőzölésnek, hogy a korai és a késői pászta eltérő mértékben változtatja a színét. Így a gőzölés előtt láthatatlan rajzolat előtűnik. A gőzöléssel létrehozott szín alkalmassá teszi a nyár faanyagot beltéri falburkolatok, frontelemek készítésére.

Egy K+F program keretében vizsgáltuk a gyertyán faanyag gőzölési tulajdonságait. A projekt célja volt, hogy a nagy keménysége miatt iskolabútor készítésére alkalmas gyertyán faanyag jellegtelen szürkésfehér színét a kellemesebb barna árnyalatok irányába toljuk el vegyszerek alkalmazása nélkül. Mivel a gyertyán faanyagban nagyon kevés extrahálható anyag található, ezért csak a gőzölés első két napján tapasztaltunk gyenge elszíneződést, ami a gőzölés további napjain nem változott, illetve kismértékű fakulást figyeltünk meg. Ezért a gyertyán faanyagot akác, illetve bükk faanyaggal gőzöltük együtt. Szabad szemmel is megállapítható volt, hogy a bükk faanyag jelenléte a gyertyán színét kis mértékben a gőzölt bükk barnásvörös árnyalata felé tolta el. Az akác viszont a tölgyre emlékeztető barna árnyalatot eredményezett.

Az Északerdő 2005 projekt keretében a kocsányos tölgy faanyag gőzölési tulajdonságait vizsgáltuk. A laboratóriumi gőzölési eredmények alapján megállapítottuk, hogy a tölgy faanyag jól gőzölhető. Az eredmény egy kellemes barnás színárnyalat lesz, a szíjácsra és a gesztre vonatkozóan egyaránt. Atmoszférikus nyomáson történő gőzöléskor az optimális gőzölési idő, a geszt és a szíjács színhomogenizálását is figyelembe véve 80 °C-on 2–3 nap, 95 °C-on pedig 12–24 óra. Amennyiben sötét szín elérése a cél, akkor 100 °C közeli hőmérséklet alkalmazása javasolt. A vizsgált hőmérsékleteken a tölgy faanyag világossága folyamatosan csökkent, ezért a sötét színek elérésének elsősorban a gőzölési idő meghosszabbításával növekvő gőzölési költségek szabnak határt.

A gőzölés színváltoztató hatásával lombos fafajok esetében a Nagy Parkettakönyv is foglalkozik (Molnár & Várkonyi 2007). Bemutatja az akác, a bükk, a cser, a cseresznye, a dió és a gyertyán faanyag gőzölési tulajdonságait a parkettagyártás szempontjából.

A laboratóriumi gőzölési kísérletek azt mutatják, hogy a fenyő faanyagok színmódosítására is alkalmas a gőzölés (Tolvaj et al. 2012). A kezelés hatására a színezet a vörösesből a barnás árnyalatok felé tolódik el és kissé megfakul. A keletkezett szín az antik faanyag benyomását kelti. A geszt és a szíjács, illetve a korai és a késői pászta közötti színeltérés a fenyőféléknél is csökkenthető gőzöléssel. A gőzölési paraméterek megfelelő megválasztásával a homogenizálódás mértéke tág határok között változtatható. Ennek a vörösfenyő esetében van jelentősége, ahol a geszt és a szíjács (illetve a korai és késői pászták) közötti nagy színeltérés csökkenthető. A nagyon sötétvörös színű késői pászta színe jelentősen világosodik, míg a korai pászta színe sötétedik a gőzölés során (Preklet et al. 2019). Hosszú gőzölési idő során a színeltérés majdnem teljesen eltűnik. A megfelelő gőzölési hőmérséklet és gőzölési idő alkalmazása esetén a kívánt színeltérés beállítható. Ennek a beállításnak a rajzolat megmaradása miatt van jelentősége. Egy japán-magyar TÉT projekt eredményei kimutatták, hogy a japán sugi fenyő (*Cryptomeria japonica* D. Don) a vörösfenyőhöz hasonló gőzölési tulajdonságokat mutat (Tolvaj et al. 2019).

A laboratóriumi vizsgálatok megmutatták, hogy gőzöléssel a faanyagok színe a szemünk számára kellemes barna árnyalatok felé tolható el és a színbeli inhomogenitások csökkenthetők.

A faanyag gőzölése során bekövetkező kémiai változásokat az infravörös színkép vizsgálatával lehet nyomon követni. Lomhullató fafajoknál az acetil csoportok lehasadása jelenti a fő kémiai változást (Nemeth et al. 2016).

A száraz termikus kezelések által okozott színváltozásokról a kötet 3. fejezetben található információk.

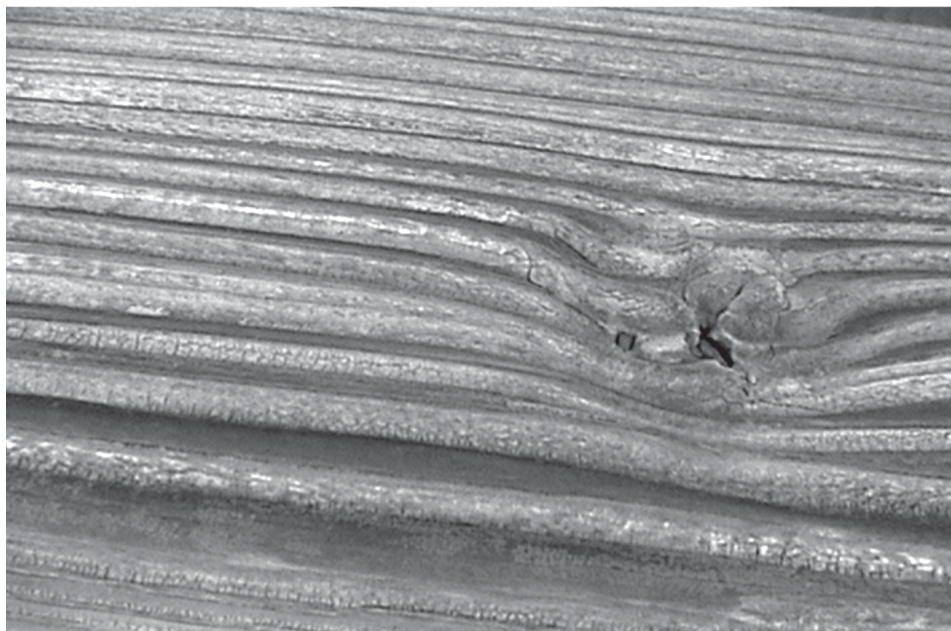
A napsugárzás, elsősorban annak ultraibolya (UV) része, módosítja a faanyag színét Oltean et al. (2010). Ezt a színváltozást több nemzetközi projekt keretében is vizsgáltuk. Egy Finn-Magyar Kutatási Projekt keretében a xenonlámpás fénybesugárzás színváltoztató hatását vizsgáltuk 1989-ben. Hamburgban a fotodegradáció és a termikus degradáció színváltoztató hatását vizsgáltuk 1993-ban, és az eredményeket egy nemzetközi folyóiratban (Tolvaj & Faix 1995) és egy konferencia kiadványban adtuk közre (Tolvaj & Faix 1996). A fotodegradáció eredményeként a sárga színezet értéke növekedett jelentősen mutatva, hogy a fő kémiai változást a lignin degradációja okozta. Egy Japán-Magyar kutatási projekt keretében (2003–2004-ben) összehasonlítottuk a napsugárzás színváltoztató hatását a xenonlámpás és a higanygőz lámpás besugárzás hatásával. Megállapítottuk, hogy a xenonlámpa alkalmas a napsugárzás imitálására, de csak hosszútávú kezelés esetén. A hatások háromnapos kezelés után közelednek egymáshoz. A higanygőz lámpa viszont nem bizonyul alkalmasnak a napsugárzás imitálására, de az általa létrehozott intenzív színváltozás miatt a higanygőz lámpa alkalmas gyorsesztek elvégzésére (Tolvaj & Mitsui 2005).

Egy magyar projekt keretében (FKFP 0419/1999), a világban elsőként, a fotodegradációnak a besugárzó fény hullámhosszától való függését vizsgáltuk ultraibolya és látható fényt kibocsátó lézerek segítségével, a Szegedi Tudományegyetem, Kísérleti Fizika Tanszékének laboratóriumában. A nagyszerű projekt eredményeit számos nemzetközi folyóiratban adtuk közre (Barta et al. 2005; Papp et al. 2004; 2005, Mitsui et al. 2005; Preklet et al. 2012)

Persze László (2011, 2012) 15 fafaj fotodegradációját vizsgálta a színmérés segítségével. A legnagyobb mértékű és a kezelés során folyamatos színváltozást az erdei fenyő, a lucfenyő, a vörösfenyő és a kőris produkálta. A vizsgálatok azt mutatták, hogy hosszútávon az akác, az amerikai cseresznye, a cseresznye, az éger és a hárs színe a legstabilabb, annak ellenére, hogy a kezelés kezdetén ezeknél a fafajoknál voltak a legintenzívebb változások. A legkisebb színváltozást a nyír faanyag mutatta. Az eredményekből az következik, hogy a fotodegradáció során bekövetkező színváltozás kettős folyamat. A fénybesugárzás károsítja a faanyagban meglévő kromofor kémiai csoportokat, de a lignin és az extrakt anyagok degradációját követő oxidáció során újabb kromofor csoportok keletkeznek. A két változás üteme fafajonként eltér, és jelentősen függ a fénybesugárzás hullámhossz-eloszlásától is. Az infravörös spektroszkópiai vizsgálatok megerősítették, hogy a lignin degradációja a meghatározó a fotodegradáció során (Csanády et al. 2015).

A színmérés jól követte, hogy fotodegradációs folyamatok erősen hőmérséklet függők. Az emelkedő hőmérséklet megnöveli a színváltozások mértékét. (Persze & Tolvaj 2012). Ez a megnövekedett színváltozás nem egyenlő a fotodegradációs és a termikus hatás összegével, hanem a megemelt hőmérséklet (100 °C felett) megsokszorozza a fény degradációs hatását. A színparaméterek változása 100 °C-ig követi az Arrhenius törvényt. Ezen hőmérséklet fölött a színváltozásokat létrehozó kémiai változások összetetté, többkomponensűvé válnak (Tolvaj et al. 2015).

A szabadba kitett faanyagok esetében a fotodegradáció mellett az eső kimosó hatása is megváltoztatja a faanyag színét. Az esővíz kimossa az extrahálható kromofor csoportokat az extrakt anyagokból és a lignin fotodegradációs termékeiből. A faanyag sötétedik. A vörös és a sárga színezet meghatározó kromofor csoportok egyaránt kimosódnak (Kánnár et al. 2018; Varga et al. 2020) A korai pászta jobban erodálódik, mint a késői pászta (Preklet et al.2021). Több éves kitettség során a felület érdesebbé válik. Az eredeti szín eltűnik, és a felületen a szürke cellulóz lesz látható.



*A felvétel egy több száz éves japán templom egyik, időjárásnak kitett tartóoszlopjának elváltozását mutatja. Jól látszik, hogy a késői pászta időjárás-állósága sokkal jobb, mint a korai pásztaé. A göcs faanyaga is tartósnak mutatkozik. (Fotó: Anon.)*

A nedvesítés és a felületkezelés is megváltoztatja a faanyag színét. A jelenség színváltoztató hatását tíz hazai fafaj esetében vizsgáltuk (Tolvaj & Preklet 2015). A nedvesítés csökkentette a minták világosságát, és növelte a sárga színezetet. A legnagyobb változást viszont a vörös színezet növekedése jelentette. Éger és nyír esetében a vörös színezet közel megduplázódott. Megállapítottuk, hogy a nedvesítés nem változtatja meg a színezeti szögét, de jelentősen megnöveli a színezet telítettségét. Gőzölt bükknél a változások sokkal nagyobbak voltak, mint a natúr bükknél. A vizes bázisú lakkréteg nagyobb mértékben változtatta meg a faanyagok színét, mint a vízzel történt nedvesítés. A sötétedést és a színtelítettség növekedését az okozza, hogy a víz és a felületkezelő anyagok bejutnak a felület alá, és bevezetik a fényt a faanyag mélyebb rétegeibe. A mélyebbre jutó fény nagyobb mértékben abszorbeálódik, és kevesebb jut vissza szemünkbe, ahhoz képest, mint amikor a natúr felületről verődik vissza.

## **Színmérési kutatások a jövőben**

A hazai fafajok többségének gőzölési tulajdonságait már feltérképezték laboratóriumi vizsgálatok során. Az ipari gyakorlatban viszont csak az akác és a bükk faanyagot gőzölik a természetesnél kedvezőbb szín elérése érdekében. A laboratóriumi tapasztalatok alapján célszerű volna gőzölni néhány faanyagot a szín kedvezőbbé tétele vagy a színhomogenizálás érdekében. A legnagyobb lehetőség a cser faanyag színhomogenizálásában rejlik. Vele a nagyméretű szíjács és a geszt is kellemes barnás színárnyalatot kap, és a két nagyon eltérő alapszín közel kerül egymáshoz. Gőzöléssel a napjainkban eltűzelt cser faanyag értékes ipari alapanyaggá válhat.

A jövőben célszerű volna feltárni azon fafajok (pl. juhar, kőris, hárs, nyír) gőzölési tulajdonságait, melyeknek a faipari hasznosítását növelni lehetne az eredeti szín barna irányú eltolásával.

A fotodegradáció színváltoztató hatásának kémiai háttere még nem teljesen feltárt. A hosszútávon időjárásálló és transzparens felületkezelő anyagok kifejlesztése is a jövő feladata lesz.

## **Irodalom**

- Banadics E.A., Gálos B. & Tolvaj L. 2016: A sötét egzóta faanyagok helyettesítése gőzölt akác faanyaggal. *Faipar* 64(1): 22–28.
- Banadics E.A. & Tolvaj L. 2019: Colour modification of poplar wood by steaming for brown colour. *European Journal of Wood and Wood Products* 77: 717–719.
- Barta E., Papp G., Preklet E.J., Tolvaj L., Berkesi O., Nagy T. & Szatmári, S. 2005: Changes in the DRIFT spectra of softwood materials irradiated by UV-laser as a function of energy. *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica* 1(1): 83–91.
- Csanády E., Magoss E. & Tolvaj L. 2015: *Quality of Machined Wood Surfaces*. Springer Kiadó ISBN: 978-3-319-22418-3 DOI: 10.1007/978-3-319-22419-0
- Horváth-Szováti E. 2000: Az akác faanyag gőzölése során bekövetkező színváltozás vizsgálata. Doktori (PhD) értekezés, NYME Sopron.
- Kannar A., Tolvaj L. & Magoss E. 2018: Colour change of photodegraded spruce wood by water leaching. *Wood Research* 63(6): 935–946.
- Kollmann F., Keylwerth R. & Kübler H. 1951: Verfaerbungen des Vollholzes und der Furniere bei der künstlichen Holzracking. *Holz als Roh und Werkstoff* 9(10): 382–391.
- Mitsui K., Tolvaj L., Papp G., Bohus J., Szatmári S. & Berkesi, O. 2005: Changes in the properties of light-irradiated wood with heat treatment – Application of laser. *Wood Research* 50(1): 1–8.
- Molnár S. 1976: Akácfanemesítés Pusztavacson. *Az erdő* 15(11): 490–492.
- Molnár S. & Várkonyi G. (szerkesztők) 2007: *Nagy parkettakönyv: Parketták, fapadlók típusai, gyártásuk, lerakásuk*. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. ISBN: 9789639736238
- Németh K. 1981/a: Színmérés a faiparban I. A természetes fa színmeghatározása. *Faipar* 31(9): 257–261.
- Németh K. 1981/b: Színmérés a faiparban II. Felületkezelés hatása a fa színére. *Faipar* 31(9): 261–264.

- Németh K. 1981/c: Színmérés a faiparban III. Pácolás hatása a fa színére. *Faipar* 31 (12): 370–373.
- Németh K. 1982: A fa színének értékelése a CIELAB-rendszerben. *Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei* 2: 125–135.
- Németh K. 1984: Színmérés a faiparban IV. A CIELAB színíngermérő rendszer alkalmazása. *Faipar* 34(5): 156–159.
- Németh K. 1998: A faanyag degradációja. *Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.*
- Németh K. & Faix O. 1988: Farbmessung zur Beobachtung der Photodegradation des Holzes. *Holz als Roh- und Werkstoff* 46 (12): 472.
- Nemeth R., Hill C.A.S., Takats P. & Tolvaj L. 2016: Chemical changes of wood during steaming measured by IR spectroscopy. *Wood Material Science and Engineering* 11(2): 95–101.
- Oltean L., Hansmann C., Nemeth R. & Teischinger A. 2010: Wood surface discolouration of three Hungarian hardwood species due to simulated indoor sunlight exposure. *Wood Research* 55: 49–58.
- Papp G., Preklet E.J., Kosiokva B., Barta E., Tolvaj L., Bohus J., Szatmári S. & Berkesi O. 2004: Effect of UV laser radiation with different wavelengths on the spectrum of lignin extracted from hard wood materials. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 163(1-2): 187–192.
- Papp G., Barta E., Preklet E.J., Tolvaj L., Berkesi O., Nagy T. & Szatmári S. 2005: Changes in DRIFT spectra of wood irradiated by UV laser as a function of energy. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 173(2): 137–142.
- Persze L. 2011: Magyarországi fafajok fotodegradációjának összehasonlítása: Színváltozás. *Faipar* 59(2–3): 35–46.
- Persze L. 2012: A hőmérséklet hatása a faanyag fotodegradációjára: Színváltozás. *Faipar* 60(2): 5–13.
- Persze L. & Tolvaj L. 2012: Photodegradation of wood at elevated temperature: Colour change. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 108: 44–47.
- Preklet E., Papp G., Barta E., Tolvaj L., Berkesi O., Bohus J. & Szatmári S. 2012: Changes in DRIFT spectra of wood irradiated by lasers of different wavelength. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 112(2): 43–47.
- Preklet E., Tolvaj L., Banadics E.A., Alpar T. & Varga D. 2019: Colour modification and homogenisation of larch wood by steaming. *Wood Research* 64(5): 811–820.
- Preklet E., Tolvaj L., Tsuchikawa S. & Varga D. 2021: Photodegradation properties of earlywood and latewood spruce timber surfaces. *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica* 17(1): 9–20.
- Schramm W.H. 1906a: The yellowing of woods. *Jahresber Verein Angew Bot* 3: 116–139.
- Schramm W.H. 1906b: The graying of woods. *Jahresber Verein Angew Bot* 3: 140–153.
- Tolvaj L. & Faix O. 1995: Artificial Ageing of Wood Monitored by DRIFT Spectroscopy and CIE L\*a\*b\* Color Measurements. I. Effect of UV Light. *Holzforschung* 49: 397–404.
- Tolvaj L. & Faix O. 1996: Modification of Wood Colour by Steaming. *ICWSF ,96 Conference Sopron*, pp 10–19.
- Tolvaj L., Horváth-Szováti E. & Sáfár C. 2000: Colour modification of black locust by steaming. *Wood Research (Drevarsky Vyskum)* 45(2): 25–32.
- Tolvaj L. & Mitsui K. 2005: Light Source Dependence of the Photodegradation of Wood. *Journal of Wood Science* 51: 468–473.
- Tolvaj L. & Molnár S. 2006: Colour homogenisation of hardwood species by steaming. *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica* 2: 105–112.



- Tolvaj L. & Nemeth K. 2008: Correlation between hue-angle and colour lightness of steamed black locust wood. *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica* 4: 55–59.
- Tolvaj L., Németh R., Varga D. & Molnár S. 2009: Colour homogenisation of beech wood by steam treatment. *Drewno-Wood* 52(8): 5–17.
- Tolvaj L. & Mitsui K. 2010: Correlation between hue angle and lightness of light irradiated wood. *Polymer Degradation and Stability* 95: 638–642.
- Tolvaj L., Varga D., Németh R. & Molnár S. 2010: Colour modification of black locust depending on the steaming parameters. *Wood Research* 55: 81–88.
- Tolvaj L., Papp G., Varga D. & Lang E. 2012: Effect of Steaming on the Colour Change of Softwoods. *BioResources* 7: 2799–2808.
- Tolvaj L. 2013: *A faanyag optikai tulajdonságai*. NyME Kiadó, Sopron. ISBN: 978-963-359-012-6
- Tolvaj L., Persze L. & Lang E. 2013: Correlation between hue angle and lightness of wood species grown in Hungary. *Wood Research* 58: 141–145.
- Tolvaj L. & Preklet E. 2015: A faanyag színváltozása nedvesítés hatására. *Faipar* 63(1): 41–46.
- Tolvaj L., Tsuchikawa S., Inagaki T. & Varga D. 2015: Combined effects of UV light and elevated temperatures on wood discoloration. *Wood Science and Technology* 49: 1225–1237.
- Tolvaj L., Banadics E.A., Tsuchikawa S., Mitsui K. & Preklet E. 2019: Color modification and homogenization of sugi wood by steaming. *Asian Journal of Forestry* 3(1): 20–24.
- Varga D. & van der Zee M.E. 2008: Influence of steaming on selected wood properties of four hardwood species. *Holz als Roh und Werkstoff* 66(1): 11–18.
- Varga D. 2008: A gőzölés modifikáló hatásának vizsgálata két európai és két trópusi fafaj egyes fizikai-mechanikai tulajdonságainak tükrében. Doktori (PhD) értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem.
- Varga D., Tolvaj L., Molnar Zs. & Pasztory Z. 2020: Leaching effect of water on photodegraded hardwood species monitored by IR spectroscopy. *Wood Science and Technology* 54: 1407–1421.
- Wislicenus H. 1910: Change in color of wood by the action of gases and vapours for technological improvement. *Z Angew Chem* 23: 1441–1446.

## **Colour properties and colour change of wood**

The colour inhomogeneity of wood results in one of the most beautiful colour harmonies created by nature. The hue ranges between brown and yellow, and gives us the feeling of warmth. In Hungary, regular colour measurement in wood science started in 1980's. This was due to the requirement of electronic calculators and computers that were unavailable beforehand.

Industrial scale steam treatment of wood to achieve colour changes was started as early as the second half of the last century. It involved mostly beech and black locust timber. Systematic research to explore the specific effects of various steaming parameters for individual wood species started about thirty years ago. The steaming behaviour and discolouration of black locust were the primary focus of these investigations. During the last two decades, steaming properties of several wood species (beech, Turkey oak, poplar, cherry, oak, spruce, Scots pine, larch and sugi) were studied. Laboratory experiments

showed that steaming is a proper treatment to shift the colour of less attractive wood species towards a more pleasant brownish tint. Steaming is a useful treatment also to reduce the colour inhomogeneity of wood material.

Colour is the most important aesthetic parameter for wooden structures. The attractive colour of wood is sensitive to light and heat irradiation. Colour measurement was found to be a proper method to monitor the changes generated by photodegradation. Light-induced discoloration of fifteen European wood species were studied by L. Persze. The results showed that the investigated species have highly different photodegradation properties. Colour measurement was a proper tool to follow the temperature dependence of photodegradation for wood. The leaching effect of rain during outdoor weathering was also monitored by colour measurement.

# A FA MECHANIKAI MEGMUNKÁLÁSA

Magoss Endre és Csanády Etele

## Bevezetés

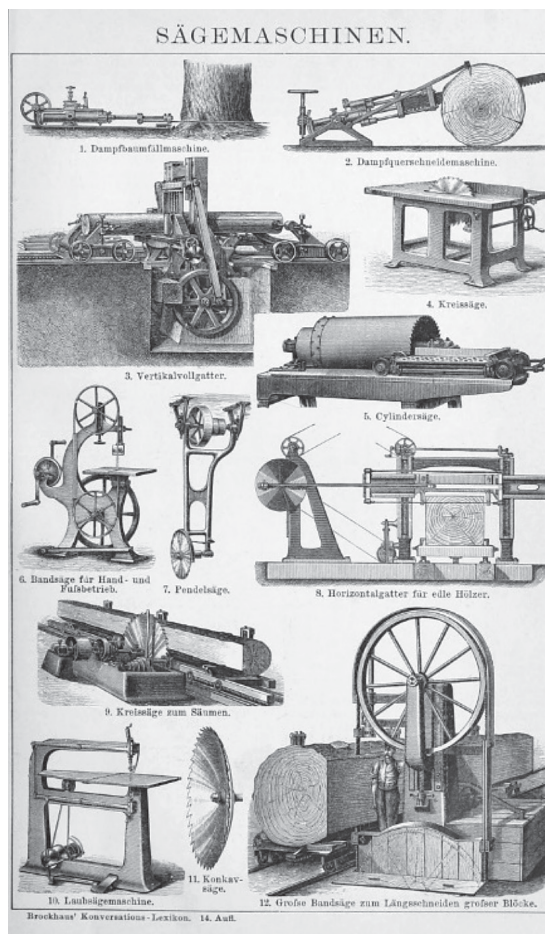
A fafeldolgozás egyes műveleteiben alapvető szerepet játszik a mechanikai megmunkálás. A megmunkálás célja általában a faanyag alakjának, méretének és felületi minőségének megváltoztatása. A mechanikai megmunkálás az esetek túlnyomó részében a forgácsolás, s a forgács ebben az esetben melléktermék. Ez utóbbi részben ipari hasznosításra mint forgácslapok gyártására és energetikai hasznosításra kerül. Készülhet azonban célfurnér is mint például hasított vagy hámozott furnér, forgács és fagyapot is.

## A forgácsoló szerszámok fejlődésének története

A faforgácsolás már nagyon régi múltra tekint vissza, az egyiptomiak már sík felületet tudtak „gyalulni”, a fűrészelés már akkor elkezdődött amikor még nem volt villamoshajtás sem, vízi fűrészmalmok dolgoztak, vagy megjelent a gőzhajtás.



*Gőzgéppel hajtott keretfűrész és körfűrész (Fotó: Anon.)*

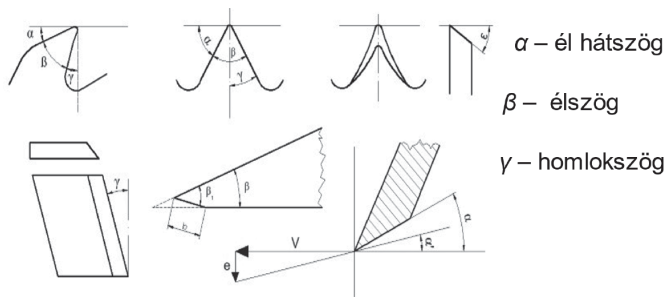


*Régi fűrészgépek. (Fotó: Anon.)*

A fejlődés következő foka már a villamosság megjelenése volt. Ettől a pillanattól kezdve már egyedivé váltak az egyes gépek meghajtásai. A szerszámok szintén fejlődtek, ez egyértelműen érinti a szerszámok anyagát, geometriáját és üzemeltetési paramétereit. Ezek a fejlesztések egyrészt gyakorlati tapasztalat alapján történtek, azonban az 1800-as évek végén elindultak az elméleti kutatások elsősorban az európai egyetemek keretén belül. A kutatások magára a faanyagra terjedtek ki, majd ezen ismeretek tudatában kezdték fejleszteni a szerszámokat is.

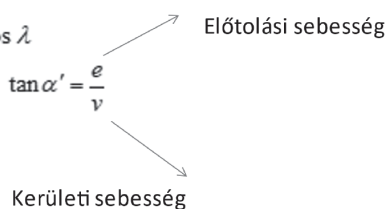
A faanyagok folyamatos vizsgálatával, a mai napig párhuzamosan fejlődtek a forgácsoló szerszámok élananyagai is. A fejlődés lépcsői a következők voltak: szerszámacél, gyorsacél, stellitezés, keményfém (widia), polikristályos, majd monokristályos gyémántok. Érdekes módon a kerámia szerszámfog anyagok irányába nem történtek jelentős kísérletek.

Folyamatosan fejlődtek és fejlődnek a szerszámgeometriák is. Nagyon sok gyakorlati kísérlet és elméleti igazolás vitte előre a fejlődést.



- $\varepsilon$  – fogél ferdeségi szög
- $\lambda$  – csúsztatási szög
- $\alpha'$  – mozgó hátszög
- $\beta_1$  – mikro élszög
- $\kappa$  – Élbeállítási szög

$$\tan \delta' = \tan \delta \cdot \cos \lambda$$

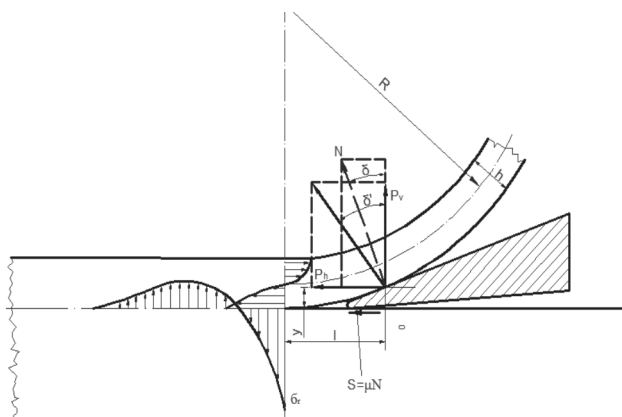


Copyright: Csanády - Magoss

Szerszámok geometriai paraméterei (Csanády és Magoss 2013)

### A forgácsolás elmélete

1980 után a Faipari Géptani Tanszék (Erdészeti és Faipari Egyetem, Faipari Mérnöki Kar) kutatásai új irányt vettek. Az első feladat volt a faforgácsolás elméletének új alapokra való helyezése, amely világviszonylatban sem volt megoldva. Ezt követte a csúszó forgácsolás elmélete, nyomóéc mechanikája, a csiszolás mechanikája, majd később a kalapácsolás daráló faaprítási mechanikája. A legutóbbi téma forgácsolási műveletek optimalizálása. Könyvünk egyedülálló ebben a témakörben. (Csanády és Magoss 2019)



A forgácsoláselmélet legfontosabb alaptételét tartalmazza a mellékelt ábra, amely megmutatja a forgácsoláskor fellépő erőviszonyokat. (Sitkei 1983).

Forgácsoláskor fellépő erőviszonyok (Csanády és Magoss 2013)

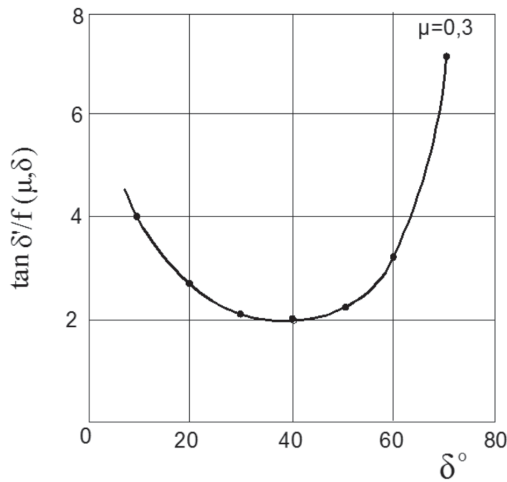
A forgácsoláskor meghatározható a horizontális forgácsolási erő elméletileg is. Mint ahogy a természetben is mindig, a gyakorlatban is van mindig minimum.

$$P_h / b = 2\rho\sigma_c + \frac{\tan \delta'}{f(\mu, \delta)} \cdot \frac{E}{50} \cdot \left(\frac{h}{R}\right)^2 \cdot h$$

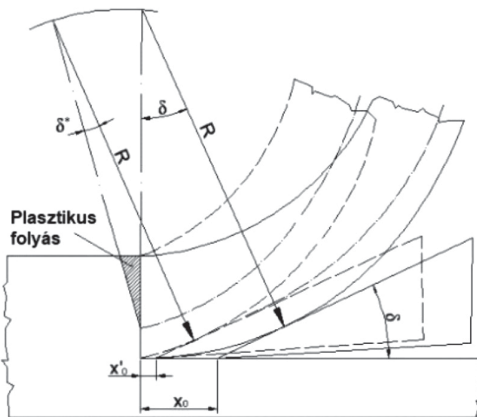
rövid írásmóddal:

$$P_h / b = A + B \cdot h$$

Alábbi függvény bizonyítja, hogy változatlan forgácsolási paraméterek mellett az erő a forgács vastagságtól lineárisan függ. Az egyenletben levő trigonometrikus függvénynek 40° tájékán minimuma van és ez egyben minimális forgácsoló erőt is jelent.



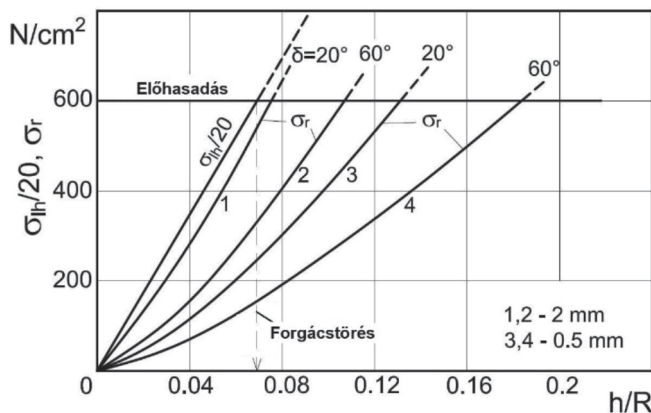
Erőminimum forgácsoláskor (Csanády és Magoss 2013)



A 80-as évek kutatásai adtak arra is választ, hogy forgácsoláskor milyen peremfeltételek esetén törik illetve hasad elő a forgács. (Sitkei 1982)

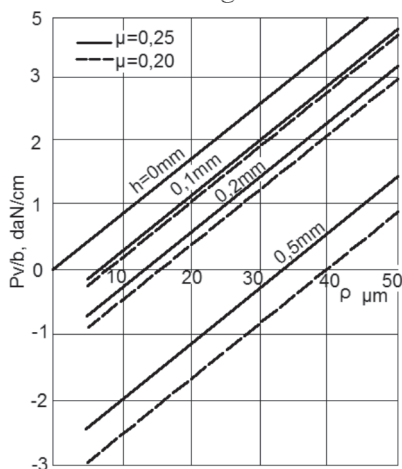
A nagy terhelésnek köszönhetően a forgács felső, összenyomott oldala gyakorlatilag mindig megfolyik. Ennek következtében a forgács lábánál lévő keresztmetszet előre felé fordul, és a  $\delta$  szög csökken ( $\delta'$ ).

A forgács plasztikus deformációja (Csanády és Magoss 2013)



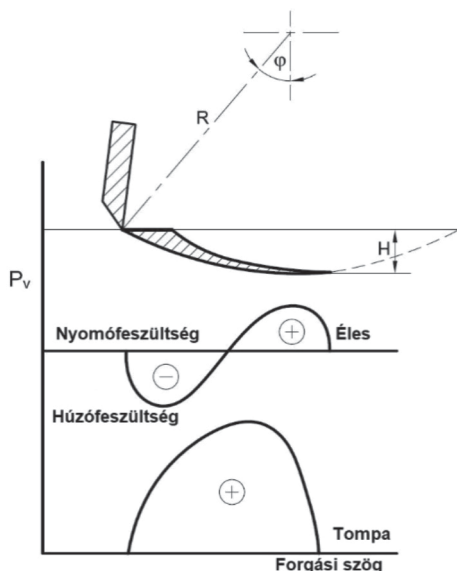
Forgács előhasadás és törés peremfeltételei (Csanády és Magoss 2013)

Fontos szempont, hogy mikor hasad elő illetve törik el a forgács, hiszen ez nagymértékben befolyásolja a felületi érdességet, ami meghatározza a későbbi megmunkálásokat és a felületkezelést.



Egységnyi erőre számolt erőviszonyok a forgácsvastagság és szerszámélkopás függvényében. (Csanády és Magoss 2013)

Az élekre ható erők komponensei megmutatták, hogy az élkopás és forgácsvastagság hogyan befolyásolja a függőleges erőt.



A nyomó és húzó feszültség változása éles illetve kopott szerszámnál. (Csanády és Magoss 2013)

Az ábra egyértelműen mutatja, éles szerszámnál a forgácsolás kezdeti szakaszában a húzó feszültség szinte behúzza az élet az anyagba, míg a kopott szerszám élét a forgácsolás teljes folyamatában nyomó feszültség éri.

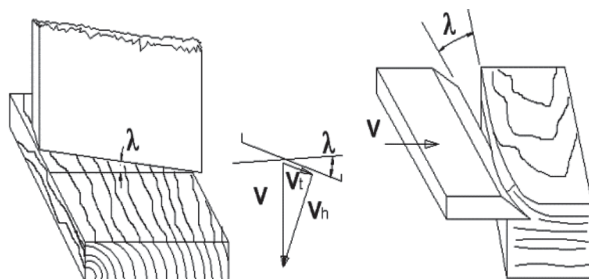
### Csúszó forgácsolás

(Az elméletet a Faipari Géptani Tanszéken a 90-es években dolgoztuk ki.)

A csúsztatási szög fő hatásai (furnér hasításnál, marásnál, gyalulásnál):

- csökkenti a forgácsolási erőt
- a normál erő csökkenése mindig kisebb dinamikus terhelést jelent a szerszám tengely csapágyszerkezetében, valamint kisebb gerjesztő erőt generál a munkadarab vibrációjában
- alacsonyabb a zajszint
- jelentősen jobb felületi érdességet nyerünk.

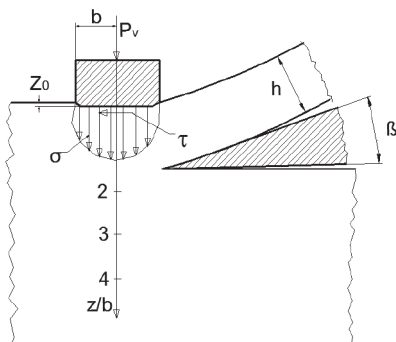
A kinematikai viszonyokat mutatja a mellékelt ábra.



Csúszó forgácsolás (Csanády és Magoss 2013)

Furnérhasítás és a nyomóléc mechanikájának kidolgozása szintén a 90-es évekre esik a Faipari Géptani Tanszéken.

A furnér általában hasítással vagy hámozással készül. A kiváló minőségű furnér készítéséhez hasítógépet használnak, különösen a kést és az nyomólécet mindig optimális helyzetbe kell beállítani. A faanyag nedves és főzött állapotban kerül hasításra, így több plaszticitást biztosít a felületi repedezés és előhasadás ellen.

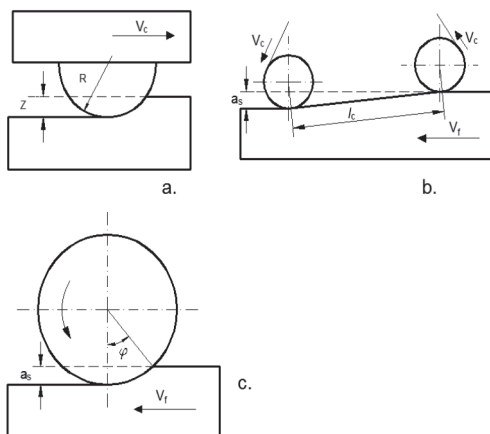


Hasítókés és nyomóléc elhelyezkedése (Csanády és Magoss 2013)



A csiszolás mechanikája

Korábban szintén nem volt megfelelően kidolgozva megfelelően elmélettel alátámasztva. A csiszolás jellege és paraméterei figyelembevételével az alábbi megoldások adódnak:



A gömb közeli vágóelem (a), a lineáris szalag csiszolás (b) és a henger csiszolás (c)  
(Csanády és Magoss 2013)

A Faipar Géptani Tanszéken megbízható számítási módszert dolgoztunk ki (Csanády és Magoss, 2013) amelynek fő összefüggései a következők. Mivel a munkadarab lehet álló vagy mozgó, ezért az összefüggések kissé módosulnak. Álló munkadarabok esetén a lecsiszolt rétegvastagság az időben növekszik

$$a_s = \frac{v}{b \cdot L} = B \cdot \frac{p \cdot v_c \cdot t}{\gamma} \quad \text{m}$$

amelynek fajlagos értéke

$$k = \rho \frac{a_s}{t} = \frac{B}{g} p \cdot v_c \quad \text{kg/m}^2\text{s} \quad \text{vagy} \quad \text{g/cm}^2\text{min}$$

Általában a munkadarab mozog \$v\_f\$ előtolási sebességgel a szalag alatt. Egy adott pont csiszolási ideje

$$t = \frac{L_c}{v_f}$$

és ekkor a lecsiszolt rétegvastagság

$$a_s = B \cdot L_c \frac{p v_c}{\gamma v_f}$$

míg a fajlagos érték

$$k = \rho \frac{a_s v_f}{L_c} \quad \text{kg/m}^2\text{s}$$

ahol:

- $V$  – a lecsiszolt tömör térfogat,
- $\gamma$  – a fajsúly,
- $b$  – csiszolt szélesség
- $B$  – anyagállandó
- $L_c$  – a csiszolási hossz,
- $p$  – a csiszolási felületi nyomása,
- $v_c$  – szalag sebessége
- $t$  – csiszolási idő.

A fenti egyenletek alapján dimenzió nélküli hasonlósági szám nyerhető:

$$\pi = \frac{p \cdot v_c}{a_s v_f \gamma} \quad \text{vagy} \quad \pi = \frac{p \cdot v_c}{k \cdot g \cdot L_c} \quad \text{és} \quad B \cdot L_c \pi = 1$$

amely alapvető szerepet játszik az elmélet és gyakorlat általánosításában.

A csiszolószalag a használat közben kopik és a lecsiszolt rétegvastagság fokozatosan csökken. Ennek figyelembevétele negatív exponenciális függvénnyel lehetséges

$$a_s(t) = a_{s0} \cdot e^{-\beta t}$$

amelynek integráltja

$$a_s = a_{s0} \frac{1}{\beta} (1 - e^{-\beta t})$$

Mivel a csiszolószalag hossza különböző lehet, és csiszolási hossz viszont  $L_c=10$  cm körüli, ezért a szalagok élettartama csak a valódi csiszolási idők alapján hasonlíthatók össze (Sitkei 2021, Progress. Rep. No.8)

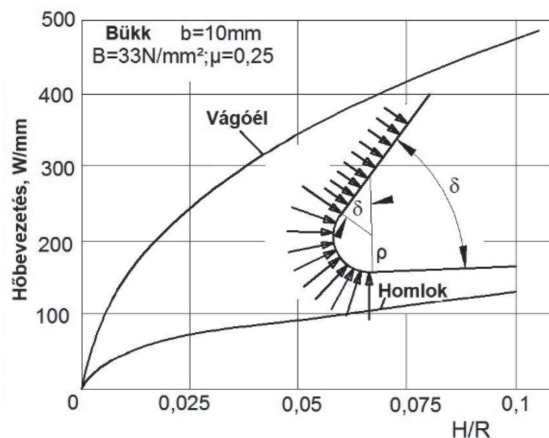
### Faforgácsoló szerszámok hőterhelése

A szerszámélek hőállapotának pontosabb ismeret 1980-ig teljesen hiányzott. A forgácsolási elmélet megszületése lehetővé tette a forgácsolást kísérő súrlódási munka szabatos meghatározását a változók függvényében és ennek alapján végeselemes számítási módszer segítségével meg lehetett határozni a késél maximális hőmérsékletét a befolyásoló tényezők függvényében. Fontos részfeladat volt a forgó szerszám hűlési folyamatának meghatározása kritériumi egyenlet formájában.

A fa feldolgozásakor a gépeken gyakran forgácsolunk, a forgács a szerszám felületén csúszik, és a súrlódási munka hővé alakul. A hő legnagyobb része az él közvetlen környezetébe áramlik. A súrlódási teljesítménytől függően a késél perem területe felmelegszik, és az él felszínén a hőmérséklet elérhet magas értéket.

A szerszám élének magas hőmérséklete növeli az él kopását, mivel a hő lágyítja a fémeket - különösen 500–600 ° C felett (gyorsacél). A faipar szerszámainak mikroszkópos vizsgálata kimutatta, hogy anyag felrakódása észrevehető az él felületén, ami az anyag

lágulásának következménye. Az utóbbi időben a kés felületeken a kalcium és a kálium vegyületek voltak megfigyelhetők, amelyek csak 800 °C-on jöhetnek létre a fából.



A hőbevezetés elméleti eloszlása a kés homlok és él felületén.  
(Sitkei et al. 1990, Csanády és Magoss 2013)

## Szerszámhőmérséklet különböző forgácsolási körülményeknél

tacioner hőállapot (például esztergályozás), amikor a hőmérséklet állandó marad, függetlenül az időtől a szerszám minden pontján;

Kvázi stacioner állapot (forgó szerszámok), amikor a szerszám hőmérséklete csaknem állandó marad a szerszám belsejében, kivéve a felszínt és az alatti réteget, néhány tizedmillimétert;

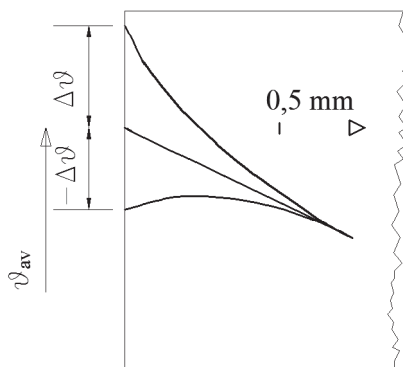
Instacionárius működési állapot, amikor a hőmérséklet egy vékony anyag rétegben periodikusan állandóan változik.

A szerszám teljes térfogatában nem stabil hőállapotú, a hőmérsékletváltozás felmelegedés-lehűlés formájában..

A forgó szerszám mindig instacionárius állapotban dolgozik. A hő beáramlásának időtartama  $\phi = 15\text{--}25^\circ$  fordulatonként. A teljes fordulat fennmaradó részében a szerszám éle, felülete hűl. Ezért az él környezetében a hőmérséklet nagyon változó az állandó érték körül.

- A késben kialakuló hőmérsékleti mező számos tényezőtől függ;
- a kés geometriai jellemzői, a kés anyagának hővezető képessége, hőmérséklet vezető képesség és annak fajhője;
- a valódi hőáram kisebb, mint az elméleti érték mind az élen, mind a homlokfelületen, mivel a súrlódás visszafordíthatatlan folyamat.
- Intenzív hőátadás történik a gyorsan forgó szerszámok felületén, amely részben csökkenti a hőmennyiséget és a kést hűti, miközben a szerszám forog a levegőben,

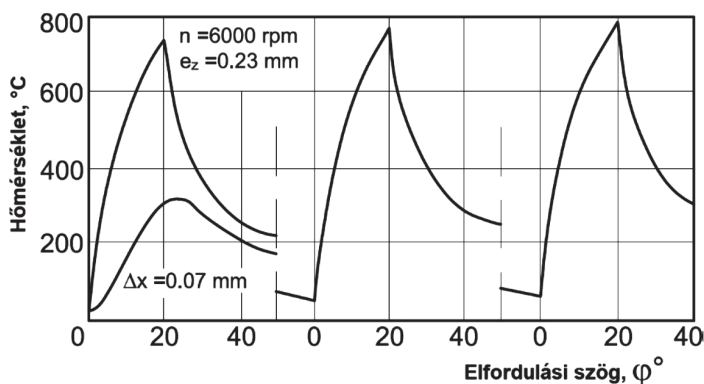
- súrlódási hő keletkezik a forgács és a szerszám érintkezési felületén, így a hő egy kisebb része áramlik a forgácsba, a nagyobb rész a késbe áramlik,
- további lehetséges pontatlanság származik abból, hogy a szerszám és a fa között a tényleges súrlódási együttható nem mérhető a vágási folyamat során. A rendelkezésre álló súrlódási együttható értékeket a forgácsolóerő mérések határozzák meg.



*Hőmérséklet lengés a szerszám felületi rétegében.  
(Sitkei et al. 1990, Csanády (lásd mellékelt ábrákat) (Magoss 2013)*

A forgácsolás közben két fajta módszert alkalmaztunk a hőmérsékletmező meghatározásához.

1. Hőmérsékletmérés termoelemekkel, egy időben több helyen:
2. Végeselem modell alkalmazása a hőmérséklet meghatározására a mérhetetlen helyeken. A modell átfedésben van a méréssel megállapított pontokkal is, a számításnál alkalmazott peremfeltételek helyessége érdekében.

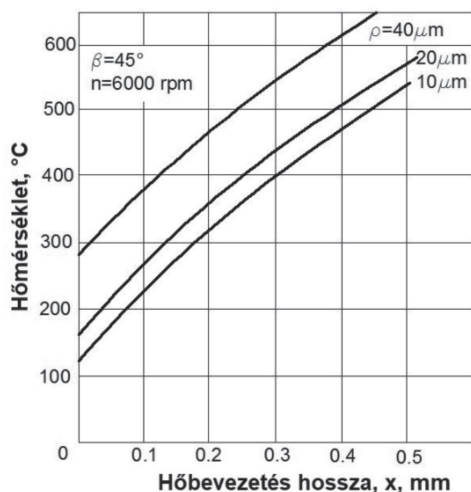


*Az első három hőbevezetési ciklus az instacioner melegedési folyamatban a szögelfordulás függvényében. Maximális hőmérséklet 600 °C felett.*

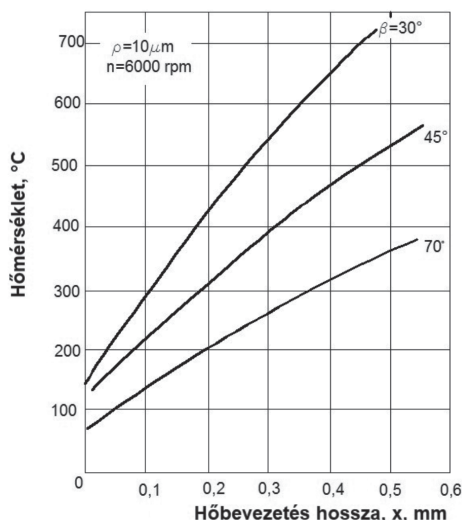
*(Sitkei et al. 1990, Csanády és Magoss 2013)*

A kutatásokból az alábbi következtetések vonhatók le:

- a faforgácsoló szerszámok hőterhelése elsősorban súrlódási hőből származik;
- a nagy kerületi sebesség nagy súrlódási teljesítményt és következésképpen magas felületi hőmérsékletet eredményez;
- a magas felületi hőmérséklet a kopás egyik fontos oka, mivel az anyagok lágyulnak és a magas hőmérsékletű korrózió következik be
- az élfelület magas ciklikus hőmérséklet-változása ciklikus hőstresszt okoz, amely a felület kipattogzását okozhatja;
- a kopott élű szerszám élhőmérséklete mindig nagyobb, mint egy éles szerszámé, ami tovább fokozza a kopás intenzitását (lásd mellékelt ábrákat).



Kialakuló hőmérséklet a forgácsvastagság (hőbevezetési hossz) és él kopottság függvényében (Csanády és Magoss 2013)



Kialakuló hőmérséklet a forgácsvastagság (hőbevezetési hossz) és élszög függvényében (Csanády és Magoss 2013)

## A forgácsolás kinematikai viszonyai különféle szerszámoknál

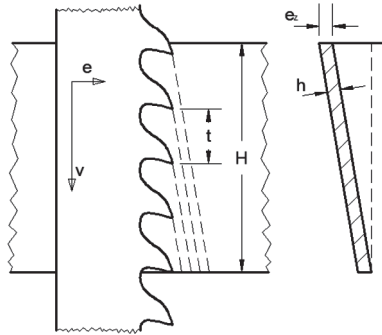
Fontos, hogy a faforgácsoló gépek és eszközök gazdaságosan és helyesen működjenek. Az optimális üzemi paraméterek és a gyártási költségek a feladattól függően változnak. A működési paraméterek szintén korlátozottak. Ezen határértékek túllépése akadályozhatja a gép vagy a szerszám biztonságos működését.

A legfontosabb működési paraméterek a következők:

- a szerszám kerületi sebessége,
- előtolási sebesség,
- egy fogra jutó előtolási sebesség,
- forgácsolási mélység,
- adott szerszám esetében az alábbi befolyásoló tényezők jelennek meg:
  - időegységre eső forgácsolt térfogat, időegységre eső forgácsolt keresztmetszet,
  - felületi érdesség és hullámosság, szerszámkopás,
  - forgácsolási energiaszükséglet,
  - megmunkálási költségek.

### Szalagfűrész üzemeltetési viszonyai

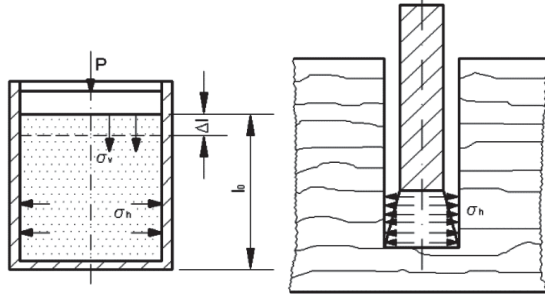
A szalagfűrész egyenes és egyenletes mozgást végez a forgácsolás során, miközben az anyag (munkadarab) a fűrészre merőlegesen halad.



Szalagfűrész szerszám kinematikai viszonyai, és forgácsképzés  
(Csanády és Magoss 2013)

A forgács térfogatnak illeszkedni kell a fogüreg térfogathoz, ez szerint  $V_{\text{fog}} = V_{\text{forgács}}$ . Mindezekből meghatározható a maximális elméleti előtolási sebesség az alábbi egyenlettel:

$$e_{\text{theo}} = \frac{V_g \cdot v}{\varepsilon \cdot H \cdot t \cdot \ell}$$

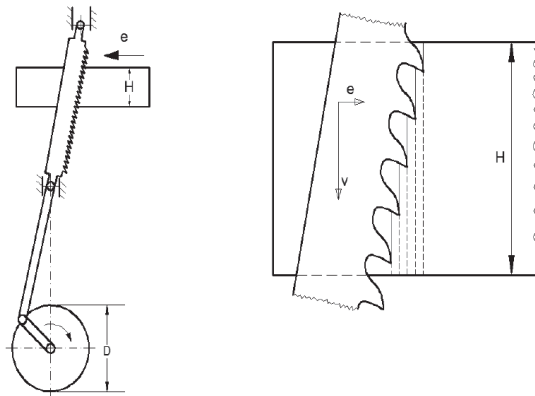


A forgács tömörödése és az oldalsó nyomás kialakulása a fogüregben  
(Sitkei et. al. 1990, Csanády és Magoss 2013)

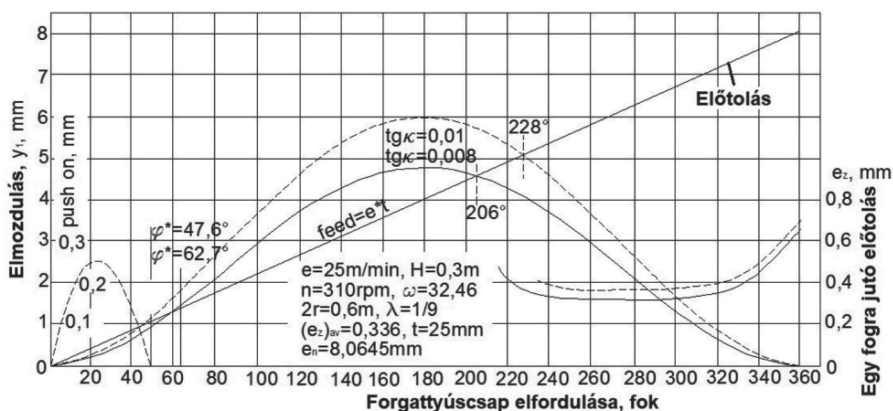
A forgács tömörítésének mérése azt mutatta, hogy csak 0,2–0,4 bar nyomásra van szükség 20–25% tömörítés esetén. Az ábra a tömörítés mechanizmusa és az oldalirányú nyomás alakulása a fogüregben. Az oldalsó nyomás koefficiens 0,25–0,35 között változik a statikus forgács halomban. Ha nagyobb mennyiségű forgácsot kényszerítünk a fogüregbe, mint a megengedhető, akkor a megnövekedett oldalirányú nyomás nagy súrlódási erőket generál, növelve a fog hőmérsékletét, miközben a vágóerő növekszik.

### Keretűrész üzemeltetési viszonyai

A keretűrészt, ha mozgásban van, a hajtórúd véges hosszúsága miatt a mozgása eltér a harmonikus mozgástól.



A keretűrészt kinetikai viszonyai  
(Csanády és Magoss 2013)

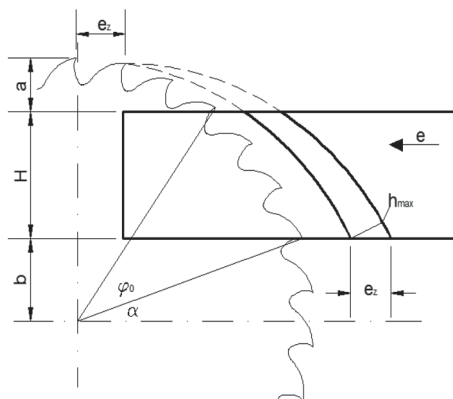


A keretfűrész munkadiagramja két különböző előtolás értékre, fogtávolságra és rátolás a főtengely elfordulás függvényében (Csanády és Magoss 2013)

Az ábrán egyenes jelzi a fűrészlap előhajtást, a két görbe pedig két különböző előtolásnál mutatja a fűrészlap egy fogának helyzetét. Az egyenes és görbe metszéséig tart  $0^\circ$ -tól a foghát súrlódás.

### Körfűrész üzemeltetési viszonyai

Az alábbi ábra a körfűrész kinematikáját mutatja. A körfűrész fogai ciklois pályát írnak le az anyaghoz viszonyítva.



Körfűrészlap kinematikai viszonyai (Csanády és Magoss 2013)

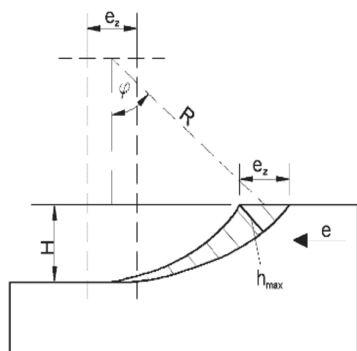
Fontos, hogy minimálisra csökkentjük a munkadarab széleinek töredezését, itt döntően a laminált forgácslap a kritikus. A vágóerők iránya nagy hatással van az élminőségre. A tömörítő erők jobb vágási élet biztosítanak az élzáráshoz; ezért kerülni kell a



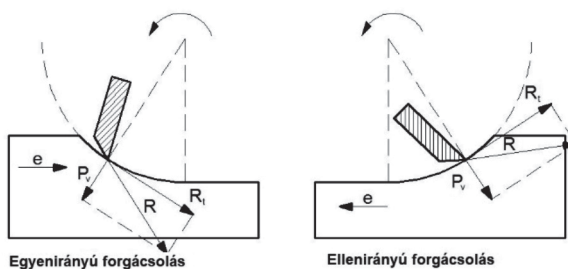
szélek közelében lévő húzóerőket. Az élkitörés minimalizálható a felső és az alsó élnél vagy mindkettőnél. A kísérletek szerint a munkadarab fölött a körfűrészlap túlnyúlása optimálisan 10 mm körül van.

### Gyalu- és marószerszámok üzemeltetési viszonyai

A maró- és gyalugépek gépi kinematikai viszonyait az alábbi ábra mutatja. A szerszámok a körfűrészekhez hasonlóan az anyagban ciklois pályát írnak le.

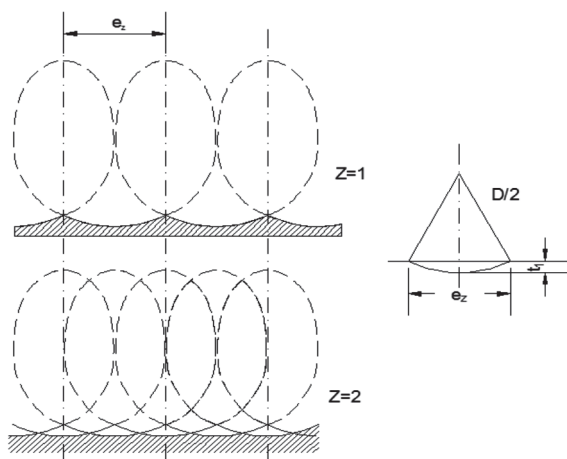


Gyalu és marógép kinematikai viszonyai  
(Csanády és Magoss 2013)



Egyenirányú és ellenirányú forgácsolás  
(Csanády és Magoss 2013)

Egyenirányú vágáskor a vágási erő vízszintes komponense egy irányba mutat az előtolási iránnyal. Ezért az anyag a szerszám alá kényszerül és magával ránthatja azt, az előtolási rendszer egyező irány miatt nem tart vissza. Kézi előtolás ezért ilyenkor nem alkalmazható. Ellenirányú forgácsolásnál a vágóerő vízszintes komponense ellentétes irányú az előtolás irányával.

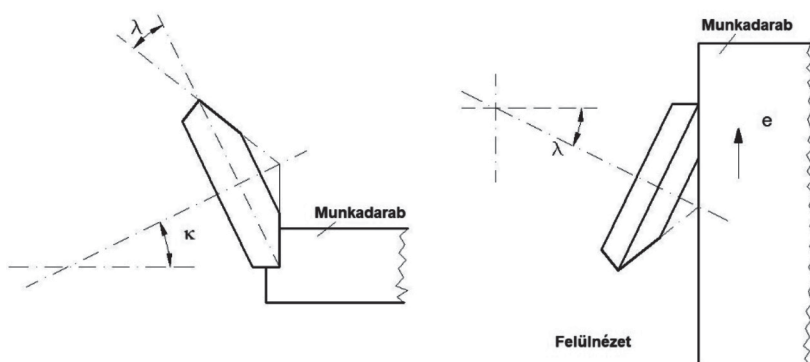


A forgácsoló kés útja ciklois pálya, hullámos lesz a felület  
(Csanády és Magoss 2013)

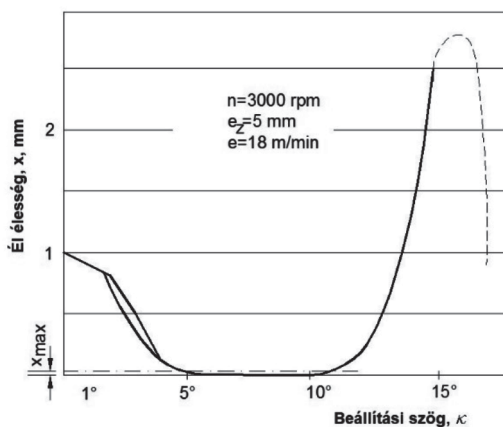
A marási és gyalulás művelet hátránya a ciklois út által okozott hullámos felület. A hullámosságot meghatározó tényezők a hullámhossz ( $t_1$ ), amelyet a szerszám átmérője, a fogak száma és a forgácsolási sebesség, valamint az anyag előtolási sebessége határozza meg.

Az él forgácsolása egy kritikus kérdés mivel egy laminált forgácsoló élének fűrészelése és marása, mert a szerszámél kilépésekor húzófeszültség lép fel, kitepi az él darabkáit, ezért úgy kell forgácsolni, hogy nyomó feszültség lépjen fel. Az alábbi elmélet ad választ a probléma megoldására. A forgácsolófejnek egy  $\kappa$  beállítási szöge és egy  $\lambda$  billentési szöge van előre felé. A  $\lambda$  dőlésszög a kés fent említett hiperbolikus pályáját eredményez, és vékony forgács alakul ki a munkadarab végén. Ez lényeges a jó felület és élminőség szempontjából. Az is fontos, hogy a forgácsolókör sokkal nagyobb legyen, mint a forgácsolófej átmérője.

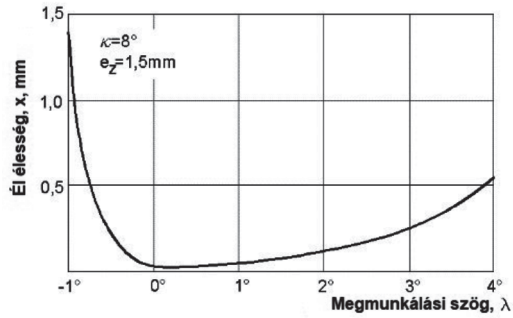
A nagyobb forgácsolási kör nagyobb összenyomási erőket biztosít, ami hozzájárulhat a munkadarab szélén való kisebb kitöréshez. A beállítási és a döntési szögek optimális választását csak kísérletekkel lehet megállapítani.



Beállítási és billentési szöge a szerszámtengelynek (Csanády és Magoss 2013)



Munkadarab élkitörés a beállítási szög függvényében (Csanády és Magoss 2013)



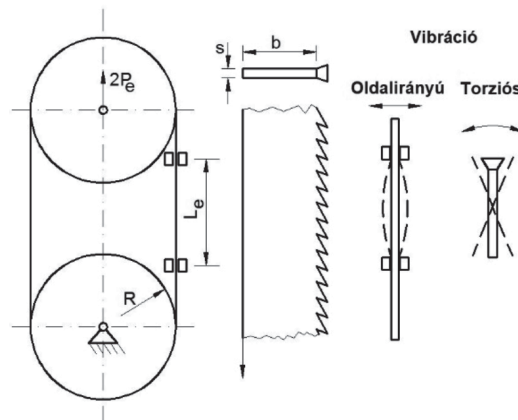
Munkadarab elminőség a döntési szög függvényében (Csanády és Magoss 2013)

### Szerszám és munkadarab lengései

Ebben a témakörben mi elsősorban a munkadarab lengéseivel foglalkoztunk, amely közvetlen kapcsolatban van a felületi érdességgel. Elsőként ismertettünk konkrét összefüggést a munkadarab lengési amplitúdója és a felületi érdesség ( $R_z$ ) között. Kimutattuk, hogy hosszú munkadarab megmunkáláskor az érdesség változhat a hossz mentén.

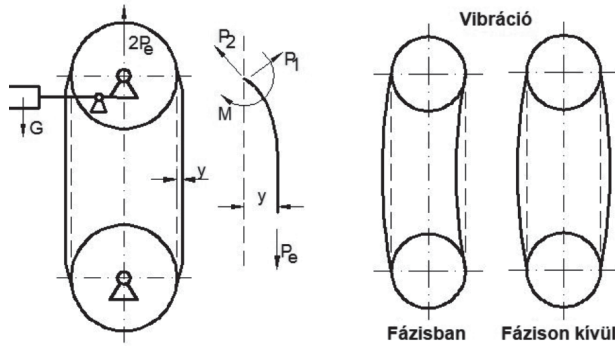
### Szalagfűrész lengés

A szalagfűrész és az indukált rezgésformái láthatók az alábbi ábrán. Oldalirányú és torziós irányú rezgések fordulhatnak elő a befogásokon belül, és ezek szuperponálódnak.



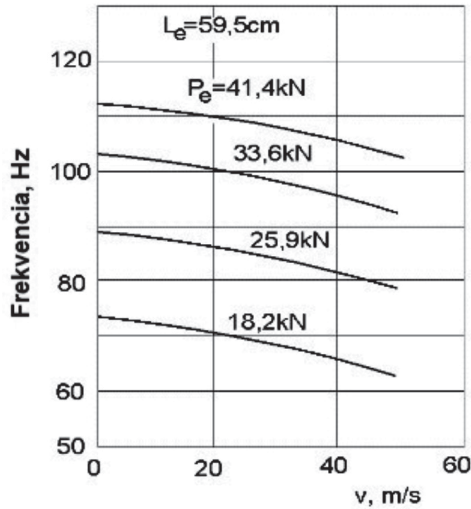
A szalagfűrész lengési formái (Csanády és Magoss 2013)

Fontos gyakorlati probléma a szalag állandó előfeszítése, amely befolyásolja a húzott és laza ág közötti frekvencia különbséget s ezzel az az általános lengésképet. A lengés amplitúdó növekedése növeli a vágási rést, a felület hullámosságát és a vágási pontatlanságot.



$(\omega_1)$  frekvencia a vágási fázisban és  $(\omega_2)$  frekvencia nem vágó fázisban  
(Csanády és Magoss 2013)

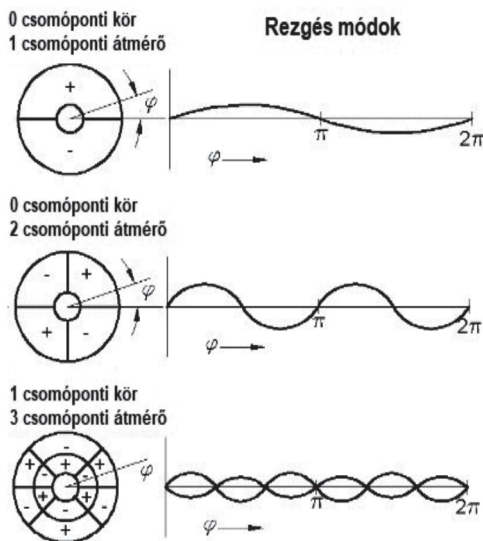
A fűrészszalag sebessége csak enyhén befolyásolja a természetes önlengésszámot. A sebesség növekedésével az önlengésszám 5–7%-kal csökken a 0–50 m/s sebességtartományban.



A fűrészszalag sebesség, előfeszítés és az önlengésszám kapcsolata (Csanády és Magoss 2013)

### Körfűrészszalag lengése

A forgó tárcsákon kialakuló rezgés formái az alábbi ábrán láthatók. A különböző rezgési formákat a csomóponti körök és a csomópontok átmérője jellemzi. A nulla csomópont és a nulla csomópont átmérője esetén a tárcsa teljes periferiája jobbra vagy balra hajlik. Nagyobb átmérőjű körfűrészszalagoknál több csomóponti kör alakulhat ki, amikor egy másik hullám rendszer keletkezik a belső részen az ellenkező fázisban.



*Forgó körfűrészlap rezgésmódjainak vázlatja (Csanády és Magoss 2013)*

A körfűrész lapok fontos jellemzője a kritikus fordulatszám, amikor a forgás sebessége megegyezik a hullámfutás sebességével. Ez az állapot a tárcsa stabilitását és vágási pontosságát alapvetően rontja.

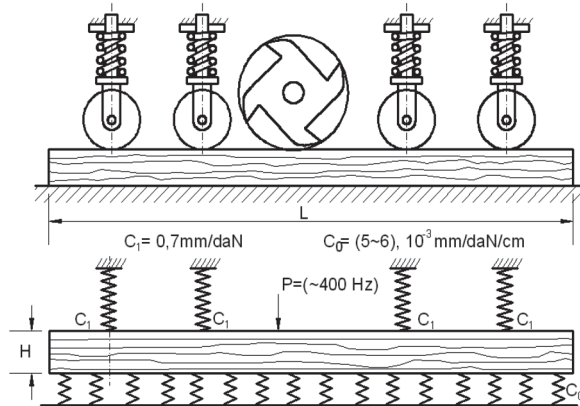
### A munkadarab lengése

A megmunkált munkadarab lengő rendszert képez az által, hogy a forgó szerszám rezgésamplitúdókat okoz, miközben a faanyag a gépen átfut. A rezgés elmozdulások rontják a feldolgozás pontosságát és a felületi minőséget, így a rezgés értékét a lehető legalacsonyabb szinten kell tartani.

A munkadarab rezgése számos tényezőtől függ, ezek a következők:

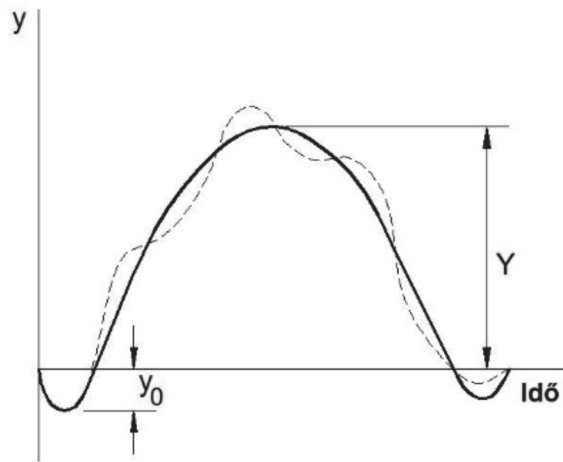
- a munkadarab vastagsága és hossza.
- a gerjesztő erők és a pillanatnyi határfeltételek a megmunkálás helyéhez viszonyítva.
- a határfeltételek a nyomógörgők pozícióját, előfeszítését és a rugós merevséget jelentik.

A kísérleti eredmények egy többfejes gyalugépről származnak, de a kapcsolatok implicit módon a vastagsági- és egyengető gyalu, valamint marógépekre is vonatkoznak.



Vázlat egy vastagoló gyalugépről és annak mechanikai modellje  
(Sitkei et al. 1990, Csanády és Magoss 2013)

A rendszer szabad rezgést és kényszer rezgést végez. A rezgés nagyon aszimmetrikus, mivel a rugó állandója nagyon különbözik a tömeg két oldalán, és nem kapcsolódnak egymáshoz. Az ábrán látható fejlődő rezgésképet erősen aszimmetrikusan láthatjuk.

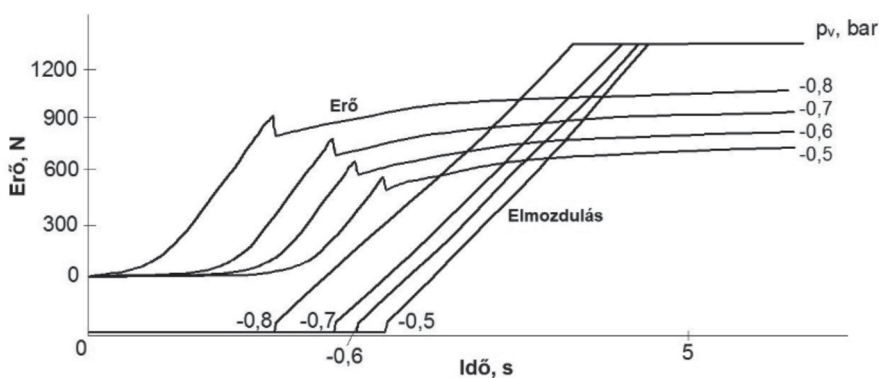


A munkadarab aszimmetrikus lengése a rugók és a gépasztal irányába  
(Sitkei et al. 1990, Csanády és Magoss 2013)

A mérési eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy a munkadarab lengési amplitúdója egyértelműen növeli a felületi érdességet.

## Munkadarab vákuumos lefogása

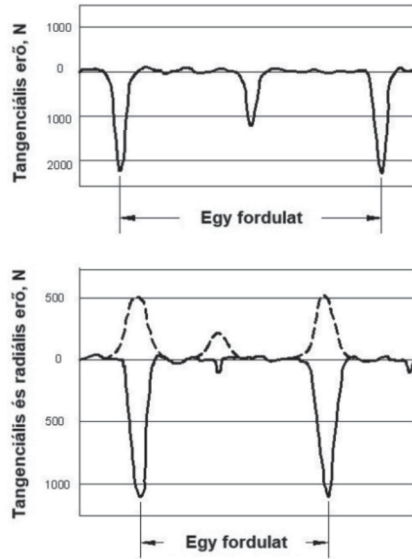
A számítógéppel vezérelt maró- és megmunkáló központok képviselik a vezető faipari technológiát. A megfelelő méretpontosság és a maximális minőség elérése érdekében a munkadarabot biztonságosan rögzíteni kell a gépen. A sima felületű munkadarabok leggyakoribb rögzítési módja vákuummező. A vákuumnyomás függőleges erőt generál lefelé, és a vízszintes súrlódási erő megakadályozza a munkadarab elmozdulását bármilyen irányban. A rögzítőasztal felülete négyzetrács mintázatú hornyokat tartalmaz. A kívánt méretű és alakú vákuumterületet úgy alakíthatjuk ki, hogy gumi profilokat helyezünk a hornyokba. A vákuumszivattyú általában maximális 0,8–0,9 bar vákuumnyomást tesz lehetővé.



*Munkadarab elmozdulást szimuláló modell. Különböző vákuumértékeknél munkadarab elmozdításhoz szükséges erőváltozás és az elmozdulás (Csanády és Magoss 2013)*

A befogott munkadarab dinamikus viselkedését (szerszámél forgácsoláskor fellépő ütése) egy inga terhelő eszköz által kifejtett ütközési erővel lehet vizsgálni. Az ütés jellemzői, például az alakváltozás, az erő, a sebesség és a lassulás az ütközés során kiszámíthatók. A forgácsolóerő a nem teljesen mereven megfogott darabban lengéseket generál. Ha a forgácsoló él a darabban annak különböző helyzetében találkozik, a forgácsvastagság különböző lehet.

Az első esetben a fordulatonkénti előtolás elég nagy ( $e_n = 1,67$  mm), és a munkadarab elmozdulása ugyanabba az irányba, mint a következő vágóélnél, a fogást felére csökkenti. A második esetben a fordulatonkénti előtolás 0,83 mm, a második vágóélnél gyakorlatilag nem is forgácsol. Az él csak érintkezik a munkadarabbal, amelyet a radiális erő jelez. A rezonancia elkerülése érdekében meg kell változtatni a fordulatszámot. Ha minden második vágóél nem vág, a felület általában hullámos karaktert mutat.

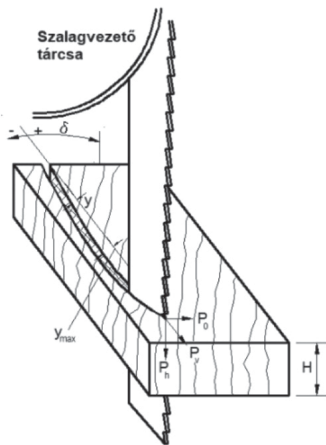


*Kétlű szerszám aszimmetrikus forgácsolása (munkadarab lengés)*  
(Csanády és Magoss 2013)

### Faforgácsoló szerszámok stabilitása

A megmunkálás csak akkor tudja kialakítani a munkadarab elvárt alakját, méretét és felületi minőségét, ha a szerszám stabilan és túlzott vibráció nélkül működik. A stabilitási problémák (hasonlóan az általános mérnöki gyakorlathoz) a vékony és karcos szerszámoknál jelentkeznek. Az ilyen típusú szerszámok elsősorban a nagy átmérőjű fűrészek, szalagfűrészek és körfűrészek. A vágási pontosságot befolyásoló főbb működési

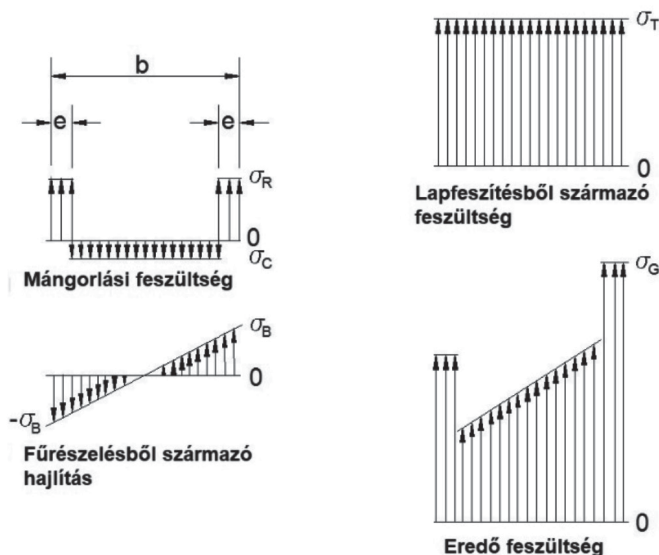
és szerszámtervezési tényezőket az alábbiakban foglaljuk össze: fűrészlap méretei (szélesség, vastagság, átmérők, a vágási fesztáv szabad hossza, fogosztás és alak) fűrészlapok előkészítése (melegedés, előfeszítés mángorlással, köszörülési pontosság) működési paraméterek (lapsebesség, fogelőtolás, vágási magasság, vágási szélesség, faanyag tulajdonságai, fogélesség).



*Fűrészszalag kitérése a túlzott elővölási sebesség miatt*  
(Csanády és Magoss 2013)



A fűrészlapok (szalagfűrészek, körfűrészek és keretfűrészlapok) alkalmazott előfeszítési eljárás körülbelül 100 éve létezik. A lapok megfeszítése magában foglalja a fűrészlap hideghengerlését hossz- vagy kerületi irányban két keskeny görgő között. Az eredő feszültség kialakulását a mellékelt ábra mutatja,



*Szalagfűrészlapban fellépő feszültségek (mángorlás + előfeszítés + hajlító feszültség)  
(Csanády és Magoss 2013)*

A mesterséges feszültség bevitel azt a célt szolgálja, hogy a fogzóna mindig húzott állapotban legyen a vágási pontosság érdekében. A vágási pontosság azonban az egy fogra eső előtolás növekedésével nő, mivel gerjesztő erők egyre nagyobbak lesznek. (Csanády és Magoss 2013).

### A forgácsolás energetikája, teljesítményszükséglet

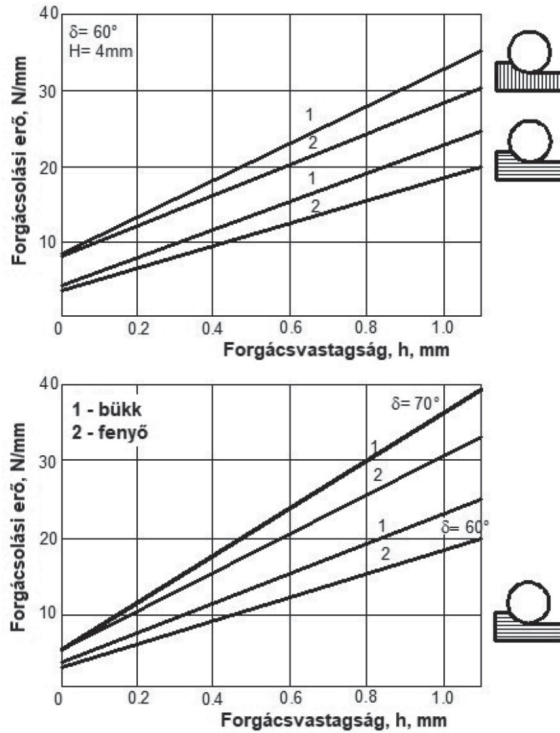
A forgácsolás energiaszükségletének fő törvényszerűségei 1980-ig szintén hiányoztak. A Faipari Géptani Tanszék maga is sok mérést végzett, főleg szalag- és keretfűrészekkel. Az elméleti alapok birtokában általánosan használható összefüggéseket kerestünk és találtunk, majd később dimenzió nélküli számok segítségével teljesen általános összefüggésekhez jutottunk, beleértve a csiszolási művelet energiaszükségletét is.

A famegmunkálási műveletek energiafogyasztása a teljes termelési költség jelentős részét teszi ki. Ezért fontos a megfelelő szerszámok kiválasztása optimális működési paraméterekkel.

A forgácsolás elméletének tárgyalása során levezettük és bebizonyítottuk, hogy az egységnyi szélességre eső forgácsolóerő kifejezhető az egyszerű lineáris egyenlettel.

$$\frac{P_b}{b} = A + B \cdot h$$

Az egyenletben szereplő A és B állandó a fa mechanikai tulajdonságaitól, a vágás irányától és a szerszám  $\delta$  forgácsolási szögétől (vagy  $\gamma$  dőlésszögétől) függ. A mellékelt ábra mutatja a forgácsolóerők változását fenyő és bükk esetében a forgácsolóerők függvényében különböző vágási irányok és vágási szögek esetén.

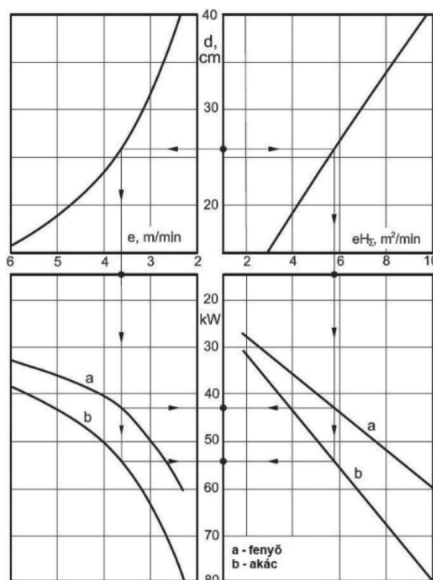


A vágóerő változása a vágás irányától és vágási szögétől függően  $\delta$ , bükk (1) és fenyő (2) esetén (Csanády és Magoss 2013)

### Keretfűrészgép energia szükséglete

Az optimális üzemi paraméterek kiválasztásához munkadiagramra van szükség (Sitkei et al. 1988). A kiindulási pont a rönk átmérője és ebből kapjuk a maximális előtolási sebességet és a vágási felületet egységnyi idő alatt. Továbbá a diagram alsó részében találjuk a különböző fajfajták teljesítményigényét.

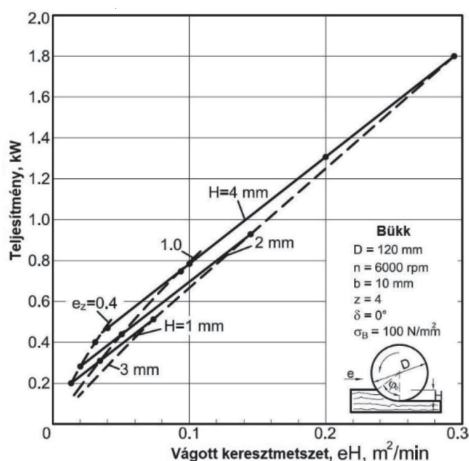
Az egy köbméter fa vágásához szükséges teljesítmény a rönk átmérőjétől függ, és gyorsan növekszik  $d = 25\text{ cm}$  alatt. Általában 4–5 kWh/m<sup>3</sup> fajlagos energiabevittel számolhatunk (Sitkei et al. 1988).



Keretfűrészgép munkadiagrammja  
(Csanády és Magoss 2013)

### Energiaszükséglet gyalulásnál és marásnál

A gyalu és a marógépek a faipari klasszikus forgószerszámokkal rendelkeznek. Használhatjuk őket az előtolás irányához viszonyítva egyenirányú vagy ellenirányú forgácsolásban. A perifériás erő nagysága gyakorlatilag független az előtolás irányától, de az egyenirányú vágás általában jobb felületminőséget eredményez. A teljesítmény igényt alapvetően az egységnyi időben vágott keresztmetszet határozza meg. Ezért rönkvágó szalag- és körfűrészek teljesítménye igénye nagy lehet.



Energia igény marásnál  
(Csanády és Magoss 2013)

## **Természetes faanyagok felületi érdekessége**

A termékek felületi érdekessége, színe fontos kritériumai minőségük meghatározásának. Az egyes alkatrészek gyártásának célja – ennek megfelelően – a méret és alakpontosság, valamint a megfelelő felületi érdekesség elérése. A gyártás mindig valamilyen pontatlansággal tudja előállítani a tervértékeket. Ezeket a különbségeket, két osztályba, makró és mikro eltérésekként kategorizálják. A makrocsoport az alak-, méret- és pozíció eltéréseket foglalja magában, míg a mikro kategória a hullámosságot és az érdekességet. Alapvetően a továbbiakban a felületi érdekesség kutatási eredményeire fókuszálunk, de a hullámossággal és egyéb méretjellemzőkkel történő összefüggéseket is tárgyaljuk.

Az anyagok mechanikai megmunkálása során többnyire a szerszám nyomok, pályák, okozzák a felületi hullámosságot. Homogén anyagok esetén általában a szerszámrezgésekkel azonosítják a felületi érdekesség fő kiváltó okát, más, általában kisebb nagyságrendű hibaokok mellett (Sander 1993). Faanyag esetében, az anatómiai felépítés miatt bonyolultabb a megoldás. Így az érdekesség létrejöttének további különböző okai lehetnek: a ridegtörés különböző formái, az anyagban lévő üregek, a szerszám élének véges lekerekítési sugara, a szabad vágás jelenségét kísérő lokális deformációk, stb. (Kisselbach és Schadoffsky 1996; Devantier 1997; Magoss és Sitkei 2000; 2003; Kilic et al. 2006).

Az érdekesség általában elsősorban az anyagok esztétikai megjelenését befolyásolja, de lehetnek más hatásai is. Az érdes felület faanyagok esetében akkor lehet különösen kedvezőtlen, ha a szerszám éle alatt a felület maradó deformációt szenvedett. A roncsolt felület stabilitása alapvetően csökken, a kezelt felületek tartóssága nem lesz megfelelő.

Az esztétikai megjelenést, a színhatást elsősorban a fény szórása és visszaverése befolyásolja. Szemléletes példa erre az átlátszó üveglap, amelyet ha homokkal finoman érdekessé teszünk, elveszti átlátszó képességét. A fa eredeti színét sokkal jobban megmutatja, ha a felület „fényes”, vagyis sima, egyenetlenségektől mentes. A faanyagok esetében erre jó példa az ébenfa, amely fekete színe teljesen más hatású, lehet a felület simaságától függően. A polírozott felület fényes fekete színt ad. A szintelen lakkal, olajjal vagy viasszal bevont felület is teljesen más színhatású lesz (Sitkei 2013).

A faanyagok elérhető minimális felületi érdekessége sok mindentől függ. Általában mondható, hogy az anatómiai felépítés, és az alkalmazott megmunkálási eljárás egy bizonyos minimális érdekességet nem tud átlépni (Magoss 2008).

A faanyagok érdekessége igen sok tényező együttes hatásaként jön létre, ezért az általános törvényszerűségek megtalálása sokáig váratott magára. Az utóbbi évtized új elgondolásai és a modern mérés technika lehetővé tette az alapvető törvényszerűségek felismerését, illetve a kétdimenziós felületi érdekesség jellemzést, kiterjeszteni három dimenzióra.

### **Az érdekesség mérőszámai**

A felületi érdekesség kutatás egyszerűbb megértése érdekében röviden ismertetjük az érdekességi paraméterek jelölési rendszerét. A felületi érdekesség számszerűsített jellemzésére érdekességi paramétereket szabványosítottak. Az ISO 4287 szabvány három profilt azono-

sít, hullámossági profilt ( $W$ ), elsődleges profilt ( $P$ ) és érdességi profilt ( $R$ ). Ezekből származtatott érdességi paraméterek jelölése utal, melyik profilból származik, és a paraméter indexe határozza meg, hogy melyik paraméterről is van szó. Az ISO 25168 szabványban kerültek megadásra a felületi 3 dimenziós érdességi paraméterek, ezeknek jelölése  $S$  betűvel történik. A szabványosított paraméterek mellett kutatók speciális érdességi jellemzőszámokat is alkalmaznak, mint például az összevont Abbott érdességi paraméterek, paraméter viszonyok, valamint Abbott viszonyok (Csanády és Magoss 2020) vagy az úgynevezett struktúra szám (Magoss 2008).

### A fa felületi érdesség kutatása

A faanyag felületi érdesség minősítése az emberi érzékszervekkel kezdődött, majd egyszerű mérőeszközökkel történt, így használták az élvonalzókat, összehasonlító etalonokat. Az első méréseknél használt „műszer” – az emberi szem mellett – a kézen található ujj volt. Az ember ujjbegye illetve körme meglepően jó mérőeszköznek tekinthető, 0,1 mm-nél kisebb lépcsők kimutatására is alkalmas (Tatai 2008). Ugyanakkor a számszerűsített, reprodukálható adatokat érzékszervi vizsgálatokkal nem lehet előállítani faanyag felületi érdességének jellemzésére (Sandak és Tanaka 2002, 2004; Sinn et al. 2008). Az első mérési eljárások már számszerűsíthető eredményekkel szolgáltak, de mélyebb elemzést nem tettek lehetővé, mint például a Flemming-féle gél területi teszt. A reprodukálható mérési eredményeket a méréstechnika fejlődése tette lehetővé. Az 1990-es évekig alkalmazott mérési eljárásokat foglalja össze a következő táblázat (Thomas 1998).

**Felületi érdesség mérésének módszerei (Thomas 1998)**

	Tapintófejes technika	Optikai mérések	Egyéb technikák
Számszerűsíthető eredmények	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mechanikus berendezések</li> <li>– Elektronikus berendezések</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Visszatükröződésen alapuló (Specular reflectance)</li> <li>– Teljes integrált szórás (Total integrated scatter)</li> <li>– Irányeloslzás (Angular distribution)</li> <li>– Direkt Fourier-transzformáció</li> <li>– Ellipszometria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mechanikus eljárások (STP, SCPM, SICM, LFM, MFM stb.)</li> <li>– Elektronikai eljárások (kapacitív alapú berendezések, nagyfrekvenciás váltóáramú berendezések)</li> <li>– Fluid technikák</li> <li>– Akusztikus technikák</li> </ul>
Képi megjelenítés	Mért felület képi megjelenítése (felületi háló)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Optikai metszetek (Optical sections)</li> <li>– Optikai tapintók (Optical probes)</li> <li>– Interferométerek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Vékony metszetek (Taper Sectioning)</li> <li>– Elektronmikroszkópia (TEM, SEM)</li> <li>– Pásztázó mikroszkópok (STM, AFM, SNAM)</li> </ul>

Meg kell jegyezni, hogy Thomas összefoglalása óta jelentős előrelépést a confocal mikroszkópok felületi érdesség mérésre történő alkalmazása jelenti.

Faanyagok felületének jellemzésére a legáltalánosabban alkalmazott eljárás a mechanikus tűs letapogatás. Ez egy olyan érintéses felületmérő eljárás, melynek során a térbeli felület struktúráját egy vonal mentén, tapintótű segítségével letapogatjuk. A tű függőleges irányú kitéréseit elektromos jellé alakítva egy vonalmenti, kétdimenziós érdesség profil kapunk, melyből a profil paraméterek meghatározhatók. Az optikai eljárások mérés technikai fejlesztése ellenére is, több kutató továbbra is ezt az eljárást tekinteti etalonnak a fa felületek mérése tekintetében (Gurau és Irlé 2017; Sandak és Tanaka 2002), mivel a természetes faanyagok felületi érdességének mérésekor a mechanikus tűs letapogatás pontosabb eredményeket szolgáltat az optikai elven működő berendezéseknél (Westkämper et al. 1995). Különösen nagyedényes fafajoknál okoz problémát, hogy a felületen elhelyezkedő átvágott mély edények falán a kamera elveszti a fókuszpontot („nem lát le az edény aljára”) és amíg az edényfal másik oldalán újra meg nem találja azt, hibás jelet szolgáltat. Erre a mérés technikai problémára jelent megoldást a confocal mikroszkópia, melynek mérési elve lehetővé teszi az optikai eljárások legnagyobb korlátjának számító mélységélességi tartomány kiterjesztését. Az eljárás mérési elve azon alapszik, hogy kioltja azokat a visszaverődő fénysugarakat, melyek nem a fókusz pontba érkeznek. Ráadásnak ezt úgy teszi lehetővé, hogy nagyobb mintaszámot tesz lehetővé, azaz jobb felbontást alkalmaz, mint amit a tűs letapogató berendezések lehetővé tesznek (Caja et al. 2018).

Egyes érdességi paraméterek értékét kevésbé ( $P_a$ ), míg másokét jelentősen ( $P_p$ ,  $P_z$ ,  $P_{max}$ ) befolyásolja a mérés pozíciója (Molnár 2011). A paraméterek értékeinek változása természetesen fafajonként is eltérő, hiszen a homogénebb fenyő felületekről származó eredmények alacsonyabb, míg a nagyedényes lombos fafajok felületéről kapott eredmények magasabb szórásértékkel rendelkeznek. Egyes érdességi paraméterek értékeiben még homogénebb, teljesen általános felületekről származó eredmények esetén is előfordulhat több mint 50%-os eltérés az ugyanarról a felületről származó mérések között, sőt etalon felületeknél is adódhat akár 15%-os eltérés is (Thomas és Charlton 1981). További nehézség, hogy a mérőberendezések két szabványosított szűrési eljárása, a 2RC és fázis korrekt szűrő (GS), melynek feladata a hullámosság és az érdesség szétválasztása, a faanyag esetén gyakran hibás eredményt okoz. A hiba oka a faanyag anatómiai felépítésének esetleges periodicitásában keresendő, ezért egyes kutatók speciális szűrők alkalmazására tettek javaslatot (Indof és Mahovic 2000; Csiha 2003; Fujiwara et al. 2001, 2003). A kialakuló érdesség felületkezelési, illetve ragasztási műveletek miatt is fontos (Hiziroglu et al. 2014; Molnár 2018).

Az első optikai úton működő érdességmérő berendezések szintén kétdimenziós profil regisztráltak a felületről, de anélkül, hogy mechanikai kapcsolat jött volna létre a mérendő felület és a mérőfej között. A továbbfejlesztett optikai vagy más néven lézeres letapogató berendezések már 3 dimenziós felületek felvételére is alkalmasak. A fafelületek inhomogenitása gyakran meg is követeli a felület értékelését a minőségét illetően (Molnár 2018). Fa és faalapú anyagok esetén a kétdimenziós profilok egymás mellé sorolásával

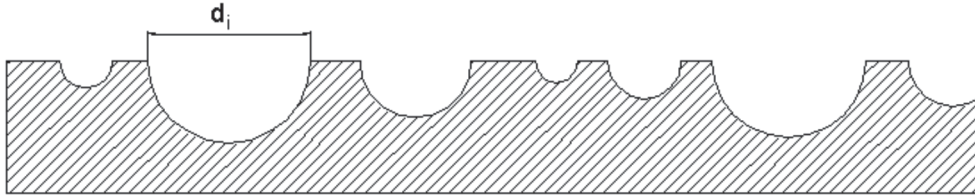
generálhatók ugyan háromdimenziós felületek, de az így kapott felületek érzékenyek a mérési irányra, illetve a mérési felületre (Pierre Larricq et al. 2000), ezen kívül az eljárás időigényes.

Az első 3D-s topográfákat Greenwood és Williamson az 1960-as években rögzítették egy „mikro kartográf” berendezéssel (Dowson 1979). Mára a digitális technika adta lehetőségeknek köszönhetően többféle elvet használó optikai mérőrendszer létezik, melyek általában gyors és megbízható mérést tesznek lehetővé. Fontos azonban megjegyezni, hogy az optikai 3 dimenziós mérőeljárások természetes faanyag esetén vezethetnek hibás mérési adatokra, mivel az éles színeltéréseket gyakran méreteltérésnek regisztrálják, valamint a reflexió is gyakran okoz mérési hibát, ezért faanyagnál történő alkalmazásuk esetén nagyon körültekintően kell eljárni (Molnár 2018). Tehát a faanyag anatómiai felépítése, színeltérései és felületi mikro kitöredezési miatt az optikai mérési eljárások csak korlátozottan, bizonyos feltételek mellett alkalmazhatóak. Például a light sectioning (Peters és Cumming 1970; Yang et al. 2006) és az image analysis (Faust 1987) módszerek, csak bizonyos esetekben szolgáltatnak megbízható eredményt. A faanyag reflexiója okozza a legnagyobb problémát az optikai eljárások alkalmazása során (Funck et al. 1992; Sachsse 1994; Lundberg és Porankiewicz 1995; Larricq et al. 2000; Goli és Sandak 2016).

A különböző gyártási eljárásokkal készített felületekkel szembeni elvárások egyre növekednek (Udupa et al. 2000). Fa felületek esetében a mikro érdességet alapvetően nem csak a mechanikai megmunkálási műveletek határozzák meg, mint homogén anyagszerkezet esetében, hanem az anatómiai felépítésnek is jelentős hatása van. A hatás mértéke függ a megmunkálási paramétereiktől, és a fafajtól is. Általánosan megállapítható, hogy minél optimálisabb felületi megmunkálást alkalmazunk, annál jobban növekszik az anatómiai érdesség hatása, és szintén ebben az irányban hat, a változatos anatómiai felépítés, különösen a nagyedényes fafajok esetében. Már itt meg kell jegyezni, hogy fa esetében a mechanikai megmunkálás után kialakuló felületet nem tekinthetjük stabilnak, hiszen mind a nedvesség, mind a napsugárzás első esetben rövid időn belül, második esetben hosszabb idő után-, de jelentős változásokat okoz. Míg általában a mechanikai megmunkálás során az a cél, hogy minél simább felület jöjjön létre, faanyag ragasztása esetén gyakran az érdesebb felület eredményezi a nagyobb ragasztási szilárdságot (Hiziroglu et al. 2014).

A fa forgácsolásméletét McKenzie (1960), dolgozta ki, majd Fischer és Sitkei fejlesztette tovább (Fischer és Schuster 1993; Sitkei 1983; Sitkei et al. 1990; Sitkei 1994). A legújabb átfogó kutatási eredményeket Gottlöber, illetve Csanády és Magoss publikálta (Gottlöber 2014; Csanády és Magoss 2013, 2020). A fa forgácsolásmélet szisztematikus kutatómunkájának volt a része a fa felületi érdességének kutatása, melynek első mérföldköve az alapösszefüggések felállítása volt (Magoss 2008). A különböző forgácsolási paraméterek hatásának vizsgálata (szerszám kerületi sebesség, kopás, forgácsolás iránya, egy fogra eső előtolás) vizsgálatra került az anatómia hatása is. A kutatás első fázisának egyik legfontosabb eredménye, hogy sikerült definiálni azt a minimális érdességet, ami alá az iparilag alkalmazott megmunkálások esetén, nem lehet csökkenteni a felületi érdességet. Ennek jellemzésére bevezetésre került a struktúra szám  $\Delta F$ . Ezzel lehetővé vált a „fafaj”

mint változó helyettesítése számszerűen kifejezhető változóval. Valamint bevezetésre került az  $R_{sk}$  és  $R_{ku}$  eloszlási paraméterek használatát, és meghatározásra került kapcsolatuk a szabványos érdességi paraméterekkel (Magoss 2008; Csanády et al. 2015).



A felületi érdesség modellje (Rajzolta: Magoss Endre)

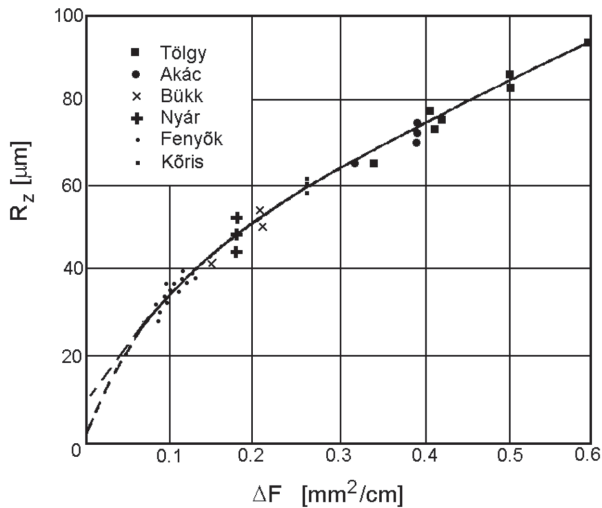
$$\Delta F = \frac{\pi}{8} \left[ a \cdot \left( \sqrt{n_1} \cdot d_1^2 + \sqrt{n_2} \cdot d_2^2 \right) + b \cdot \left( \sqrt{n_3} \cdot d_3^2 + \sqrt{n_4} \cdot d_4^2 \right) \right] \quad [\text{cm}^2/\text{cm}]$$

ahol  $n_1, n_2$  – az edények és tracheidák száma a korai pásztában egységnyi hosszon mérve,

$n_3, n_4$  – az edények és tracheidák száma a kései pásztában egységnyi hosszon mérve,

$d_1-d_4$  – az edények és a tracheidák közepes átmérője a korai és a kései pásztában (egyenként értelmezve),

$a, b$  – a korai és a kései pászta részaránya.



Az egyenetlenségi mélység  $R_z$  és a struktúra szám  $\Delta F$  összefüggése 10 faj esetében (Magoss 2008)



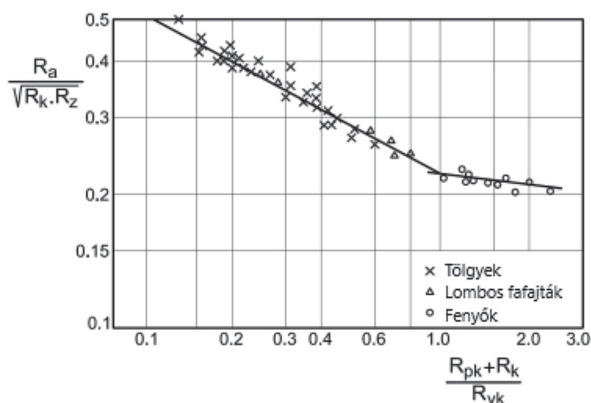
A mechanikai megmunkálás során egyrészt a sejtfa törése miatt, másrészt a szerszám él felületi nyomása miatt a fafelületeken a felső anatómiai építőelemek összeroppannak, létrehozva egy bizonytalan felületi réteget. Ennek a rétegnek a vastagsága függ a fafajtól és a forgácsolási paraméterektől, körülményektől. Ez a réteg a környezet hőmérsékletének és nedvességtartalmának hatására jelentős változáson megy keresztül. ennek a változásnak a regisztrálására Molnár vizsgálati módszert dolgozott ki (Molnár 2018; Molnár et al. 2018; Magoss et al. 2019, 2020). Fontos megjegyezni, hogy a mechanikai megmunkálás során a szerszám él, nem tökéletesen vágja át az anatómiai elemeket, azaz részben fedett üregek révén az érdesség kisebb lesz, mint amit az elméleti anatómiai érdesség okozna. Ezt támasztja alá a hibamentes felületeken alkalmazható, úgynevezett Japán gyalulási kézműves megmunkálással készített fafelületek vizsgálata (Sitkei és Csanády 2017).

A további általánosítást alapvetően segíti a bevezetett Abbott viszonyszám, amelyek segítségével az igen összetett hatások szétválaszthatók (Csanády et al. 2019). Fontos paraméternek bizonyult a késél illetve a csiszolószemcse sugara, amely egyértelműen meghatározza az érdesség egyes paraméterét (Csanády et al. 2015, 2019)

Jelenleg a magyar kutatócsoport az „éres felületek hasonlósága” témán dolgozik, amely további általánosítást hozhat ebben a fontos témakörben. A fotódegradáció érdesre gyakorolt hatását Tolvaj és társai vizsgálták (Tolvaj et al. 2014).

A sok befolyásoló tényező miatt a fa felületi érdességének meghatározása bonyolult feladat (Gurau és Irlé 2017; Thoma et al. 2015; Laina et al. 2017; Magoss 2017), ezért a belső összefüggések feltárása alapvető feladat.

Az érdességi paraméterek kiválasztása az adott kutatási feladatra, szintén nagy körültekintést igénylő feladat. Egyetlen szabványosított érdességi paraméter alkalmazása, még homogén szerkezetű anyagoknál sem vezet megfelelő eredményre (Dong et al. 1994). Fontos megjegyezni, hogy faanyag felületi érdességének jellemzésére nagyon jó kiegészítő információkat szolgáltat



Az Abbott viszony és az érdességi paraméterek hasonlósági összefüggése (Csanády és Magoss 2012)

az összevont Abbott paraméterek ( $R_{pk}+R_k+R_{vk}$ ) és ( $S_{pk}+S_{vk}+S_{vk}$ ) alkalmazása (Csanády és Magoss 2012; Csanády et al. 2015).

A kifejlesztett függvénykapcsolati rendszer képességét jelzi, hogy az összes fafaj érdessége, bármilyen megmunkálás mellett, egy görbével leírható.

A confocal mikroszkópia relatív új mérési eljárás a fa felületi érdesség kutatásában, de más homogénebb szerkezetű anyagok vizsgálatánál sikerrel alkalmazták (Lange et al. 1993; Klauer et al. 2018; Udupa et al. 2000; Hongru et al. 2017; Al-Shammery et al. 2007; Fu et al. 2018). A mérési módszer faanyagra történő alkalmazási határainak feltárása jelenleg zajlik.

## **Faanyag megmunkálásának optimalizálása**

A faipari műveletek optimalizálása a korábbi 40 év kutatási eredményeire épült. Eredményes és korrekt optimalizáláshoz ugyanis szükség van a jelenségeket leíró függvénykapcsolatok rendszerére, amely hosszadalmas mérési és feldolgozási munkát igényel. Jellemző, hogy a megjelent optimalizálási könyvünkben a függvénykapcsolatok rendszere 140 oldalt tesz ki. A szigorú matematikai módszer mellé kifejlesztettünk egy „mérnöki optimalizálási módszer”-t, amely, a numerikus módszerrel szemben, sok esetben zártalakú, analitikus megoldást tett lehetővé, ugyanolyan pontosság mellett. Az új módszer előnyét Lagrange (1770) híres feladatán, az „Optimális rúd” példáján keresztül mutattuk be. Lagrange a feladatot, számolási nehézségek miatt, még nem tudta megoldani. 200 évvel később (1974) bonyolult numerikus módszerrel oldották meg. Mi analitikusan, zárt alakban levezettük. Könyvünk egy tucat kidolgozott optimalizálási feladatot ismertet.

A természet ősidők óta képes a jelenségeit optimálisan megszervezni. Az emberiség is régóta törekszik arra, hogy természetes vagy mesterséges eljárásokat alkalmazzon az optimális vagy a legjobb eredmény elérése érdekében. Az emberiség az elmúlt évszázadokban tudományos, többnyire matematikai módszereket fejlesztett ki az optimális megoldások keresésére, különböző kritériumok alapján. Minden optimalizálás alapvető követelménye egy jól definiált célfüggvény és annak kényszerfüggvényei. Általában olyan optimális megoldás érdekel bennünket, amely több kritériumnak is megfelel. Például arra törekszünk, hogy a lehető legrövidebb gyártási idő mellett optimális termelési költséget érjünk el. Ebben az esetben többszemponút optimalizálással találkozunk több célfüggvénnyel és megszorítással. Mivel több célfüggvény optimauma ütközik, az általános optimumot vagy a hasznosságfüggvény használatával, vagy kompromisszumokkal kapjuk meg. A cél- és korlátozófüggvények helyesen megfogalmazhatók olyan funkcionális összefüggések használatával, amelyek a kimeneti paraméterek függését a befolyásoló változók függvényében írják le. Ilyen funkcionális összefüggések például a különféle famegmunkáló gépek üzemi paraméterei, energiaigénye, szerszámélettartam-viszonyok, felületi érdesség stb.

## **Általános jellemzők**

A fatermékek gyártója érdekelt a szükséges gyártási műveletek (megmunkálás, felületkezelés, összeszerelés stb.) elvégzésében a teljes gyártási idő és költség minimalizálása, valamint a termék minőségének maximalizálása érdekében. Ez a tevékenység körültekintő és sokoldalú döntéshozatalt igényel, amely egy megfelelően kiválasztott optimalizáláson

alapul, hogy a befolyásoló tényezők közül a legjobb értéket válasszuk ki, ami a termék lehető legmagasabb hasznosságát és esztétikai értékét biztosítja minimális összes gyártási költség mellett. Ennek a tevékenységnek az első lépése a gyártórendszer problémahatárainak, a rendelkezésre álló gépek és képességeik (forgási sebesség, orsóteljesítmény, előtolási sebességek, megmunkálási pontosság), megmunkálási költségek és egyéb géppel kapcsolatos költségek felvázolása, minőségi követelmények (felületi érdesség, tűréskövetelmények). Ki kell választani és meg kell határozni egy célfüggvényt, egy mennyiségi kritériumot, amely meghatározza a rendszerváltozók optimális kiválasztását. Ahhoz, hogy a célfüggvény a szükséges korlátozó feltételekkel megvalósuljon, olyan funkcionális kapcsolatokra van szükség, amelyek a rendszer viselkedését rendszerváltozók függvényében fejezik ki (Csanády és Magoss 2019). Ez a tevékenység lényegében rendszermodellt fogalmaz meg és állít fel az adott optimalizálási probléma megoldására. Hangsúlyozni kell, hogy egy optimalizálási folyamat sikere alapvetően a rendelkezésre álló funkcionális kapcsolatoktól és azok megbízhatóságától függ. Általában, ha rendelkezésre állnak funkcionális összefüggések, akkor az optimális megoldás megtalálása még nem lineáris esetekben sem jelent matematikai problémákat. Ezért nagy jelentőséget kell tulajdonítani a funkcionális kapcsolatok legszélesebb körének kialakításának (Csanády és Magoss 2019). A megmunkálási optimalizálást tekintve a teljes termelési rendszer alrendszereként is kezelhető. Egy kisebb alrendszert egyénileg is kevesebb nehézséggel lehet megoldani, és figyelembe lehet venni az alrendszerek közötti lehetséges interakciókat. A célfüggvény egy kiválasztott kritérium matematikai megfogalmazása, amely alapján a gyártás költség értékelhető. Sokszor olyan gazdasági szempontot választanak, mint a minimális gyártási költség, maximális gyártási sebesség, minimális anyagfelhasználás, minimális energiafelhasználás, a gépkapacitás optimális kihasználása. A különböző kritériumok általában ellentétesek egymással. Több kritérium egyidejű maximalizálása vagy minimalizálása nem lehetséges. Az egyszerűsített eljárásban egy fő kritérium választható elsődlegesnek, a többi pedig másodlagosnak. A másodlagos kritériumokat az előírt maximális vagy minimális értékekkel rendelkező megszorításokként kezeljük. Ezért a döntéshozatal mindig kompromisszumokkal jár az elsődleges és másodlagos kritériumok fontosságuk szerinti kiválasztásában. Végül érdemes megemlíteni, hogy az optimalizálás gondolata a tudományban több száz éves. Lagrange már 1770 körül megfogalmazta híres „Optimális oszlop” problémáját (Csanády és Magoss 2019), a többkritériumú optimalizálást pedig 1900 körül javasolta Pareto (Stadler 1988).

A fatermékek méretezése, formázása, felület-előkészítése napjainkban is előfordul mechanikus famegmunkálási műveletekkel. A mechanikus famegmunkálásra jellemző a forgácsképzés, amelyet vágóéllal valósítanak meg. A vágóél működési elve nagyon hasonló a különböző famegmunkálási műveletekben, de a szerszámokon az él elrendezése nagy változatosságot mutat. Ez alól kivételt képez az abrazív csiszolási eljárás, amely negatív dőlésszöveget és a szemcsék véletlenszerű helyzetét alkalmazza. A csiszoló szerszámok a szabad vágómechanizmust élék nélkül használják. A szükséges ellenőrt az anyag erőssége és a tehetetlenségi erők biztosítják. A felületi deformációk nélküli tiszta vágás eléréséhez nagy vágási sebességre és éles élre van szükség. A puha fák kisebb szí-

lárdságúak és érzékenyebbek a kisebb vágási sebességekre. A furnérhasító gépek vágási sebessége kisebb, és az elfogadható felületi minőség elérése érdekében a nyomógerenda alkalmazása elkerülhetetlen. Nagyon fontos feladat a szerszámok megfelelő kiválasztása, élyánya és konfigurációja, amely szoros összefüggésben van a szerszám várható élytartamával és felületi minőségével. A keményfém szerszámanyagok széles választéka áll rendelkezésre a fafeldolgozó ipar számára számos különféle felhasználásra. A különböző keményfém-minőségek különböző százalékos volfrám-karbidból és fémes kötőanyagból (kobaltból) állnak. Ezenkívül ezek a szerszámanyagok számos keményfém szemcseméretet alkalmaznak. A legáltalánosabb szemcseméret körülbelül 2 mikron, de vannak a mikron alatti tartományban is. A keményfém-kötőanyag arány és a szemcseméret változtatásával különböző mechanikai tulajdonságokkal rendelkező szerszámanyagok készülnek, hogy optimális teljesítményt biztosítsanak a különböző fafajták és kompozitok (kemény- és puhafa, MDF, forgácslap stb.) megmunkálásakor. A gyártás gazdaságosságát jelentősen befolyásolják a famegmunkálási műveletek, beleértve a késes megmunkálást és a csiszolást. Különféle kritériumok (objektív funkciók) állíthatók fel a maximális gyártási sebesség, a minimális gyártási költségek eléréséhez, de bizonyos esetekben a maximális szerszámélytartam is fontos lehet. Mindig figyelembe kell venni egy sor kényszert.

A megmunkálási paraméterek korlátai a következők:

- a rendelkezésre álló előtolási sebességek,
- a rendelkezésre álló forgási sebességek és vágási sebességek,
- az elérhető legnagyobb teljesítmény vagy nyomaték,
- stabil vágási terület, kivéve a vágási sebesség és az előtolási sebesség bizonyos kombinációit, amelyek vibrációt és a szerszám instabilitását okozzák.

A technológiai követelmények a korlátok másik osztálya, amelyek célkorlátozásnak tekinthetők:

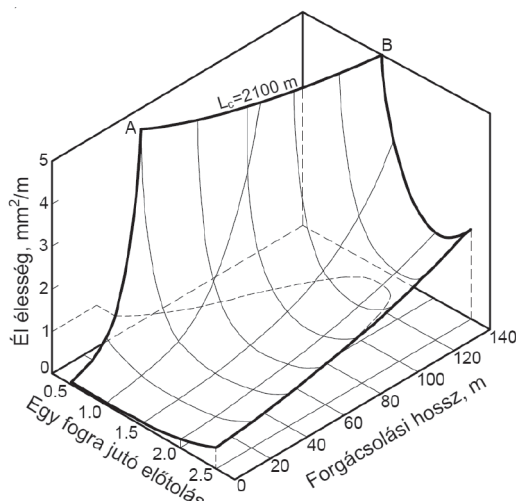
- a felület megengedett hullámossága,
- egy vagy több érdességparaméterrel meghatározott megengedett legnagyobb felületi érdesség,
- előírt méretpontosság,
- az anyageltávolítási arányt meg kell határozni vagy minimálisra kell korlátozni,
- a szerszám élytartama megadható a szerszámcserek közötti optimális idő elérése érdekében, vagy a szerszám minimális élytartamára korlátozható.

### Faipari példa:

Az elterjedt marók használatával az élytörést az egy fog-előtölás és főként az él élyessége illetve a forgácsolási hossz  $L_f$  befolyásolja.

A mellékelt ábrán látható eredményeket felhasználva a levezetett összefüggésekkel kiszámítható az  $L_f$  maximális előtolási hossz különböző feltételek mellett. Például, ha a megengedett élykitörés  $1 \text{ mm}^2/\text{m}$ , akkor a maximális élyenkénti előtolási távolság  $L_f=82,1 \text{ m}$   $e_z=2,31 \text{ mm}$ -es egy fogra jutó előtolásnál, ami élyenként  $677 \text{ m}$  vágási távolságnak és  $e_z=14,7$  előtolási sebességnek felel meg. Ha a megengedett élykitörést megduplázzuk ( $S=2 \text{ mm}^2/\text{m}$ ),

akkor a megfelelő értékek:  $L_f=179,8$  m,  $L_c=1007,4$  m,  $e_z=3,4$  mm és  $e_n=21,6$  m/min élenként. (Csanády és Magoss 2019). A kísérleti adatok alapján az optimális paraméterek kiválasztásához diagram szerkeszthető.



*Élkitörés az fogra jutó előtolás és az előtolási hossz függvényében.  
 $D = 180$  mm,  $H = 2$  mm,  $z = 1$ ,  $v_c = 60$  m/s. Forgácsolás és keményfém él*

## A jövőbeni fejlődés irányai

Nehéz megfogalmazni a jövő várható irányait, döntő mértékben csökken az árfekvés miatt például bútorgyártásban a tömörfa felhasználás. Ezzel szemben nagy volumenű emelkedés történt a kompozit lapok felhasználásában. Itt számolni kell a kikeményedett ragasztóanyag szerszám koptató hatásával. Természetesen a műanyagok nagyon betörték a bútortipiacra, persze bizonyos területeken. Ezek megmunkálásával kell számolni már a jelenben is.

## Lézervágás

A Faiparai géptani Tanszéken ipari megbízásra diplomaterv készült a 1980-as években újonnan induló Falco cementkötésű üzeme lapszabászati megmunkálására. A kérdés az volt, hogy lehet-e lézervágást alkalmazni a lapok szabására. A válasz kísérletek elvégzése után egyszerű volt: nem alkalmas. A kísérleteket a BME-en végeztük, mivel az országban akkor csak ott volt lehetőség lézeres kísérleti vágásra.

*Az eredmény:*

A tökéletes hulladékmentes és egyenes vágás mellett alkalmatlanul alacsony az előtolási sebesség, ezzel szemben nagyon magas az energiaigény.

A lézervágás CNC vezérlésű intarzia vágásra alkalmas, ez azonban ma elfelejtett divatirányzat a bútorgyártásnál.

### **Víz+ kvarchomok vágás**

A víz + kvarchomok vágás ismerős eljárás elterjedt alkalmazást nyert természetes kő, acélok és öntöttvasak vágásánál. Bár az utóbbi anyagcsoport vágása esetén lehet, hogy költség szempontjából sokkal kedvezőbb a lángvágás fémek esetében.

A faanyagok vágása és kérégezése esetén nagy nyomású vizet kell alkalmazni. Ez nagyon magas költség, továbbá az anyag helyi nedvesítésével újabb problémát okozunk a későbbi megmunkálásnál. Szárítani kell. Tehát nem alkalmas a megmunkálásra.

### **CNC technika**

A cnc vezérlésű megmunkálás egyre több területre terjed ki, már messze nem csak lepelemek esetleg 3D-s elemek készülnek. Egyre több területen teljesen eltérő megmunkálási eljárásoknál is alkalmazásra került a cnc vezérlés. Döntő elem itt még az optimalizálás és a hulladék csökkentése.

### **Élanyagok**

Jelenleg rendelkezésre álló élanyagok korszerűek bezárva a monokristályos gyémánttal. Ami a palettáról hiányzik az a kerámia lapok használata. Nem voltak jelentős kutatások és a nagy szerszámgyártók még nem használják.

## **Irodalom**

- Al-Shammery H., A. Bubb N. L., Youngson C. C., Fasbinder D. J., & Wood D. J. 2007: The use of confocal microscopy to assess surface roughness of two milled CAD–CAM ceramics following two polishing techniques. *Dental materials*, 23(6): 736–741.
- Caja García J., Sanz Lobera A., Maresca P., Fernández Pareja T., & Wang, C. 2018: Some considerations about the use of contact and confocal microscopy methods in surface texture measurement. *Materials*, 11(8), 1484.
- Carter W. and K. Ragsdell. 1974: The optimal column. *Trans. of the ASME*, 71–76.
- Csanády E. 1993: Faforgácsoló szerszámok hőterhelése (Thermal Load in Wood Cutting Tools). PhD Thesis, University of Forestry and Wood Sciences, Sopron, Hungary.
- Csanády E. & Németh Sz. 2005: Investigation of Clamping on CNC Router. *Proc. of 17th IWMS Rosenheim*, 2005, 456–471
- Csanády E. 2005: Thermal Load in Wood Cutting Tools. *Proc. of 17th IWMS, Rosenheim*, 28–43.
- Csanády E. & Magoss E. 2013: *Mechanics of wood machining*. Berlin: Springer. 199 o.
- Csanády E., Magoss E. & Tolvaj L., 2015: *Quality of machined wood surfaces*. Springer Verlag, Berlin, 257 o.

- Csanády E., Kovács Z., Magoss E. & Ratnasingam J. 2019: Optimum design and manufacture of wood products. Springer, Heidelberg, New York.
- Csanády E., Kovács Z., Magoss E. & Ratnasingam J. 2019: Optimum Design and Manufacture of Wood Products. Springer, Heidelberg, New York, Dordrecht, London, 457 o.
- Csanády E. & Magoss E., 2020: Mechanics of wood machining. Springer Verlag, Berlin 320 o.
- Kocsis Z., Csanády E., 2019: Theory and practice of wood pellet production. Springer Verlag, 118 o.
- Csiha Cs. 2003: Faanyagok felületi érdességének vizsgálata „P” és „R” profilon, különös tekintettel a nagyedényes fajokra, Doktori (Ph.D) értekezés, Sopron
- Стахийев, Ю. 1984: Работоспособность плоских круглых пил.(Working capacity of circular saws.). М.: Изд. Лесная Пром. – 384 с.
- Стахийев, Ю. 1977: Устойчивость и колебание плоских круглых пил.(Stability and vibration of circular saws.) Изд. Лесная Пром. 296: 5.
- Déry J. 1985: Spannungsuntersuchungen an einer Blockbandsäge. Act Fac. Lign. Sopron, 43–52.
- Devantier B. 1997: Prüfmethode zur objektiven Bewertung der Rauigkeit und Welligkeit von Holzwerkstoffen. Abschlußbericht IHD Dresden.
- Dobrindt P. 1991: Optimiertes Schleifen von MDF- und Spanplatten. Workshop Tagungsband, 8. Holztechn. Koll. Braunschweig, 125–136.
- Dong W. P., Sullivan P.J. & Stout K.J., 1994: Comprehensive study of parameters for characterising three-dimensional surface topography: III. Parameters for characterizing amplitude and some functional properties. Wear 178(1-2): 29–43.
- Dowson D. 1979: History of tribology, Longman Inc., New York.
- Faust T. D. 1987: Real time measurement of veneer surface roughness by image analysis. Forerst Product Journal 37(6): 34–40.
- Fischer R. & Schuster C. 1993: Zur Qualitätentstehung spanend erzeugter Holzoberflächen. Mitteilung aus dem Institut für Holztechnik der TU Dresden.
- Fu S., Cheng F., Tjahjowidodo T., Zhou Y., & Butler, D. 2018: A non-contact measuring system for in-situ surface characterization based on laser confocal microscopy. Sensors, 18(8): 2657.
- Fujiwara Y., Fujii Y., & Okumura S. 2003: Effect of removal of deep valleys on the evaluation of machined surfaces of wood. Forest Products Journal, 53(2): 58.
- Fujiwara Y., Fujii Y., Sawada Y., & Okumura S. 2001: Development of a parameter to reflect the roughness of a wood surface that corresponds to tactile roughness A novel filter to exclude local valley effects. Holz als Roh-und Werkstoff, 59(5): 0351–0355.
- Funck J.W., Forrer J.B., Butler D.A., Brunner C.C. & Maristany A.G., 1992: Measuring surface roughness on wood: a comparison of laser scatter and stylus tracing approaches. SPIE 1821: 173–184.
- Garcia I. 2005: New developments in ultrafine hardmetals. Proceedings 17th IWMS, Rosenheim, 534–542
- Gogu G. 1997: Elastic Stability and Vibration on Circular Saws. Proc. of 13th IWMS Vancouver, 181–192.
- Goli G. & Sandak J. 2016: Proposal of a new method for the rapid assessment of wood machinability and cutting tool performance in peripheral milling. European Journal of Wood and Wood Products 74(6): 867–874.
- Gottlöber C. 2014: Zerspanung von Holz und Holzwerkstoffen: Grundlagen–Systematik–Modellierung–Prozessgestaltung. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.

- Gurau L. & Irle M. 2017: Surface roughness evaluation methods for wood products: a Review. *Current Forestry Report* 3: 119–131.
- Gurau L., Mansfield-Williams H. & Irle M. 2001: A comparison of laser triangulation and stylus scanning for measuring the roughness of sanded wood surfaces. In: Bučar, B. (ed.) *Proceedings of the 5th International Conference on the development of wood science, wood technology and forestry*. Ljubljana, Slovenia. 5–7 September 2001, 299–310.
- Hiziroglu S., Zhong Z. W., & Ong W. K. 2014: Evaluating of bonding strength of pine, oak and nyatoh wood species related to their surface roughness. *Measurement*, 49: 397–400.
- Hongru A., Xiangqin L., Shuyan S., Ying Z., & Tianqing L. 2017: Measurement of Wenzel roughness factor by laser scanning confocal microscopy. *RSC advances*, 7(12): 7052–7059.
- Indof D. & Mahovic S. 2000: 2D and 3D approach to measuring roughness parameters. *Proceedings of 16th International measurement confederation*, Vienna, 121–126.
- ISO 13565-1:1996 Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method; Surfaces having stratified functional properties – Part 1: Filtering and general measurement conditions.
- ISO 25178-2:2021. Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Areal – Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters.
- ISO 4287, 1997. Geometrical product specification (GPS). Surface texture. Profile method. Terms, definitions and surface texture parameters.
- Kilic M., Hiziroglu S. & Burdurlu E. 2006: Effect of machining on surface roughness of wood. *Building and environment*, 41(8): 1074–1078.
- Kisselbach A. & Schadoffsky O. 1996: Gefräste Oberflächen als Eingangsgröße für die Schleifbearbeitung und Lackierung. *Tagungsbericht Bielefeld*.
- Klauer K., Eifler M., Seewig J., Kirsch B. & Aurich J. C. 2018: Application of function-oriented roughness parameters using confocal microscopy. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 21(3): 302–313.
- Laina R., Sanz-Lobera A., Villasante A., López-Espí P., Martínez-Rojas J.A., Alpuente J., Sánchez-Montero R. & Vignote S. 2017: Effect of the anatomical structure, wood properties and machining conditions on surface roughness of wood. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 19(2): 203–212.
- Lang M. 1999: Untersuchungen zur Entwicklung eines kombinierten Plan- und Umfangsfräsverfahrens mit ke-gelstumpfförmigen Werkzeugen. PhD Dissertation, Dresden-Sopron.
- Lang M. 1993: A Special Face Milling Method for Better Surface Quality and Service Life. *Proc. of 11th Wood Machining Seminar*, Oslo.
- Lange D. A., Jennings H. M. & Shah S. P. 1993: Analysis of surface roughness using confocal microscopy. *Journal of Materials Science*, 28(14): 3879–3884.
- Larricq P., Costes J.P., Le Breton P. & Cassou G. 2000: Quality surface characteristics in high speed machining. *Proceedings of the International symposium on wood machining*, Vienna, 203–209.
- Lundberg IAS. & Porankiewicz B. 1995: Studies of non contact methods for roughness measurements on wood surfaces. *Holz als Roh- und Werkstoff* 53: 309–314.
- Magoss E., Sitkei G. 2000: Strukturbedingte Rauheit von mechanisch bearbeiteten Holzoberflächen. *Möbeltage in Dresden*, Tagungsbericht, 231–239.
- Magoss E. & G. Sitkei. 2001: Fundamental Relationships of Wood Surface Roughness at Milling Operations, *Proceedings of the 15<sup>th</sup> International Wood Machining Seminar*. 2001, 437–446.



- Magoss E. & G. Sitkei. 2003: Optimum Surface Roughness of Solid Woods Affected By Internal Structure and Woodworking Operations, Proceedings of the 16<sup>th</sup> International Wood Machining Seminar. 200, 366–371.
- Magoss E., G. Sitkei & M. Lang 2004: Allgemeine Zusammenhänge für die Rauheit von bearbeiteten Holzoberflächen für Möbel, Möbeltage in Dresden.
- Magoss E. 2008: General regularities of wood surface roughness. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 2008(4): 81–93.
- Magoss E. 2009: Természetes faanyagok felületi érdessége. Egyetemi jegyzet. Soproni Egyetem.
- Magoss E. 2017 Evaluating of surface roughness of sanded wood. *Wood Research* 60(5): 783–790.
- Magoss E., Molnár Zs., Suri V. & Fuchs I. 2019: Evaluating of wetting-induced effects on the surface stability of sanded wood. *Wood Research* 64(3): 401–410.
- Magoss E., Tatai S., Molnár Z. & Fuchs I. 2020: A calibration method of the laser triangular measuring system to evaluate wood surface roughness. *Wood Research*, 65(4): 555–564.
- McKENZIE W.M. 1960: Fundamental aspects of the wood cutting process. *Forest Products Journal*. 10(9): 447–457.
- Molnár Zs. 2011: A mért felület nagyságának hatása a természetes faanyag felületi érdességére, Diplomamunka, NymE-SKK Gépészeti és Mechatronikai Intézet, Sopron.
- Molnár Zs. 2018: A végmegmunkált természetes faanyagok felületi stabilitása nedvesítéskor (Doctoral dissertation, NymE).
- Molnár Zs., Magoss E., Fuchs I. & Csiha C. 2018: Stability of thermosmoothed and precision planed solid wood surfaces. *European Journal of Wood and Wood Products*, 76(1): 243–249.
- Mote C. D. & Szymani R. 1977: A review report on principal developments in thin circular saw vibration and control research: Part 1: Vibration of circular saws. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 35, 189–196.
- Mote C. D. & Szymani R. 1977: A review report on principal developments in thin circular saw vibration and control research: Part 2: Vibration of circular saws. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 35, 219–225.
- Mote F. & R. Marchal. 2001. Influence of Nosebar Settings on Tool Instabilities in the Peeling Process. *Proc. of 15th IWMS Los Angeles*, 309–328.
- Orlowski K. & Wasielewski R. 2001: Washboarding during Cutting on Frame Sawing Machines. *Proc. of 15th IWMS Los Angeles*, 219–228.
- Pahlitsch G. & Putkammer K. 1976: Beurteilung für die Auslenkung von Bandsägeblättern. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 413–426.
- Peters C.C. & Cumming J. D. 1970: Measuring wood. Surface smoothness: A review. *Forest Products Journal* 20(12): 40–43.
- Ratnasingam J. & Scholz F. 2004: Wood sanding process. University Putra Malaysia.
- Renshaw A. 1999: Centripetal Tensioning for High Speed Circular Saws. *Proc. of 14th IWMS Paris*, 129–135.
- Sachsse H. 1994: Die Beurteilung von Holzoberflächen (Evaluation of wood surface roughness). *Holz-Zentralblatt Kolloquium Tharand* 69(11): 38–39.
- Saljé E. & Dubenkropp D. 1983: Das Kantenträsen von Holzwerkstoffplatten. *Holz- und Kunststoffverarbeitung*. No. 4: 490–494.
- Saljé E. & Drückhammer J. 1984: Qualitätskontrolle bei der Kantенbearbeitung. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 187–192.

- Saljé E. & Drückhammer J. 1985: Kantenschartigkeitmessungen an beschichteten Spanplatten. Holz-Zbl. 1782–1784.
- Sandak J. & Tanaka C. 2002: Evaluation of surface smoothness by laser displacement sensor. In: Proceedings on the 3rd International science conference. Zvolen, Slovakia, 17–19 October, 112–118.
- Sandak J., Tanaka C. & Ohtani T. 2004: Evaluation of surface smoothness by a laser displacement sensor II: comparison of lateral effect photodiode and multielement array. Journal of Wood Science 50(1): 22–27
- Sander M. 1993: Oberflächenmeßtechnik für den Praktiker. Feinprüf Perthen GmbH, Göttingen. 48 o.
- Satoru N. 2005: Stable Sawblade. Proc. of 17th IWMS Rosenheim, 418–420
- Schadoffsky O. 1996: Objektive Verfahren zur Beurteilung der Oberflächenqualität. Tagungsbericht Bielefeld.
- Scholz F. & Ratnasingam J. 2005: Optimization of Sanding Process. Proc. of 17th IWMS Rosenheim, 422–429.
- Siklinka M. & Ockajova A. 2001: The Study of Selected Parameters in Wood Sanding. Proc. of 15th Int. Wood Machining Seminar Los Angeles, 485–490.
- Sinn G., Sandak J. & Ramanantoandro T. 2009: Properties of wood surfaces – characterization and measurement. A review COST Action E35 2004–2008. Wood machining-micro-mechanics and fracture. Holzforschung 63(2): 196–203.
- Sitkei G. 1983: Fortschritte in der Theorie des Spanens von Holz. Holztechnologie, No. 2: 67–70.
- Sitkei G. 1986: Mechanics of Agricultural Materials. Elsevier, Amsterdam–New York.
- Sitkei G., Horváth M., Gurács S., Déry J., Csanády E. 1988: Schnittleistung und Energiebedarf von Gattersägen. Acta Fac. Lign, 23–31.
- Sitkei G. Horváth M. Gyurács S. Déry J., Csanády E. 1990: Theorie des Spanens von Holz. Fortschrittbericht No.1. Acta Fac. Ligniensi, Sopron.
- Sitkei G. 1994: A faipari műveletek elmélete. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 343–356.
- Sitkei G. & Csanády E. 1994: Thermal Loading in Wood Cutting Tools. Proc. of the 1st Conf. on the Development on Wood Science, Buckinghamshire, UK, 359–368.
- Sitkei G. & Horváth M. 1995: Log Dynamics during Sawing in Frame Saws. Proc. of 12th IWMS Kyoto, 327–334.
- Sitkei G. 1997: On the Mechanics of Oblique Cutting of Wood. Proc. of 13th IWMS Vancouver, 469–476.
- Sitkei G. 2013: Further studies on the characterization of wood colours, Sopron. Department of Wood Engineering, University of Sopron.
- Sitkei G. 2013: Similarity study of the energy requirement of saws. Proc. Of 21st IWMS Conf. Tsukuba, 195–205.
- Sitkei G., & Csanády E. 2017: Bericht über die messungen an mit Japanischem Hobel erzeugten Holzoberflächen. Institut für Holzbearbeitung, Universität von Sopron, Ungarn. 13 o.
- Stadler W. 1988: Multicriteria optimization in engineering and sciences. Plenum Press, New York.
- Stakhiev Y.M. 1998: Research on Circular Saw Vibration in Russia: From Theory and Experiment to the Needs of Industry. Holz als Roh- und Werkstoff. 56(2): 131–137.
- Stewart H. 1989: Feasible High-Temperature Phenomena in Tool Wear. Forest Product J., (03): 25–28.

- Sugihara H. 1977: Theory of Running Stability of Band Saw Blades Proc. 5th Wood Mach. Sem. UC For. Prod. Lab. Rich., CA., 99–110.
- Tatai S. 2008: Vizsgálatok a felületi érdesség témakörében—I. rész. FAIPAR, 56: 27–30.
- Taylor J. & S. Hutton. 1995: Simplified Bandsaw Tensioning Procedure for Improve Blade Stiffness and Sawing Accuracy. Forest Product Journal. 45(4): 38–44.
- Thoma H., Peri L. & Lato E. 2015: Evaluation of wood surface roughness depending on species characteristics. Maderas Ciencia y tecnología 17(2): 285–292.
- Thomas T. R. 1998: Rough Surface, Imperial Collage Press, London.
- Thomas T. R. & Charlton G. 1981: Variation of roughness parameters on some typical manufactured surfaces, Precision Engineering 3(2): 91–96
- Timoshenko S. & Goodier J. 1951: Theory of elasticity. New York.
- Tolvaj L., Molnar Z., & Magoss E. 2014: Measurement of photodegradation-caused roughness of wood using a new optical method. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 134, 23–26.
- Tröger J. & Lang M. 1990: Hobelfräsen mit vermindertem Wellenschlag. HOB, 11/1990, 43–49.
- Udupa G., Singaperumal M., Sirohi R. S., & Kothiyal M. P. 2000: Characterization of surface topography by confocal microscopy: I. Principles and the measurement system. Measurement Science and Technology, 11(3): 305.
- Ulsoy A. & Mote C. 1980: Analysis of Bandsaw Vibration. Wood Science, No. 1: 1–10.
- Weaver W., Timoshenko S. & Young D. 1990: Vibration Problems in Engineering. John Wiley and Sons, New York.
- Westkämper E. & Schadoffsky O. 1995: Oberflächentopographie von Massivholz – Einflüsse bei der messtechnischen Erfassung und Bewertung Teil 1 (Surface topography of wood. Part 1. HOB Wood processing); HOB Die Holzbearbeitung; AGT Verlag Thum; Ludwigsburg; 42 (3):74–78.
- Westkämper E. & Schadoffsky O. 1995: Oberflächentopographie von Massivholz – Einflüsse bei der messtechnischen Erfassung und Bewertung Teil 2 (Surface topography of wood. Part 1.2. HOB Wood processing); HOB Die Holzbearbeitung; AGT Verlag Thum; Ludwigsburg; 42 (4): 50–54.
- Wong D. & Schajer G. 1997: Effect of Wheel Profile in Bandsaw Tracking Stability. Proc. of 13th IWMS Vancouver, 41–52.
- Wu W. & Mote C. 1984: Analysis of Vibration in Bandsaw System. Forest Product J. Sept. 1984, 12–21.
- Yang D., Jackson M. & Parkin R.M. 2006: Inspection of wood surface waviness defects using the light sectioning method. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I. Journal of Systems and Control Engineering 220(7): 617–626.

## **History of Wood Processing Researches**

The importance of economical processing and manufacturing of various wood products is ever-increasing. During technological processes, wood materials may be exposed to various mechanical effects, e.g. the interactions between wood materials and different kind of tools, and the general laws governing these interactions should be known.

Since 1980, our Department is systematically working on the development of basic theoretical knowledge for the whole range of wood engineering problems. First, it was needed to derive a new cutting theory for wood materials which is the basis for several particular topics. It was followed by the fundamentals of heat load in wood cutting tools which mainly determines the life-time of cutting tools. The next important subject was the energy consumption of woodworking operations and the generalization of existing knowledge in the form of similarity equations. A further very important field was the surface roughness which is the important quality measure. In 2000, we introduced the Structure Number uniquely characterizing the internal structure of wood species concerning surface roughness parameters. The quality of wood products is determined also by color and gloss. Here we conducted also fundamental researches and now we have colour measurements for 300 wood species from all over the world.

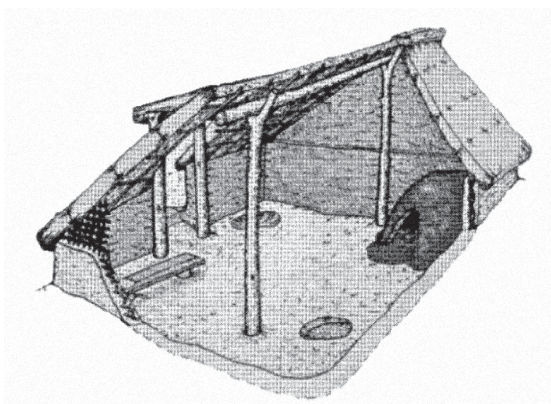
These fundamental research works made it possible to prepare 6 Springer books to summarize and generalize our knowledge. Our book on Optimization contains Functional Relationships of some (140) pages, which is unique in the world literature, but it allows to perform reliable optimization. A further unique feature is the developed Engineering Optimization procedure with many examples.

# A FA, MINT ÉPÍTŐANYAG

Kánnár Antal, Andor Krisztián és Bellovics Bertalan

## Bevezetés, történeti áttekintés

Az emberiség évezredek óta használja a környezetében megtalálható anyagokat, azokkal épít hajlékot magának, segédeszközként használja azokat különböző tevékenységei elvégzéséhez. Ezen anyagok közül kiemelkedik a fa és a faanyag, mely sokoldalú felhasználhatóságával, természetes szépségével mind a mai napig az ember hétköznapijainak és ünnepeinek szerves része.



*Szkíta kori veremház rekonstrukciója (Sinkovics 2005)*



*Jurta (Czifra 2021)*

Egyszerűbb faépítményekkel az ősi és a mai természeti népeknél is gyakran találkozhatunk sátrak, egyszerűbb faházak formájában, de megemlíthetjük a honfoglaló magyarok jurtaíit ill. mai legeltetéssel foglalkozó népek jurtaíit, melyek mint ősi, de mai is alkalmazható mobil építmények mintául szolgálhatnak mai fejlesztésekhez is. Manapság jurta hotelek is várják az ökológikus szemléletű vendégeket.

A fával építés egy következő máig alkalmazott módja a fa rönkökből kialakított kevés megmunkálást alkalmazó rönkházak vagy másnéven boronafalás házak építése.



*Tradicionális kanadai rönkház  
([www.hir.malepiteszet/gyonyoru-tradionalis-kanadai-ronkhaz/619907](http://www.hir.malepiteszet/gyonyoru-tradionalis-kanadai-ronkhaz/619907))*



*Oval olimpiai stadion Richmond – Richmond\_Olympic\_Oval)*

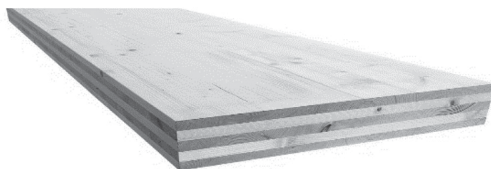
A fával építés új korszaka Otto Hetzer weimari ács találmányával kezdődött el, aki kidolgozta a rétegelt ragasztott fatartók szabványát 1906-ban. Az így ragasztással és hossz-toldással kialakított tartószerkezetekkel, már nagy fesztávolságú tetőszerkezetek váltak megépíthetővé. A technológia lehetővé teszi íves kialakítású tartók gyártását is, így esztétikus fakupolák, különleges alakú faépítmények, fahidak létrehozását is.



*Fahíd Sneek Hollandia Kanada (tartók fesztávolsága 93,9 m)  
([www.accoya.com/uk/project/accoya](http://www.accoya.com/uk/project/accoya))*

A faszervezetek kis önsúlya és nagy szilárdsága, a faanyag mint megújuló alapanyag környezettudatos felhasználhatósága a rétegelt ragasztott faszervezetek széles körű elterjedéséhez vezetett. Előnyös tulajdonságaihoz sorolható még, hogy megfelelő keresztmetszeti méretek esetén megfelelő tűzállósági értékkel rendelkezik az épület állékonyságának, előírások szerinti megőrzésében, minden egyéb kezelés nélkül. A hatékony és hosszútávú működésükhöz azonban elengedhetetlen a jó minőségű, minősített szilárdságú alapanyag használata, a technológiai feyelem betartása, ezen belül szerkezeti ragasztó használata, valamint a körületekintő tervezés és kivitelezés egyaránt. Az RR tartószerkezetek elterjedésével azonban hosszabb működést követően tartószerkezeti problémák is felléptek. Ezek egyik oka tervezési és kivitelezési tervek be nem tartásából következik, másik része a tartók időbeni viselkedésének nem megfelelő ismerete, a klimatikus hatásokból ébredő sajátfeszültségek számításokból való kihagyása okozza.

A több emeletes modern faépületek felépítését az ún. CLT tömörfa lapok gyártása teszi lehetővé, mely a rétegeltlemezzel gyártáshoz hasonlóan, egymásra merőleges rostirányú deszkalapokat ragasztanak össze. Ezzel a technológiával a faanyag keresztirányú gyenge szilárdsági tulajdonságait küszöböljük ki és egy közel homogén szilárdsági tulajdonságokkal bíró faelemet kapunk, mely faépületek falainak, födémjeinek kialakítását teszi lehetővé.



*CLT lap (Fotó: Hantos Zoltán, 2016)*



*CLT technológiával épült házak Franciaországban (<https://www.construction21.org/articles/h/lensoleillee-efficient-building-of-the-green-building-solutions-awards-2014.html>)*

A fenti rövid történeti összefoglaló alapján elmondhatjuk, hogy a fa, mint építőanyag az emberiség életében mindig jelen volt, jelen van és jövőben is várhatóan meghatározó jelentőségű lesz a fenntartható életmód kialakításában.

### **A faanyag mechanikai tulajdonságainak kutatása a SOE és jogelőd intézményeiben**

A faanyag építőmérnöki gyakorlatban való, számításokkal alátámasztott felhasználásának elengedhetetlen követelménye, a faanyag mechanikai tulajdonságainak minél pontosabb ismerete. A faanyagos több évszázados tapasztalati úton való alkalmazásához, a XIX. század előre haladtával egyre inkább méréseken és modellszámításokon alapuló méretezési eljárások társultak. Ezen ismeretek oktatásának nyomai 1808-tól Az Erdészeti Tanintézet óraserkezetében a Mechanika tárgy megjelenésétől eredeztethető. A tárgy szerepe és jelentősége egyre nőtt. A kezdeti heti két elméleti órát 1846-tól a Bányászati és Erdészeti Akadémián heti 5 óra, 1922-től a főiskola Sopronba kerülését követően az óraszám heti 5 elmélet és 4 gyakorlatra nőtt, majd 1962-től egészen napjainkig heti két óra elmélet és 2 gyakorlat a jellemző faipari szakon három szemeszteren át Statika, Szilárdságtan és Mozgástan tárgyak keretében, míg az erdőmérnökök Statika és Szilárdságtan oktatásban részesülnek 2 szemeszteren át. A fa, mint építőanyag tulajdonságainak tárgyalása elsősorban a szilárdságtan tárgyban szerepelnek.

A faanyag tudományos igényű kutatása Sopronban 1962-től az önálló Mechanika Tanszék megalakulásával kezdődött meg. Az intézet vezetésével Dr. Rónai Ferencet bízta meg, aki egészen 1991-ig vezette azt.

Az intézet a faanyag szilárdsági vizsgálataival mellett, ekkor kezdett a fa reológiai viselkedésének kutatásába. A reológia az anyag hosszú idejű viselkedését kutatja és hosszú idejű vizsgálatok alapján modelleket épít, melyek az alakváltozások és szilárdsági tulajdonságok időbeni változásának minél pontosabb leírását célozzák.

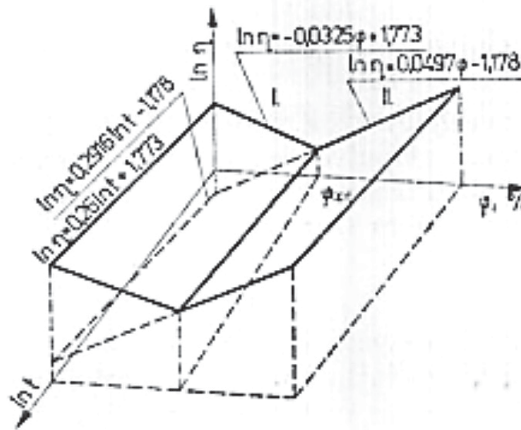
Mint ismeretes az anyagok az időben fáradnak szilárdságuk csökken. Faanyag mint viszko-elasztikus anyag, alakváltozása a kezdeti rugalmas alakváltozást követően az idő-



ben növekszik, ezen folyamatot nevezzük kúszásnak. A feszültségek oldaláról vizsgálva a hosszú idejű viselkedést az tapasztaljuk, hogy a kezdeti feszültségcsúcsok az időben leépülnek, ezen folyamatot relaxációnak nevezzük. Rónai és munkatársai ezen viselkedést kutatták faanyag esetén és jelentős eredményeket értek el. Ezen vizsgálatok eredményeit és a faszervezetek tervezési kérdéseit A fa tartószerkezetek című könyvben foglalták össze 1982-ben (Rónai & Somfalvi 1982). A kötet társszerzője Somfalvi György okleveles faipari mérnök és vasbeton szakmérnök volt.

A könyv 4. fejezete tárgyalja a faanyagok mechanikai tulajdonságait és az azokat befolyásoló különböző paramétereket, mint nedvességtartalom, rostiránnyal bezárt szög, terhelés módja.

Ezen fejezet legterjedelmesebb része foglalkozik a terhelés időtartamának hatásával, így a fenn említett reológiai tulajdonságokkal. Példaként az alábbiakban a kutatási munka egyik fő eredményét mutatjuk be az ún. alakváltozási felületet, mely az idő és a terhelési tényező függvényében mutatja be kúszási jelenséget.



Az erdeifenyő alakváltozási felülete hajlítás esetén  $\varphi$ - $\ln \eta$ - $\ln t$  rendszerben  
(Rónai & Somfalvi 1982)

ahol:

- $\eta$  – a kúszásfüggvény logaritmikus léptékben
- $\varphi$  – a terhelési állandó, mely a tartós teher okozta legnagyobb feszültség és a pillanatnyi statikus hajlítószilárdság hányadosa
- $\ln t$  – az idő logaritmikus skálán

A függvények alapján a hosszú idejű alakváltozás előre jelezhető. A következő táblázatban különböző terhelési időtartamokhoz tartozó lehajlás értékeket mutatjuk be a kezdeti rugalmas lehajlás függvényében.

Látható, hogy egy 50 éves tervezési időtartam esetén a kezdeti rugalmas lehajlás kétszerese várható 40%-os terhelési tényező esetén. Ezen kimutatott kúszási folyamatok

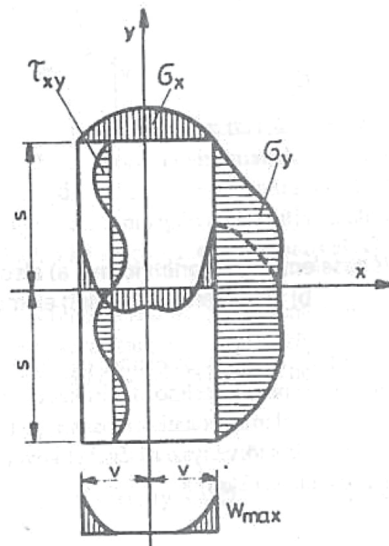
eredménye például a régi tetőkön látható hullámos jelleg, amit részben a szarufák részben a tetőléc kúszása okoz.

A könyv második fele a faanyag tartó szerkezeti tervezését, kapcsolatok kialakítását méretezését mutatja be példákkal Somfalvi György munkája által.

**A lehajlás  $y_0$  kezdeti értékeknél erdeifenyőre,  $\phi=20\%$ -os és  $\phi=40\%$ -os terhelési tényező valamint  $t_k=1, 5, 10, 25, 50$  és  $70$  év esetén**

$t_k$	$\log t_k$	$\eta(t_k, \phi_{20})$	$y(t_k, \phi_{20})$	$\eta(t_k, \phi_{40})$	$y(t_k, \phi_{40})$
1 h	0	2,951	$1,0295y_0$	2,24	$1,022y_0$
1 év	3,9425	30,261	$1,3026y_0$	31,59	$1,3159y_0$
5 év	4,6414	47,534	$1,4753y_0$	50,51	$1,5051y_0$
10 év	4,9425	56,885	$1,5688y_0$	61,83	$1,6183y_0$
25 év	5,3404	72,196	$1,7220y_0$	80,75	$1,8075y_0$
50 év	5,6414	86,497	$1,8650y_0$	98,86	$1,9886y_0$
70 év	5,7876	94,406	$1,9441y_0$	109,05	$2,0905y_0$

A már említett és újabb kutatási eredmények összefoglalása az 1994-ben megjelent A Faipari Műveletek Elmélete szakkönyvben jelent meg Sitkei György szerkesztésében (Sitkei 1994). A könyv 8. fejezetében Rónai összefoglalja a faanyag anyagszerkezeti jellemzőit, szerkezeti fa szilárdsági minősítésének folyamatát, vízfelvétellel és leadással kapcsolatos dagadási és zsugorodási feszültségeinek számításai módszerét.

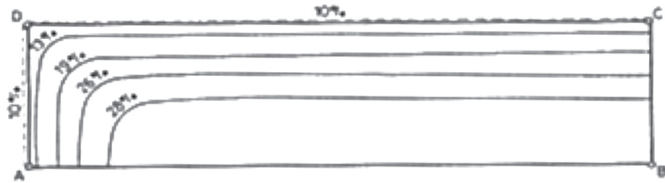


Zsugorodási feszültségek eloszlása fűrészáruban (Sitkei 1994)

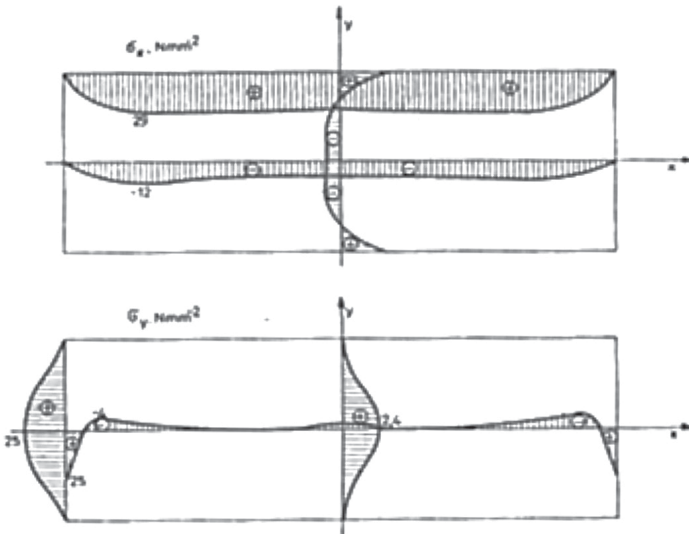
Az ábra egy 40×200 mm-es palló 10%-os nedvességtartalom csökkenés esetén mutatja a belső feszültségeket.  $\sigma_x=0,3 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_y=1,5 \text{ N/mm}^2$ ,  $T_{xy}$  a nagyobb normálfeszültség 10%-ára tehető.

A könyv jelen fejezete még a rostirány anyagjellemzőkre gyakorolt hatását, a fa mint ortotróp anyag (tulajdonságai irányfüggőek, jellemző főirányai egymásra merőlegesek) rugalmasságtani anyagegyenleteit mutatja be. Érinti továbbá a mérés, a fa törésmechanikájának, valamint a már említett időtartam függő mechanikai tulajdonságainak leírását a kúszási és relaxációs folyamatokat is.

A könyv 9-10. fejezete Fodor Tamás munkája nyomán ismerteti a faanyag visko-elasztikus anyagtörvényének meghatározását, azaz a kúszási és feszültségrelaxációs folyamatok matematikai leírását és számítását. Az elméleti ismereteket követően az anyagegyenlethez szükséges kísérleti adatok meghatározásának módszerét mutatja be nyomóvizsgálatok segítségével. A könyv 10. fejezetében a zsugorodási feszültségek számítását mutatja be hőmérsékletváltozás, majd nedvességtartalom változás következtében.



A száradó fűrészáru jelzett keresztmetszetének nedvességi eloszlása 10 óra elteltével



A száradó keresztmetszet  $\sigma_x$  és  $\sigma_y$  feszültségének eloszlása 10 óra elteltével

Száradó 6000×240×60 mm-es palló nedvességtartalmának és feszültségeinek eloszlása 10 óra száradást követően (Sitkei 1994)

A Mechanika tanszék vezetését 1991-től Dr. Szalai József vette át. Szalai vezetésével a faanyag anizotróp szilárdsági tulajdonságainak elméleti leírása és gyakorlati mérésekkel való igazolása lett az egyik fő kutatási irányvonal az intézetben. Mint ismeretes a faanyag ortogonálisan anizotróp anyag, ami azt jelenti, hogy a három jellemző főirányában (rostirány, sugárirány, húr irány) mechanikai tulajdonságai lényegesen különböznek és ezen irányok egymásra merőlegesek. Egy általános irányban a főirányokban érvényes mechanikai tulajdonságokból, adott irányban jellemző mechanikai jellemző (pl. rugalmassági modulus, szilárdság) matematikai úton kifejezhető. A témában elért eredmények A Faanyag és Faalapú Anyagok Anizotróp Rugalmasság- és Szilárdságtana könyvben kerültek publikálásra 1994-ben, Szalai József munkájaként (Szalai 1994). A munka egyik jelentős eredménye, hogy az általános Hooke törvény (1. képlet) – mely kapcsolatot teremt a feszültség és alakváltozások jellemzők között- faanyagra jellemző alakíthatósági mátrixának elemeit, kihasználva az ortotróp anyagok szimmetria tulajdonságait, sikerült kifejezni olyan rugalmas állandókkal, melyek a gyakorlati mérésekkel megbízhatóan mérhetők. Több olyan rugalmas állandó van, például a harántnyúlási tényezők vagy más néven Poisson tényezők a különböző síkokban, amik nem vagy csak pontatlanul meghatározhatók. Az így kialakult alakíthatósági mátrixban ezek a fő irányokban mért illetve a 45°-os irányhoz tartozó rugalmassági modulusokkal kifejezhetők.

$$\varepsilon_i = S_{ij} \delta_j \tag{1}$$

ahol:  $\varepsilon_i$  – az alakváltozások (megnyúlások és szögváltozások)  
 $\delta_i$  – a feszültségek (normál- és nyírófeszültségek)

$$[S_{ij}] = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_L} & -\frac{\nu_{RL}}{E_R} & -\frac{\nu_{TL}}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{LR}}{E_L} & \frac{1}{E_R} & -\frac{\nu_{TR}}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{LT}}{E_L} & -\frac{\nu_{RT}}{E_R} & \frac{1}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{RT}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{TL}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LR}} \end{bmatrix},$$

*Az alakíthatósági mátrix elemei rugalmas állandókkal kifejezve (Szalai 1994)*

$S_{ij}$  – az alakíthatósági mátrix

ahol: E – rugalmassági modulus a Rost (L),sugár (R) ill. tangenciális (T) irányokban  
 G – nyírórugalmassági modulus a három fő síkban  
 $\nu$  – Poisson tényező a különböző síkokon

$$[s_{ij}] = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_L} & \frac{1}{2} \left( \frac{4}{E_{LR}^{(45)}} - \frac{1}{E_L} - \frac{1}{E_R} - \frac{1}{G_{LR}} \right) & \frac{1}{2} \left( \frac{4}{E_{LT}^{(45)}} - \frac{1}{E_L} - \frac{1}{E_T} - \frac{1}{G_{LT}} \right) & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} \left( \frac{4}{E_{LR}^{(45)}} - \frac{1}{E_L} - \frac{1}{E_R} - \frac{1}{G_{LR}} \right) & \frac{1}{E_R} & \frac{1}{2} \left( \frac{4}{E_{RT}^{(45)}} - \frac{1}{E_R} - \frac{1}{E_T} - \frac{1}{G_{RT}} \right) & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{2} \left( \frac{4}{E_{LT}^{(45)}} - \frac{1}{E_L} - \frac{1}{E_T} - \frac{1}{G_{LT}} \right) & \frac{1}{2} \left( \frac{4}{E_{RT}^{(45)}} - \frac{1}{E_R} - \frac{1}{E_T} - \frac{1}{G_{RT}} \right) & \frac{1}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{RT}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LT}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LR}} \end{bmatrix}$$

*Az alakváltozási mátrix elemei mérés technikailag jól meghatározható elemekkel kifejezve  
(Szalai 1994)*

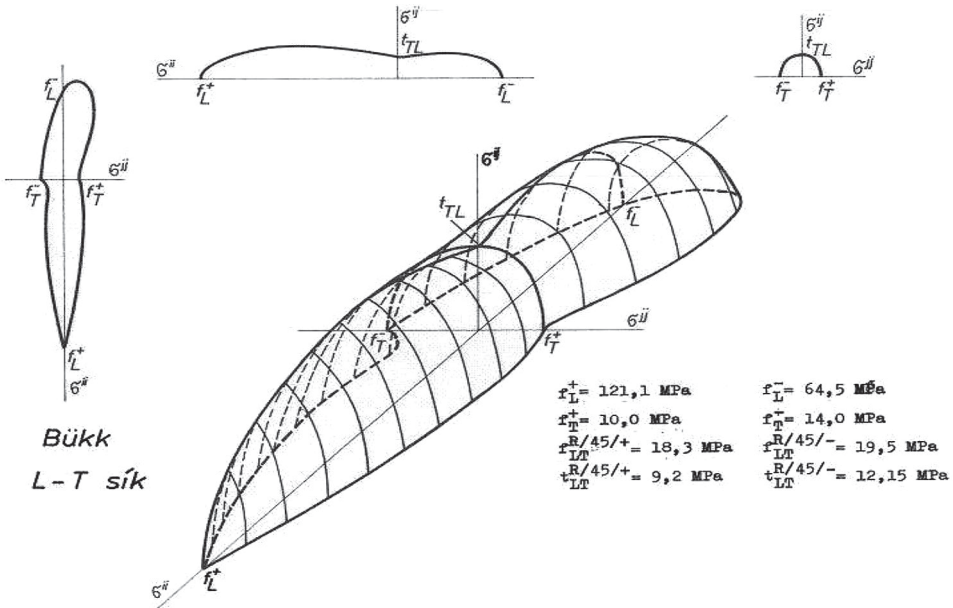
ahol: pl.  $E_{LT}^{(45)}$  – az LT síkon rostiránnyal 45°-ot bezáró irányban mért rugalmassági modulusz

Az így felírt alakíthatósági mátrix elemi mérésekkel meghatározhatók (ill. ezen mátrix inverze a merevségi mátrix is képezhető), így a Hooke törvény alapján a feszültségek vagy alakváltozások számíthatók egymásból.

A munka másik nagy eredménye, hogy a faanyag szilárdsági anizotrópiájának leírására vizsgált meglévő szilárdsági kritériumokat az alapján, hogy melyik közelíti leginkább a mérésekkel is igazolható viselkedést. Szilárdságon az anyag maximális teherbíró képességét értjük adott igénybevétellel vagy különböző igénybevételek együttes kombinációjával szemben.

A fa, mint anizotróp anyag esetén a tönkremenetellel kapcsolatos feltételt szilárdsági kritériumnak nevezzük és egy olyan polinom összefüggést értünk alatta, mely megadja, hogy a ténylegesen ható feszültségállapot határállapot-e, azaz fennállása esetén tönkremegy-e az anyag. Szalai a különböző, elsősorban plasztikus anyagokra kidolgozott tönkremeneteli kritériumokat vizsgálja (Tsai-WU, Mises-Hill) és megállapítja, hogy az anizotróp fa esetén ezek nem pontos, esetenként elméletileg hibás eredményt adnak faanyag esetén. Bemutat ugyanakkor egy harmadik Askenázi-féle kritériumot, mely a korábbi másodfokú polinomok helyett egy összetettebb negyed fokú polinomot használ. A szerző kimutatta, hogy ezen szilárdsági kritérium sokkal jobban, a mérésekkel összhangban írja le a faanyag különböző irányokban mérhető szilárdsági viselkedését. Az Askenázi elmélet segítségével síkbeli feszültségállapot esetén néhány szilárdsági érték mérése után ábrázolható az adott anyag szilárdsági felülete, mely szemlélteti a szilárdság irányfüggését adott anyag esetén.

A munka eredményeként tehát lehetővé vált a faanyag anizotróp viselkedésének mérésekkel alátámasztott elméleti leírása, mely a gyakorlati számítások pontosabb megalapozását szolgálhatja.



Bükk szilárdsági diagrammja L-R síkban (Szalai 1994)

ahol:  $f^+$  ill.  $f^-$  adott irányban a húzó- ill. nyomó szilárdság;  $t^{(45)}$  adott síkban 45°-os rostlefutás mellett húzó vagy nyomóvizsgálat alapján képzett nyírószilárdság

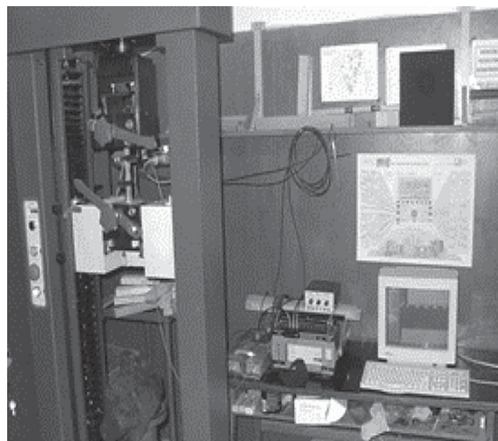
A fával építés népszerűsítésének ill. mérnöki alkalmazásainak egy újabb mérföld köve a 2000-ben Dr. Wittmann Gyula szerkesztésében megjelent Mérnöki Faszervezetek I. kötet (Wittmann 2000). A könyv első fejezetei részletesen tárgyalják az alkalmazható fa- és faalapú anyagokat ezek szilárdsági osztályozásának lehetőségeit, valamint az alkalmazható ragasztó és felületkezelő és egyéb segédanyagait. Bemutatja a hagyományos faszervezeti kapcsolatok mellett a modern mérnöki kapcsolatokat pl. szeglemezes kapcsolatokat, majd a faanyagú tartószerkezeteket taglalja a rétegelt ragasztott tartóktól kezdve a szeglemezes rácsos tartókon át a térrácsszerkezetekig. A könyv második fele a faházak szerkezeti elemeinek építési technikai részleteibe nyújt betekintést, végül a gyártási folyamatokat mutatja be különböző tartószerkezet-típusok esetén.

2001-ben követte az első kötetet A mérnöki Faszervezetek II. kötet, mely részletesen tárgyalja a faszervezetek alapozási kérdéseit Dr. Koszta Miklós illetve Bátki Károly munkája nyomán (Wittmann 2001). A könyv második fele a faszervezetek méretezését és gyártását befolyásoló sajátosságok kerülnek bemutatásra Dr. Szalai József nyomán. Itt a már korábban bemutatott elméleti eredmények felhasználásával, méréseken nyugvó technikai szilárdságok, anizotrópia felületek is bemutatásra kerülnek. A kötet végén a rétegelt ragasztott tartók gyártási és klimatikus feszültségei kerülnek bemutatásra, melyek kedvezőtlen esetben a tartók delaminálódásához, így idő előtti tönkremeneteléhez vezetnek.

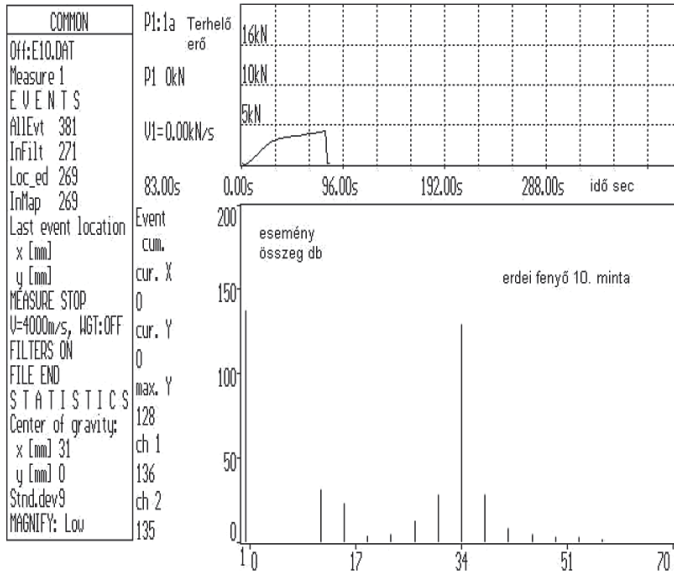
A faanyag anizotróp viselkedésének kutatásai mellett 1996-tól egy ígéretes új kutatási terület a faanyag akusztikus emissziós tulajdonságainak vizsgálata vette kezdetét Kánnár Antal doktori munkája révén. Az akusztikus emisszió (továbbiakban AE) jelenségén a szilárd testben tárolt energia felszabadulása közben (repedés, törés) keletkező rugalmas hullámokat értjük. Az AE tehát nem más, mint anyaghang, „beszéd”. Minden anyag más-más nyelven „beszél”, nekünk ezt a „nyelvet” kell megértenünk, feldolgoznunk az anyaggal kapcsolatos vizsgálatok során. A mérések során a megfelelően kialakított, közepén másodlagosan is gyengített próbatesteket anyagvizsgáló gépben általában húzással tönkre tesszük, miközben a ráerősített piezoelektromos érzékelők segítségével detektáljuk a tönkremenetel során keletkező ultrahang tartományú eseményeket. Ezen jelek fizikai tulajdonságainak, mennyiségének és eloszlásának elemzésével értékes következtetéseket vonhatunk le a fa tönkremeneteli folyamataival, törési természetével kapcsolatban. A kísérletek tanúsága szerint faanyag esetén a 20–250 kHz tartományt kell megjelölni az akusztikus emisszió frekvencia tartományaként.

A vizsgálatok során kimutattuk, hogy fémekkel ellentétben a faanyag bár rövid időn belül mutatja, néhány hónap elteltével nem mutatja az ún. Kaiser effektust, azaz, hogy korábbi terhelési szint alatt is akusztikusan aktívvá válik. A terhelési előtörténete (nagy hőteher vagy szélteher maximuma) így nem kimutatható egy újabb terhelési ciklusban.

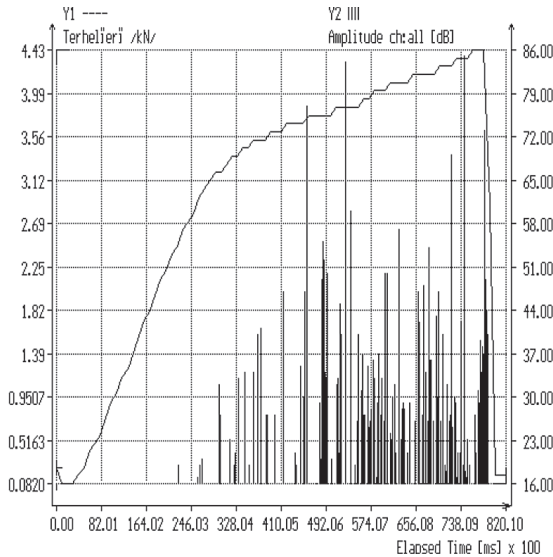
A vizsgálati módszer lehetővé teszi, hogy meghatározzuk a tönkremeneteli események keletkezési helyét a két érzékelő közti gyengített keresztmetszetben. Azt találtuk, hogy a faanyag terhelése során a mikro-tönkremenetek véletlenszerűen keletkeznek az egész terhelt térfogatban az egyes fa részek adott pillanatban kialakult feszültségi állapotának kritikus kereszt-metszeteiben.



*Az akusztikus emissziós mérőrendszer (bal), az érzékelők rögzítése gumigyűrű segítségével (jobb)  
(Fotó: Kánnár Antal, 2014)*



Erdei fenyő akusztikus minta emissziója bűzás során (Kánnár 2014)



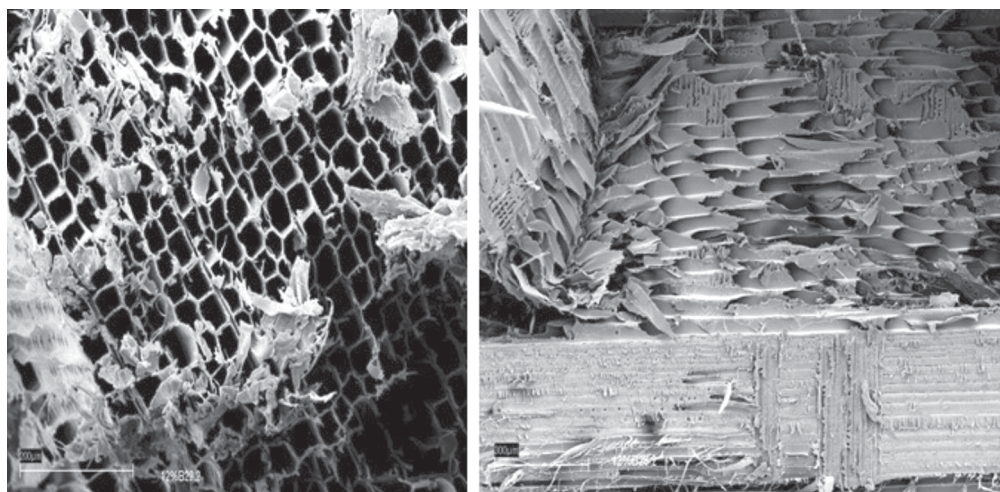
Erdeifenyő hibahely lokalizációs térképe (Kánnár 2014)

A fa tehát nem csak a kritikus (leggyengébb) keresztmetszetben megy tönkre, hanem az egész terhelő térfogat is jelentős mértékben tönkremegy. A faanyag esetén az akusztikus aktivitás, azaz a tönkremeneteli folyamatok kezdete a törőterhelés 80–90%-nál kezdődik csupán, mely a fa rideg törési természetére utal.



Az akusztikus emissziós vizsgálatokkal párhuzamosan a tönkrementeli felületek elektronmikroszkópos vizsgálatait is lefolytattuk, a tönkrementeli folyamatok minél alaposabb megismerése céljából.

Az elvégzett nagyszámú vizsgálat alapján a húzás során létrejött töréskép szakadá-  
sos vagy nyírási jellegű. 12% nedvességtartalom mellett létrejött szakadás jellegű törési  
felület nagymértékben hasonló az abszolút száraz lucfenyő törési felületéhez. A sejtek  
nagy része sejt falon átmenő rideg jellegű töréssel ment tönkre, míg helyenként tracheida  
kötegek kihúzódását figyelhetjük meg. Ezek oldalfelületein nyírási tönkrementel kö-  
vetkezett be. A nedvességtartalom növekedése nem okozott tehát változást a szakadásos  
jellegű törési felületen.



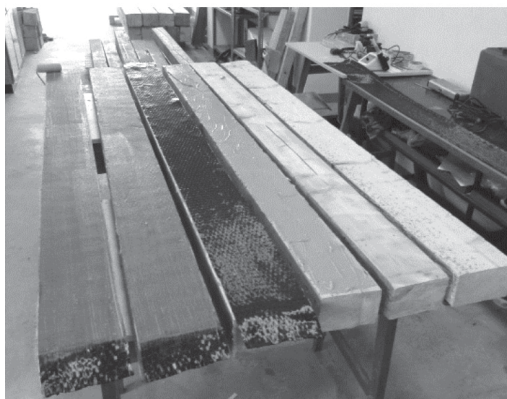
*12% nedvességtartalom mellett létrejött szakadásos (bal) és nyírási jellegű (jobb) törési felület húzás során (Fotó: Kánnár Antal, 2014)*

A törési felületek vizsgálata tehát alátámasztja a szakirodalmi megállapításokat mi-  
szerint a faanyag törése rideg jellegű. A vizsgálatok alapján az abszolút száraz faanyagra  
vonatkoztatott megállapításokat kiterjeszthetjük a nagyobb nedvesség-tartalmú minták-  
ra is. Sikertel tehát alátámasztani – a mikro-tönkrementeli folyamatokra vonatkozóan  
– azt a feltevést miszerint a nedvességtartalom növekedésével a faanyag tulajdonságai fo-  
lyamatosan, de nem alapvetően változnak (James 1961). A nedvességtartalom növekedése  
tehát alapvetően nem változtatja meg a faanyag mikro-tönkrementeli folyamatainak  
jellegét a faanyag rideg módon törnek.

Mindezen ismeretek összefoglalása A faanyag mikro- és makro- tönkrementeli fo-  
lyamatai című könyvben jelent meg Kánnár Antal szerzői munkája nyomán 2014-ben  
(Kánnár 2014). A kötetben helyet kaptak az iparában alkalmazott rétegelt ragasztott fa  
tartószerkezetekben előforduló tönkrementeli folyamatokkal kapcsolatos országos fel-  
mérési eredményei és a tervezést segítő ajánlások. Az ipar részéről a Bartal és Rabb Kft.  
vett részt az ipari adatgyűjtésben és a tervezői ajánlások megfogalmazásában.

Az alapkutatásokon túl alkalmazott kutatások is folynak az intézetben Dr. Andor Krisztián vezetésével, aki 2000-től tagja az intézetnek és 2012-től vezeti azt. Az általa végzett kutatások témája a faanyag szénszálalás megerősítésének vizsgálata.

Jelentős igény mutatkozik ugyanis fafödémek megerősítési módszerek vizsgálatára a betonnak, mint építőanyagnak az előnyös tulajdonságai (formázhatóság, nagy szilárdság, önthetőség, tartósság, hőtároló-képesség, vegyi ellenálló-képesség) ellenére fennálló környezetvédelmi aggályok és a fával nem jó egységet alkotó tulajdonságai (jelentős többletsúly, nedves technológia) miatt, amire a szálerősítéses technológia megoldást jelenthet.



*Szénszállal erősített fagerendák (Fotó: Anon.)*

A szénszálalás megerősítés technológiáját valós méretű gerendákon kísérleteztük ki. Épület átalakítása során felszabaduló bontott gerendák szolgáltatták a kísérleti próbatesteket, melyek egy részét megerősítettük, a másik része referenciamintaként szolgált. A laboratóriumi vizsgálatok során 4-pontos hajlítást végeztünk 3 próbatestcsoporton, mely során a törőerőt és a lehajlítást mértük.

A kutatás során bebizonyosodott, hogy a szénszálalás technológiával lehetséges megerősíteni fafödémeket. A szénszálalás technológiának számos előnyét sikerült igazolni:

- anyaghatékonyság,
- könnyű alkalmazhatóság
- előnyös viselkedés

A vizsgálatok igazolták, hogy a megerősített tartószerkezet merevsége 8%-kal növekedett, mely során a használhatósági kritériumok teljesültek, a szilárdságnövekedés mértéke a teherbírási követelményeknek történő megfeleléshez elegendőnek bizonyult. A megerősített faszerkezeti elemek törőterheinek szórása lényegesen kisebb volt, mint a referenciaminták törőterheinél, így a szénszálalás technológiával megerősített gerendák biztonságosabb építőanyagként számíthatnak.

Nem utolsó sorban a szénszálalás megerősítés technológiának az ökológiai lábnyoma nagyságrendekkel kisebb, mint a betontechnológiával történő megerősítésé, technológiai eljárása lényegesen egyszerűbb. (Andor et al. 2015)

**Szénszálerősítésű fagerenda vizsgálatok teherbírás növekedési eredményei**

Csoport	Fa (referencia)*	0,5R	R	Rr	0,5Rl	Rld
Megerősítés módja	Nincs	Egy rtg sikawrap fél gerenda- szélességben	Egy rtg sikawrap teljes gerenda- szélességben	2 Rtg sikawrap teljes gerenda- szélességben	Egy rtg sika lamella fél gerenda- szélességben	Egy rtg sika lamella teljes gerenda- szélességben
Mintaszám (db)	17	8	20	8	10	10
Átlagos törőerő mértéke (kn)*	19,7	27,5	30,5	30,9	29,7	35
Szórás (kn)	6,6	5,9	5,7	3,8	4,8	4
Teherbírás növe- kedés referenciá- hoz képest (%)	–	39	55	57	51	77

Előbbi kutatási projekthez kapcsolódóan Bellovics Bertalan egyetemi tanársegéd, aki 2019-től tagja az intézetnek, mechanikai modellt épít végeelem módszerrel, a szén és kenderszálerősített fatartó mechanikai modellezése céljából.

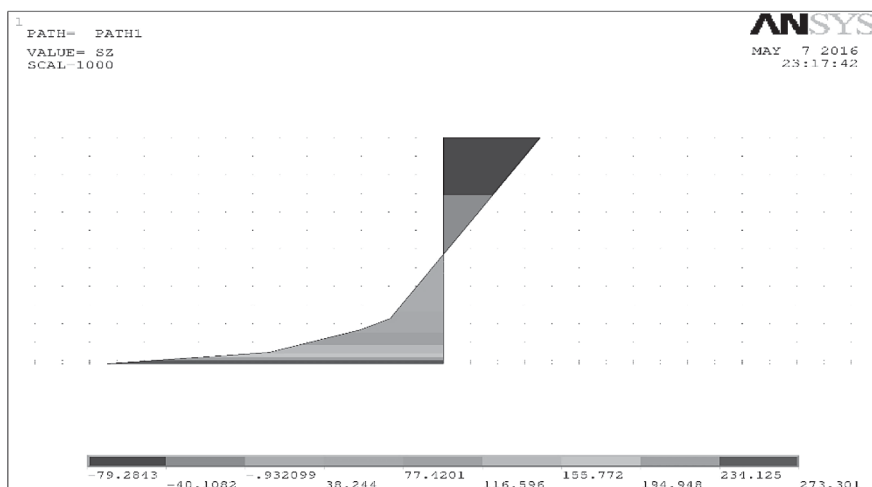
A házépítésben már régóta alkalmazzák a faanyagot. Elsősorban födémek készítéséhez. Ezek az úgynevezett fafödémek mind a mai napig tartószerkezeti szerepet töltenek be a ma is álló régi házakban, épületekben. A mai kor elvárásai gyakran megnövekedett teherbírási igényt támasztanak ezekkel a födémekkel szemben. Ezeknek az új elvárásoknak történő megfeleltetés legtöbbször vasbetonszerkezettel történő megerősítés révén teljesíthető.

Mivel a beton korunk egyik legkörnyezetszennyezőbb építőanyaga, míg a fa egy biológiailag megújuló építőanyag, paradox e tekintetben a két összetevő kényszerű kombinálása. Korunk egyik praktikus és divatos új szerkezeti anyaga, a szénszál, megfelelő technológiával adoptálható a faanyagra is. Erre vonatkozó számos kutatás a jelentős teherbírás-növekedésre bizonyítékot szolgáltatott (Borosnyói 2013; Bellovics 2016). A régi fafödémek utólagos megerősítési lehetőségét is ebben látjuk, kiváltva ezzel a betontechnológiás megerősítést.

Amennyiben a szénszálat sikerülne helyettesíteni egy természetes, hasonló szerkezetű anyaggal, akkor egy teljesen természetes anyagú megerősített faszerkezethez jutunk.

Mivel intézetünk már régebb óta foglalkozik faszerkezeti elemek megerősítésével, így a laborméréseken kívül elkezdődött az említett szerkezetek végeelem-módszerrel történő modellezése. Erre egyrészt azért volt szükség, hogy a belső feszültségi és alakváltozási viszonyok ismeretében egy jól alkalmazható számítási eljárást dolgozzunk ki, másrészt a kompozit termék rugalmassági modulusának kiszámítására teherhordási irányban. A laborméréshez készült próbatetek szolgáltatták a viszonyítási alapot, hogy minél realisabb végeelem-modellt tudjunk készíteni (Borosnyói 2013).

A modellezés első fázisa során tehát az belső igénybevételek (feszültség és nyúlás) kerültek összehasonlításra a labormérések eredményeivel. Az összehasonlításra azért volt szükség, hogy meg tudjuk ítélni, hogy a végeelem szimulációval kapott nyúlás és feszültség értékek mennyire közelítenek a laborban mért eredményekhez. A levont következtetéseket meghatározta egyrészt a labormérésekhez külön készült elemzés, a mérési módszerek másrészt a modellezéshez használt eljárás. Az összehasonlításból kiderült, hogy a sima fagerenda jó közelítéssel volt modellezhető, mind a feszültség, mind a nyúlási adatok kevés eltérést mutattak egymáshoz képest. A megerősített próbatetek esetében a belső feszültség eloszlást nem tudtuk mérni, csak közelítő módon számolni, ezen számítások viszont nem adták vissza a várható képet. Így itt nem volt összehasonlításra alap, csak a végeelem-program által számolt adatokra tudtunk hagyatkozni.



*Szálerősítésű fagerenda feszültségviszonyai FEM modell alapján*

A fajlagos alakváltozások tekintetében azonban voltak kirívó eltérések. Ezek mérése a laborban nyúlásmérő bélyegekkel történt, aminek nagy hátránya, hogy csak síkbeli alakváltozást mérnek, így ezek belső eloszlását csak becsléssel tudtuk következtetni. Ezzel a módszerrel nem lehetett egyértelműen megállapítani, hogy a modellel, vagy a méréssel lett volna a fő probléma. Minden összevetve a modell jelenlegi állapotában alkalmasnak tűnt a további mérésekhez. Azonban a végeelem modellből történő rugalmassági modulusok meghatározása során kiderült, hogy az eddig használt lineáris anyagmodell a megerősített próbatetek esetén nem adja vissza a laborban mért eredményeket, hiszen jelentős eltérések vannak az adatok között. A következő lépés tehát egy nemlineáris anyagmodell kidolgozása lesz, melynek során összehasonlításra kerülnek a labor és a szimuláció által létrehozott terhelés-lehajlás grafikonok. (Bellovics 2016)

## Összefoglalás

Jelen írásunkban röviden igyekeztünk felvázolni a Mechanika intézet elmúlt 60 évének főbb kutatási eredményeit, a teljesség igénye nélkül. Mind a mechanika mint tudományág szerteágazó tudományterületei, mind a faanyag mint biológiai anyag sokszínűsége és összetettsége, mind a múltban, mind a jelenben és természetesen a jövőben is sok érdekes kutatási témát szolgáltatott és szolgáltat a kutatók számára. A jelen és jövő kutató nemzedékeire sok munka vár tehát, hogy ezen nemes és szép anyagot minél pontosabban megismerje, a jelen és jövő új vizsgálati módszereivel anyagtulajdonságait egyre mélyrehatóbban feltárja és még eddig fel nem fedezett új alkalmazási területeken, új módokon használja a fát mint építőanyagot.

## Irodalom

- Andor K., Lengyel A., Polgár R., Fodor T. & Karácsonyi Z. 2015: Experimental and statistical analysis of spruce timber beams reinforced with CFRP fabric. *Construction and Building Materials* 99: 200–207.
- Andor K. & Bellovics B. 2020: Analysis of modulus of elasticity of spruce beams under bending with and without fibre reinforcement. *WOOD RESEARCH* 65(1): 101–110.
- Bejő L., Láng E., Szalai J., Kovács Zs. & Divós F. 2003: Lombos fafajok ortotrop szilárdsága és rugalmassága. II. rész: kísérleti eredmények és következtetések. *Faipar*. LI. Évf. 2003/4: 8–16.
- Bejő L., Láng E., Szalai J., Kovács Zs. & Divós, F. 2003: Lombos fafajok ortotrop szilárdsága és rugalmassága. I. rész: elméleti alapok, kísérleti módszerek. *Faipar*. LI. Évf. 2003/2: 19–25.
- Bellovics B. 2016: Szénszál erősítéű fagerenda modellezése. Diplomamunka. Soproni Egyetem.
- Borosnyói A. 2013: Betonszerkezetek korrózióállóságának biztosítása innovatív, szálerősítéű polimer (FRP) anyagokkal. *Építőanyag* 65 (1)
- Czifra Sz. 2021: A szkíta kori építészet rejtélyei. <https://mnm.hu/hu/cikk/szkita-kori-epiteszet-rejtelyei>
- Dr. Wittmann Gyula (2000): Mérnöki faszervezetek I. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó 2000. 411. o.
- Hantos Z. 2016. CLT/XLT A keresztrétegelt falemez. *Magyar asztalos*. 2016 Szeptember: 18–20
- James W.L. 1961: Effect of temperature and moisture content on internal friction and speed of sound in Douglas fir. *Forest Product Journal* (9): 383–390.
- Kánnár A. & Szalai J. 2011: Theoretical and experimental investigations of damage development of glulam beams. The 17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium 2011. szept 14–16. Sopron Hungary. *Proceedings* 367–374.
- Kánnár A. & Szalai J. 2002: Réteges felépítésű faszervezeti elemek klíma-változás során bekövetkező vetemedésének és sajátfeszültségeinek számítása. 2. rész: Az elméleti levezetések eredményeinek alkalmazása. *Faipar* L. évf. 2002/4: 7–12.
- Kánnár A. 2014: Evaluation of glulam beams' performance in special environmental conditions. *Wood Research* Vol. 59(5): 803–812.
- Kánnár A. 2014: A faanyag mikro- és makro- tönkremeneteli folyamatai. Szerzői kiadás 2014. 152 o.

- Lang E.M., Bejő L., Szalai J., Kovács Zs. & Andersin R.B. 2002: Orthotropic Strength and Elasticity of Hardwoods in Relation to Composite Manufacture. Part II. Orthotropy of Compression Strength and Elasticity. *Wood and Fiber Science*. 34(2): 350–365.
- Molnár S. & Bariska Mihály 2002: Magyarország ipari fáit. Szaktudás Kiadó Ház. 210 o.
- Rónai Ferenc & Somfalvi György (1982): Fa tartószerkezetek. Műszaki Könyvkiadó. 372 o.
- Sinkovics I. 2005: A magyarság magánélete. <https://www.arcanum.com/hu/online-kiadvanyok/Domanovszky-domanovszky-magyar-muvelodestortenet-1/elso-kotet-osmuveltseg-es-kozepkori-kultura-4A/sinkovics-istvan-a-magyarsag-maganelete-25B/>
- Sitkei György 1994: A faipari műveletek elmélete. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 539 o.
- Szalai J., Niemz P., Andor K., Bariska M. & Howald M. 2004: Untersuchungen zum Einfluss der Holzfeuchtigkeit auf das Bruchverhalten von Fichte bei Zugbelastung in Faserrichtung. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*. 155(1): 1–5.
- Szalai József (1994): A faanyag és faalapú anyagok anizotróp rugalmasság- és szilárdságtana. *Erdészeti és Faipari Egyetem*, 398 o.
- Szalai J. & Kánnár A. 2002: Réteges felépítésű faszervezeti elemek klímaváltozás során bekövetkező vetemedésének és sajátfeszültségeinek számítása. 1. rész: elméleti összefoglaló. *Faipar L. évf. 1: 19–23*.
- Szalai J. 2003: A természetes faanyag szilárdsági felületének jellemzői. *Építés-Építészettudomány XXXI (1-2): 43–59*.
- Szalai J. 2004: Technische Festigkeiten der Pannonia Pappel (*Populus x euramericana* cv. Pannonia) und der Zerreiche (*Quercus cerris* L.). *Acta Silv. Lign. Hung.* Vol. 1: 1–9.
- Szalai J. 2008: Festigkeitstheorien von anisotropen Stoffen mit sprödem Bruchverhalten. Teil 1: Vergleich und Beurteilung der anisotropen Festigkeitskriterien auf Grund von theoretischen Überlegungen. *Acta Silv. Lign. Hung.*, Vol. 4: 61–79.
- Wittmann Gyula (2001): Mérnöki faszervezetek II. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, 262 o.
- Heavy-traffic Accoya Glulam Bridge at Sneek, the Netherlands; <https://www.accoya.com/uk/project/accoya-wood-used-for-heavy-traffic-road-bridges/>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Richmond\\_Olympic\\_Oval](https://en.wikipedia.org/wiki/Richmond_Olympic_Oval)
- <https://hir.ma/epiteszet/gyonyoru-traditionalis-kanadai-ronkhaz/619907>
- <https://www.construction21.org/articles/h/lensoleillee-efficient-building-of-the-green-building-solutions-awards-2014.html>

## **Wood as a building material**

For thousands of years, humanity has used the materials in its environment to build shelters and as tools to carry out its activities. Among these materials, wood and timber stand out, and their versatility and natural beauty have made them an integral part of everyday life and celebrations. The Institute of Mechanical Engineering has been carrying out research for about 60 years on the definition of models and their constants to better describe the elastic behaviour of wood as a building material. The main research areas have been as it follows: Definition of rheological models and properties of wood. Determination of the own stresses due to temperature and moisture content variation.

Determination of the elastic properties of wood as an anisotropic material, and experimental verification of the material law of anisotropic behaviour. Acoustic emission material tests to investigate the damage processes of wood and to determine the nature of fracture. Strength testing of carbon fibre reinforced wood elements and assessment of their practical applicability.

# FAANYAG ÖKOMÉRLEGE

Börcsök Zoltán

## Bevezetés

Nehezen vitatható, hogy minden emberi tevékenység valamilyen módon hatással van a környezetre, amit környezeti terhelésnek nevezhetünk. Ugyanígy a fafeldolgozás, a különböző fatermékek előállításának is hatást gyakorol a felhasznált nyersanyagok és energia, a kibocsátott hulladékok és szennyeződések által. A fafeldolgozás során használt technológia meg fogja határozni a környezeti terhelések típusát és mértékét. Az egyes technológiák különböző környezeti hatásait elsősorban hatásértékelési módszerek, környezetvédelmi mutatók és környezetmenedzsment eszközök segítségével követhetjük nyomon (Mannheim 2013).

## Ökológiai mérleg, életciklus elemzés, szénlábnyom

Ezen eszközök közül az egyik az ökológiai mérleg (eredetileg: die Ökobilanz), mely olyan elemzési módszer, amely lehetővé teszi, hogy az élő környezetnek okozott különböző ártalmakat felbecsüljük és ezeket az ártalmakat egységes ökológiai indexekkel fejezzük ki (az, hogy az ökológiai kifejezés mennyire helyes ebben a vonatkozásban messzire vezetne és nem témája ennek a dolgozatnak). A gyakorlatban ezzel azonos módszer az életciklus elemzés, melynek angol nevéből eredő rövidítésével találkozhatunk a leggyakrabban: Life Cycle Analysis – LCA. A vizsgált életút hossza szerint számos változatot lehet megkülönböztetni. A leggyakrabban alkalmazott a cradle-to-grave elemzés, ahol a nyersanyagok kinyerésétől (cradle) a használat utáni megsemmisítésig vagy lerakóban való elhelyezésig (grave) tart az elemzés. De folyhat az elemzés a nyersanyagoktól a termék előállításáig, vagyis a gyár kapujáig (cradle-to-gate), vagy amennyiben az életút végén a termék újrahasznosítható, akár cradle-to-cradle elemzés is végezhető. Az sem példa nélküli, hogy a termék létrejötte során több olyan jól lehatárolható szakaszon megy át, melyeknek az környezeti hatása külön-külön számítható (gate-to-gate). A vizsgálat során meg kell határozni a vizsgálat kereteit, illetve azt, hogy mely paraméterekre vagyunk kíváncsiak, hiszen könnyen abba a problémába eshetünk, hogy túl tágak az elemzés határai (Tóthné 2008, Bakosné 2016). Itt le is kell szögezni, hogy jelen dolgozatnak nem témája vizsgálni az erdőgazdálkodást, bár pl. klímavédelmi szempontból célszerű az erdőt és a faanyagot együtt kezelni (FAO 2016). Feltételezzük, hogy a faanyag „előállítása” a lehető legfenntarthatóbb módon, a legnagyobb gondossággal történt. Az erdészeti munkák környezetterhelésére Polgár et al. (2018) végeztek becslést. Megállapították, hogy hektáronként a vágásterületi munkák a fosszilis eredetű CO<sub>2</sub> kibocsátás 30–40%-áért, míg a faanyag felterhelése, szállítása, leterhelése a 60–70%-áért felelős. Hasonló eredményre jutottak más kutatók is (Athanassiadis 2000; Berg és Lindholm 2005). Ugyanígy nem



téma a „nyers” faanyagnak a feldolgozás helyére történő szállításának környezeti hatásait vizsgálni. Börcsök et al. (2016) megállapították, hogy a zömében külföldről importált fenyő rönk és fűrészáru esetében a szállítás a faanyag szénelnyelő potenciálját mintegy 2–4%-kal csökkenti. Egy konkrét könnyűszerkezetes faház esetében pedig a beépülő energia 6,8%-kal nő, ami már nem elhanyagolható arány. Az életciklus-értékelés a termékekhez kötődő emissziókat és egyéb környezeti hatásokat nem önmagukban értelmezi, hanem környezeti problémákhoz sorolja:

- Éghajlatváltozás (GWP)
- Savasodás (AP)
- Sztratoszférikus ózonréteg károsodása (ODP)
- Eutrofizáció (EP)
- Fotokémiai oxidáció – nyári szmog (POCP)
- Humántoxicitás (HTP)
- Ökotoxicitás (ETP)

A különböző tanulmányokban található környezeti hatás kategóriák függnek a tanulmány céljától, az adatok elérhetőségétől, illetve a hatás mértékétől is. A különböző tanulmányok között leggyakoribb vizsgált hatás a globális felmelegedési potenciál (szén-dioxid egyenértékben), a környezet elsavasítása, az eutrofizáció, és az ózonrombolás mértéke. De sok más is előfordul: energia-felhasználás, fotokémiai ózonzépzés, víz felhasználás, biotikus források igénybevétele, emberre mérgező hatás, hulladékképzés, ökotoxikusság, nyersanyagforrások igénybevétele, fotokémiai szmog, légköri kibocsátások és egyebek (Khasreen et al. 2009).

A fentiekhez képest a karbonlábnyom (más néven szénlábnyom) az emberi tevékenység környezetre gyakorolt hatásának egyik mértéke, melynek segítségével mérhetővé válik, hogy az adott emberi tevékenység milyen mértékben járul hozzá a globális felmelegedéshez. A karbonlábnyom a különböző lábnyom mutatók családjába tartozik, és jelentős részét teszi ki az ökológiai lábnyomnak. Megmutatja, hogy egy cég tevékenysége, egy ember életmódja vagy egy termék életciklusa nyomán mennyi üvegházhatású gáz (ÜHG) kerül közvetlenül és közvetlenül a levegőbe. A karbonkibocsátás az összes üvegházhatású gáz kibocsátást jelenti, melyet általában tonna szén-dioxid egyenértékre (t CO<sub>2</sub>e) számolandó át, ami egyben a karbonlábnyom mértékegysége is. Minél nagyobb a karbonlábnyom, annál nagyobb az éghajlatváltozásra mért hatás.

A faanyagok környezeti hatásaival foglalkozó tanulmányok mind az ökológiai lábnyommal, mind LCA-val, mind pedig szénlábnyommal foglalkoznak, gyakran hasonlítják a faalapú termékeket más, nem biológiai eredetű anyagokhoz. Gyakori, hogy csak a gyártáshoz szükséges energia mennyiségét vizsgálják, hiszen ez korrelál legjobban az ÜHG-k kibocsátásával, illetve a szénlábnyommal.

## **Fatermékek**

A faanyag egyértelmű előnye, hogy megújuló forrásból származik, hiszen egy olyan összetett anyagról van szó, mely a légköri szén-dioxidból, valamint vízből napfény segít-

ségével keletkezik a fotoszintézis során évről évre (Buchanan és Honey 1994; Forestry Commission 2010), az embernek a keletkezéshez nem kell energiát befektetni. Cserébe viszont a faanyagba beépülő szén-dioxid a ligninben és a cellulózban akár évtizedekre (esetenként évszázadokra) tárolódik, mintegy kompenzálva azt az energia mennyiséget, mely a fatermék előállításához kell, így a legtöbb fatermék szén-egyenlege negatív lesz (Salazar és Meil 2009; Doodoo 2011, Doodoo et al. 2015). Azt azonban figyelembe kell venni, hogy minél nagyobb a fatermék feldolgozottsága, annál nagyobb mennyiségű energia kell az előállításához, így ez az előnye egyre kisebb lesz. A faanyagok, ahogy halad a feldolgozás során, az egyes műveletekkel újabb és újabb kibocsátásokat gyűjtenek „láthatatlan puttonyukba”, így a negatív szén-egyenlege egyre jobban közelít a nullához (Rivela et al. 2007, Bergman 2015, Bergman et al. 2014).

Werner és Richter (2007) szerint a fatermékek kedvezőbb környezeti profillal rendelkeznek, mint más anyagokból készül azonos funkciójú termékek, főként a nem-megújuló források felhasználása, az ÜHG-k kibocsátása és a hulladékképzés alacsony. A vegyszerekkel telített fatermékek megítélése azonban rosszabb, mint az alternatíváké, köszönhetően a mérgező hatásoknak. Ugyanakkor azt sem szabad eltitkolni, hogy a fatermékek kedvezőtlenebbek a környezet elsavasítása, vagy az eutrofizáció terén. A fakompozitok (lemezek) pedig ugyan a fa nagyobb részét tudják hasznosítani, de több fosszilis energiát igényelnek, mint a tölgyfa és a ragasztó, felületkezelő anyagok megítélése sem egyértelmű.

A „fás” Kar oktatói, kutatói is felismerték a termékgyártáshoz kapcsolódó környezeti kérdéseket és az oktatásba is bevezették ezek tárgyalását. Schöberl Miklós javaslatára és vezetésével 1983-ban bevezetésre került egy „Környezetvédelem a faiparban” című tantárgy faipari mérnök hallgatóknak, mely tárgyalt ökológiai kérdéseket, és már tartalmazta a körfolyamú gazdálkodás (Kreislaufwirtschaft) kérdését. Később ezek a kérdések részletesebben tárgyalva az egyes szaktantárgyakba épültek be, a külön tantárgy megszűnt. Az egyetemen a fatermékek környezeti terhelésének kutatása ezek után indult el igazán, s jelentősebb eredményekről 2000 után számolhatunk be. Ugyancsak Schöberl Miklós volt az első, aki felvázolta a fatermékekbe épült szén civilizációs áramát (Schöberl 2004). A fahulladékok, kezelt faanyagok környezetterhelésével is foglalkozott Boronkai László és csapata (2003). Különböző pályázatok külön lendületet adtak a témakör kibontásának. Boronkai László és kutatótársai foglalkoztak a különböző fatermékek előállításának energiaigényével, többek között az Erdő-Fa NKFP pályázat keretében (Molnár 2005). Ők ekkor a széntárolást még nem vették figyelembe, így természetesen csak a gyártási műveletek kibocsátásait figyelték. Az Egyetem által elnyert TÁMOP-4.2.2 III. alprogramjának keretében Molnár Sándor vezetésével a faipari technológiákat járhattuk körbe, s itt már a faanyagok széntárolása is előtérbe került, de vizsgáltuk a fatermékek használatának anyag- és energia-helyettesítését, és az így elérhető kedvezőbb környezeti terheléseket. Ennek eredményeként készült egy népszerűsítő kiadvány is Örök társunk a fa címmel (Molnár 2011). A faanyag újrahhasznosításának, a fatüzelésnek, klímavédelemben betöltött szerepének, ha úgy tetszik, „ökológiájának” vizsgálata azóta is folyik a Karon. A jelenleg futó ErdőLab projekt eredményei a faipar és a fatermékek jelentőségét támasztják alá, illetve azt hangsúlyozzák, hogy valójában az erdőt és a fahasználatot

együtt kell vizsgálni klímavédelmi szempontból (Király et al. 2023, 2024). Számításaink szerint a fatermékek széntárolása és helyettesítési potenciáljai az erdőkből tárolt szén mennyiségéhez hasonló nagyságrendet érhet el.

### **Faépítészet**

Az egyik legnagyobb mennyiségben faanyagot fogyasztó tevékenység a faépítészet, melynek termékei általában hosszú évtizedekig fennmaradnak. Myers et al. (2012) egy konkrét épület esetén arra jutottak, hogy ha ahol csak lehet megújuló anyagokat használnának, a beépülő energia 28%-kal csökkenne. A világ számos országában végeztek életciklus elemzéseket, és egyértelműen a fa szerkezetek előnyét mutatták ki. Cole és Kernan (1996) azt találta, hogy a fa szerkezetekhez képest az ugyanolyan funkciójú beton szerkezet 1,27-szer, az acél szerkezet pedig 1,61-szer több beépülő energiát tartalmaz egy kanadai irodaépület esetén. Gerilla és munkatársai (2007) fa, valamint acél erősítésű beton szerkezetek összehasonlításakor azt találták, hogy fával építkezve lényegesen kevesebb CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> és SO<sub>x</sub> szabadul fel. Gustavsson és Sathre (2006) valamint Gustavsson et al. (2006, 2021) fa és beton vázszerkezetű falakat hasonlítottak össze, és 30–160 kg C/m<sup>2</sup> alapterület különbségeket mutattak ki különböző házak falaira jutó kibocsátásokban. Petersen és Solberg (2002) acél és ragasztott fa gerendák előállítását vizsgálták meg, és azt találták, hogy az acél gerendák előállításához 6–12-szer több energia kell. Buchanan és Levine (1999) a faanyagot hasonlították össze más építőanyagokkal a tárolt szén és a gyártási energiamennyiség alapján, és szintén megállapították, hogy a faanyag előállításához kevesebb energia kell, s így kevesebb szén-dioxid kibocsátással jár, mint a téglá, az alumínium, az acél és a beton. Számításaik szerint Új-Zélandon 17%-kal több felhasználta faanyag az építőiparban mintegy 20% szén-megtakarítást eredményezhetne az építőipar egészére, ami a teljes nemzetgazdaság szintjén 1,5% csökkenés lehetne. A „Környezettudatos energia hatékony épület” című TÁMOP pályázat keretében mi is végeztünk számításokat, s kimutattuk a fából készült (különösen a tömörfa) falazatok klímavédelmi szempontú előnyét (Pásztory et al. 2016).

### **Irodalom**

- Athanassiadis D. 2000: Energy consumption and exhaust emissions in mechanized timber harvesting operations in Sweden. *Ve Science of the Total Environment* 255:135–143.
- Bakosné B. M. 2016: Az életcikluselemzés módszerének használata és karbonlábnyom számítás alapjai. ISBN 978-963-269-531-0 [http://real.mtak.hu/34959/1/Bakosne\\_eletciklus\\_u.pdf](http://real.mtak.hu/34959/1/Bakosne_eletciklus_u.pdf) (2022.03.22)
- Berg S., Lindholm EL. 2005: Energy use and environmental impacts of forest operations in Sweden. *Journal of Cleaner Production* 13: 33–42.
- Bergman R., Puettmann M., Taylor A., Skog K.E. 2014: The carbon impacts of wood products. *Forest Products Journal* 64(7–8): 220–231.

- Bergman R. 2015: Cradle-to-gate life-cycle inventory of hardboard and engineered wood siding and trim produced in North America. CORRIM Final Report. University of Washington. Seattle, WA. August 2015. 78 o.
- Börcsök Z., Pásztor Z., Schöberl M. 2016: Legjelentősebb környezeti terhek fenyő rönk és fenyő fűrészárak behozatalának szállítása folyamán. *Faipar* 64(1): 1–7.
- Boronkai L. 2003: Környezetvédelem. In: Boronkai L. (szerk.): *Faipari kézikönyv III. Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron. ISBN 963 00 4231 3*
- Buchanan A., Levine SB. 1999: Wood-based building materials and atmospheric carbon emissions. *Environmental Science & Policy* 2: 427–437.
- Buchanan AH., Honey BG. 1994: Energy and carbon dioxide implications of building construction. *Energy and Buildings* 20: 205–217.
- Khasreen MM., Banfill PFG., Menzies GF. 2009: Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: A review. *Sustainability* 1: 674–701.
- Cole R., Kernan P. 1996: Life cycle energy use in office buildings. *Building and Environment* 31(4): 307–317.
- Dodoo A. 2011: Life cycle primary energy use and carbon emission of residential buildings. Doctoral Thesis 115, Mid Sweden University, Östersund ISBN 978-91-86694-57-9
- Dodoo A., Gustavsson L., Sathre R. 2015: Modeling carbon footprint of wood-based products and buildings – Chapter 7. in: Muthu S.S. (ed.): *The Carbon Footprint Handbook. CRC Press. ISBN 9781482262223.*
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2016: *Forestry for a Low-carbon Future: Integrating Forests and Wood Products in Climate Change Strategies. FAO Forestry Paper 177, Rome, Italy.*
- Gustavsson L., Pingoud K., Sathre R. 2006: Carbon dioxide balance of wood substitution: comparing concrete- and woodframed buildings. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11(3):667–691.
- Gustavsson L., Sathre R. 2006: Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. *Building and Environment* 41: 940–951.
- Gerilla G., Teknomo K., Hokao K. 2007: An environmental assessment of wood and steel reinforced concrete housing construction. *Building and Environment* 42(7): 2778–2784.
- Gustavsson L., Nguyen T., Sathre R., Tetey UYA. 2021: Climate effects of forestry and substitution of concrete buildings and fossil energy. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 136: 110435.
- Király É., Kis-Kovács G., Börcsök Z., Kocsis Z., Németh G., Polgár A., Borovics A. 2023: Modelling Carbon Storage Dynamics of Wood Products with the HWP-RIAL Model—Projection of Particleboard End-of-Life Emissions under Different Climate Mitigation Measures. *SUSTAINABILITY*, 15(7). DOI: <https://doi.org/10.3390/su15076322>
- Király É., Börcsök Z., Kocsis Z., Németh G., Polgár A., Borovics A. 2024: Climate change mitigation through carbon storage and product substitution in the hungarian wood industry. *Wood Research* 69 (1): 72-86.
- Mannheim V. 2013: Hatásértékelési módszerek alkalmazása a mérnöki technológiák optimális kiválasztása érdekében. *Multidiszciplináris tudományok*, 3(2): 269–278.
- Molnár S. (szerk.) 2005: *Erdő-Fa hasznosítás Magyarországon. NYME, FMK ISBN 963 936 462 2*
- Molnár S. (szerk.) 2011: *Örök társunk a fa: 2011 az erdők éve. NYME Kiadó, ISBN 978-963-334-009-7*

- Myers F., Fuller R., Crawford RH. 2012: The potential to reduce the embodied energy in construction through the use of renewable materials. In ASA 2012: Building on knowledge, theory and practice: Proceedings of the 46th annual conference of the Architectural Science Association, 1–8.
- Pásztor Z., Rébék-Nagy P., Zajáros A., Börcsök Z. 2016: CO2 Balance of Wood Wall Constructions Compared to Other Types of Wall Structures. *International Journal of Environmental Science and Development* 7(2): 109-112. ISSN 2010-0264
- Petersen A., Solberg B. 2002: Greenhouse gas emissions, life cycle inventory and cost efficiency of using laminated wood instead of steel construction. Case: beams at Gardermoen Airport. *Environmental Science and Policy* 5(2): 169–182.
- Polgár A., Pécsinger J., Horváth A., Szakálosné Mátyás K., Horváth A., Rumpf J., Kovács Z. 2018: Erdészeti technológiák szénlábnyma és előrevetített klímakockázata. *Erdészettudományi Közlemények* 8(1): 227–245.
- Rivela B., Moreira M.T., Feijoo G. 2007: Life Cycle Inventory of Medium Density Fibreboard. *International Journal of LCA* 12(3): 143–150.
- Salazar J., Meil J. 2009: Prospects for carbon-neutral housing: the influence of greater wood use on the carbon footprint of a single-family residence. *Journal of Cleaner Production* 17: 1563–1571.
- Schöberl M. 2004: A fatermékekben tárolt szén hazai civilizációs anyagárama és a klímavédelem. *FAIPAR* 2004/4. pp. 10-14.
- Tóthné Szita Klára 2008: Életciklus-elemzés, életciklus hatásértékelés. Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, Hungary, ISBN: 978-663-661-838-4 185 o.
- Werner F., Richter K. 2007: Wooden building products in comparative LCA. A literature review. *International Journal of LCA* 12(7): 470–479.

## **Eco-balance of Wood**

The text discusses the environmental impact of wood products, with a focus on ecological assessments, life cycle analysis, and carbon footprint. It highlights the importance of considering the entire life cycle of wood products, from resource extraction to disposal. Various environmental impact categories, such as climate change, acidification, and eutrophication, are evaluated in the context of wood-based materials.

The researches emphasize the renewable nature of wood as a raw material and its ability to store carbon for extended periods, making it an environmentally favorable choice. It also discusses how the level of processing and the use of chemicals can affect the environmental profile of wood products.

In the field of construction, the text explores the benefits of wood-based structures, which are found to have lower energy consumption and carbon emissions compared to concrete and steel counterparts. Several studies illustrate that using wood in construction can result in significant energy and carbon savings, making it an environmentally responsible choice.

Overall, the research work underscores the importance of considering the environmental impact of wood products, taking into account their entire life cycle and their potential to mitigate climate change and other environmental issues.

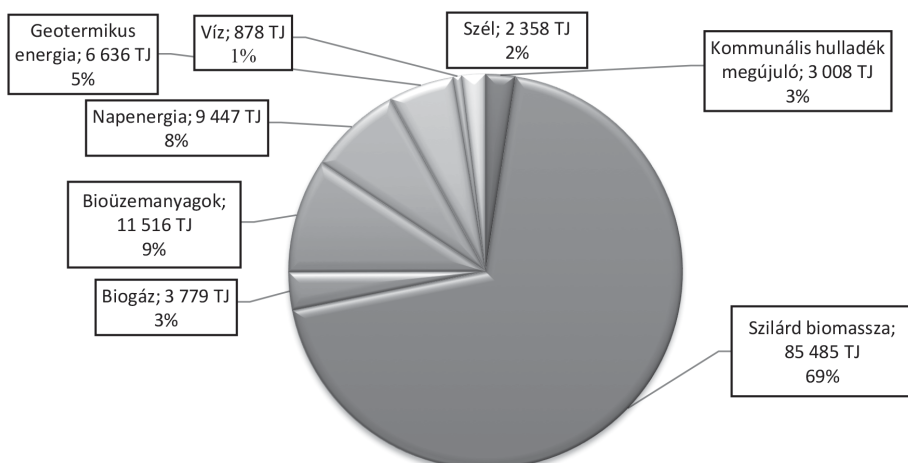
# FAENERGETIKA

Németh Gábor és Kocsis Zoltán

## A faenergetika, a megújuló energetika alapja az elmúlt években

A faalapú energiaforrások a magyar „energiamixen”, és azon belül is „megújulós mixen” belül kiemelkedő szerepet töltek be az elmúlt évtizedben. Számos formában, módon és különösképpen különböző hatásfokkal használták és használják fel jelenleg is villamos energia és hő előállítása céljából.

Korábban az Európai Parlament és az Európai Tanács RED-irányelve Magyarország számára 2020-ra – jogilag kötelező módon – minimum 13 százalékban határozta meg a megújuló energiaforrásból előállított energia bruttó végső energiafogyasztásban képviselt részarányát. Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Tervében (NCST) ezzel szemben a magasabb, 14,65% elérését tűzte ki célul 2020-ra, mely elérése kapcsán határon mozogtunk. Megújuló energiaforrások felhasználásának részaránya a bruttó végső energia fogyasztáson belül 2013-ban már elérte 16,2%, míg 2019-ben már csak 12,6% volt. (MEKH 2020) A 2013-as adatokat kissé beárnyékolja, hogy mindezt úgy értük el, hogy legnagyobb részben villamos energiát állítottak elő fa felhasználásával – helytelenül csak „biomassza erőműként” és nem „dendromassza erőműként” (azaz fás szárú biomasszát felhasználó erőműként) emlegetve –, köztudottan alacsony hatásfokkal (~30–35%), korlátozott kogenerációval.

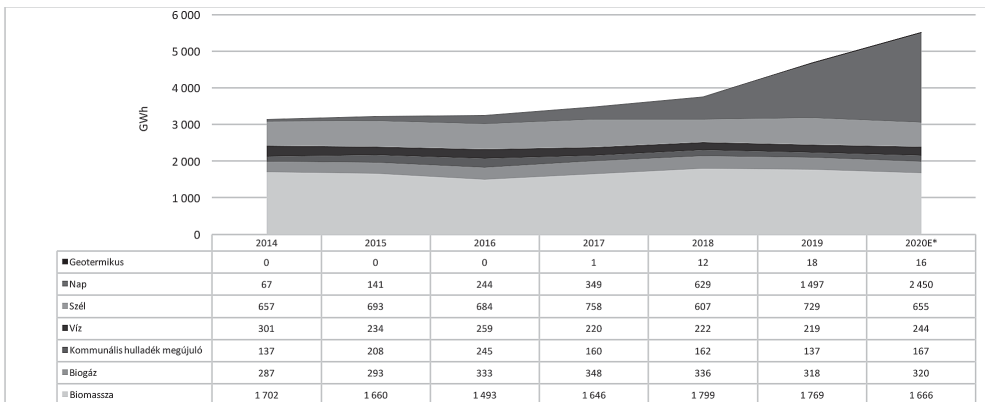


*Megújuló energiaforrások primer energia felhasználása 2020-ban (A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH). Különböző energiatermékek és a primer energiámérleg ellátási adataira vonatkozó előzetes éves adattáblákban publikáltak alapján.)*

Az új, 2030-ra tervezett 32%-os cél ((EU) 2018/2001 irányelv) további feladatokat sürget a politikai döntéshozóknak és a kutatásokban résztvevőknek egyaránt.

A jelenlegi adatok alapján – a megújuló energiaforrások felhasználásán belül, mely ~123 PJ – hozzávetőleg 69% a biomassza részarány, melynek legnagyobb részét a dendromassza alapú anyagok teszik ki, hiszen jelenleg az erőművi rendszereink is elsősorban a fászáru alapanyagokra alapozva működnek.

A következő diagram a megújuló energiaforrások villamos energiatermelési szerkezetét mutatja be, és itt is látható a biomassza dominanciája. Igaz – az utóbbi években a támogatásoknak megfelelően –, a napelemes rendszerek termelési értéke megelőzte a biomasszát.



*Bruttó villamosenergia termelés megújuló energiaforrásokból 2014–2020*

*(Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH) adatai alapján.*

*Különböző energiatermékek és a primer energiamérleg ellátási adataira vonatkozó előzetes éves adattáblákban publikáltak alapján. Összehasonlítási adat: 2020-ban a bruttó villamosenergia-termelés mennyisége 34 924 GWh volt.)*

Meg kell jegyezni, hogy a Magyarországon rendelkezésre álló – nem csupán energetikai célú – teljes biomassza-készletet mintegy 350–360 millió tonnára teszik, melynek közel harmada folyamatosan, évente újratermelődik (Czupy 2013). A kérdés az, hogy ebből mennyi az úgynevezett fenntartható módon energetikai célokra kitermelhető mennyiség. A hivatalos statisztikák alapján tűzifa alapú fakitermelés az elmúlt 10 évben 3–4 millió nettó m<sup>3</sup>/év körül mozgott.

**CO2 semlegesség kérdése a faalapú (biomassza) alapú tüzelőanyagok esetében**

Sokszor találkozhatunk azzal a gondolattal, hogy a fa energetikai előkészítése és felhasználása során felszabaduló CO<sub>2</sub> plusz terhelést nem ró a környezetre – különösen igaz

ez a fosszilis energiahordozókkal történő összehasonlítás esetén –, hiszen a fa hőhasznosítása (közvetlen tüzelés, elgázosítás) „CO<sub>2</sub> semlegesnek” mondható. Az Európai Bizottság 601/2012/EU rendelete alapján is a „biomassza kibocsátási tényezője” nulla (amennyiben tartamos erdőgazdálkodásra létrehozott tanúsítási rendszereket alkalmazó erdőkből származó faanyag felhasználásáról van szó). Az üzemeltető adott esetben számításon alapuló nyomkövetési módszerek használatával külön határozza meg a biomasszából származó CO<sub>2</sub>-t, és levonja azt a CO<sub>2</sub> összes mért kibocsátásából. A fatüzelés során tehát célszerűbb a nettó CO<sub>2</sub> kibocsátás vizsgálata, mely abban különbözik a hagyományos CO<sub>2</sub> kibocsátás értékétől, hogy a fotoszintézis során felvett CO<sub>2</sub> érték levonásra kerül a teljes – tüzelés és egyéb folyamatok során távozó – kibocsátott szén-dioxid értékéből.

Ez a fajta semlegesség feltételezés még a tudományos berkeket is megosztja. A „semlegesség” mítosza abból az általánosságból indul ki, hogy a fa a növekedése során annyi szén-dioxidot használ fel, mint amit elégetése során lead. Ez tulajdonképpen csak megközelítőleg reális gondolkodásmód. Az egyszerű tűzifa felhasználás során azt is meg kell vizsgálni, hogy a teljes életciklus alatt a szén-dioxid egyenleg mekkora.

A dendromassza alapú energiahordozók előállítása (vagy épp keletkezése, hisz melléktermékek esetén nem törekszünk annak előállítására, termék előállítása során „mellékesen” keletkezik) esetén is bizonyos mértékű energiefelhasználás történik. Ennek mértéke nyilván attól függ, hogy milyen kitermelési, előkészítési, szállítási folyamatokat kell elvégezni. Ezek alapján azt is látnunk kell, hogy ezen folyamatok CO<sub>2</sub> kibocsátással járnak, így a dendromassza alapú energetikai alapanyagok esetén is csak fenntartásokkal kezelhető a CO<sub>2</sub> semlegességének „mítosza”. Igazabb azon megállapítás, miszerint a fa „közel CO<sub>2</sub> semlegesnek” tekinthető. Annyi biztos állítható, hogy a legtöbb energiahordozóhoz képest jóval környezetkímélőbb módon tudjuk előállítani a faalapú energetikai nyersanyagunkat.

Összességében elmondható, hogy a megújuló energiák – és ezen belül a bio- és a dendromassza – hasznosításával az üvegházhatást okozó gázok kibocsátása csökkenthető. Az üvegházhatást okozó gázok esetén nem csak a CO<sub>2</sub>-re kell gondolni, hiszen fontos szerepet játszik emellett például még a metán (CH<sub>4</sub>), a nitrogén-oxidok (NO<sub>x</sub>), a halogénezett szénhidrogének is. Ez utóbbiak (hidrofluorkarbon – HFC; perfluorkarbon – PFC; klórfluorkarbon – CFC) az üvegházhatású gázoknak egy olyan részét képezik, melyek a természetben nem fordulnak elő. A legnagyobb mennyiségben jelenlévő szén-dioxidhoz viszonyítva koncentrációjuk jóval kisebb, ugyanakkor több ezerszeres, de akár több tízezerszeres üvegházhatást is előidézhetnek.

A fa tüzelésével és a (nettó) CO<sub>2</sub> kérdéskörrel összefüggésben számos külföldi publikáció látott napvilágot, elég eltérő számokkal. Elsősorban a villamos energia termelésre vonatkozóan vannak használható eredmények. Azonban az alap tüzelőberendezések hasonlósága miatt ezen eredmények a hőtermelésre is jól adaptálhatók a megfelelő hatékonyságbéli különbségek átszámításával.

A faalapú energetika alapanyagok EROEI (Energy Returned On Energy Invested) értékének meghatározására irányuló korábbi kutatás (Németh 2014) alapján Magyarországon mintegy 2–4 tCO<sub>2</sub>e/TJ nettó kibocsátással számolhatunk (hasított, valamint

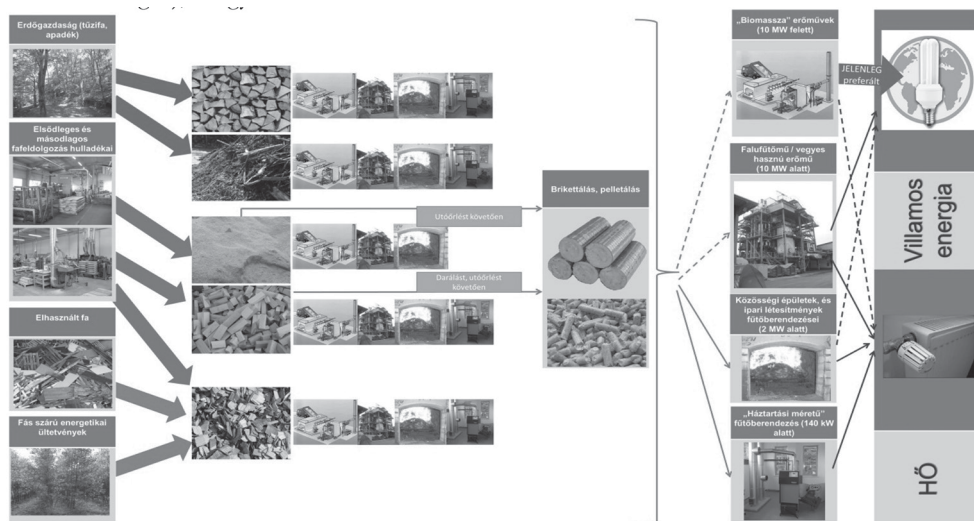


erdőről és ültetvényről származó aprított tűzifa esetén). Mivel a saját értékeket az irodalmi értékek is alátámasztják, ezért a saját számításokat és a magyarországi sajátosságokat figyelembe véve a faalapú energetikai alapanyagok kibocsátása esetében  $4 \text{ tCO}_2\text{e/TJ}$  értéket célszerű figyelembe venni. Számítások során természetesen fontos figyelembe venni a tüzelőanyag összetételét, illetve azok tüzeléstechnikai paramétereit, melyek együttesen befolyásolják a termelhető energia mennyiségét.

## Faenergetika „sokszínűsége” napjainkban

A faalapú energiaforrások egyes típusainak energetikai hasznosítására racionális és kevésbé racionális megoldások is kínálkoznak. Az ésszerű, gazdaságos, de legfőképpen környezetkímélő és fenntartható megoldásokat kell azonban minden esetben preferálni. Annak meghatározása, hogy mely felhasználási irány (pl.: „biomassza erőmű”, falufűtőmű) tekinthető a fenti szempontok alapján preferálandónak, sokszor társadalmi, (fa) ipari és energetikai viták tárgyát is képezi.

A dendromasszából elég változatos méretű és kivitelű berendezésekkel tudunk előállítani hőt (és villamos energiát), ahogy az a mellékelt ábrán is látszik.



*Faalapú energiahordozók jellemző, leggyakoribb felhasználási területei, javasolt teljesítménytartományok (saját szerkesztés)*

## A pellet a jelen és a jövő faalapú energiahordozója

Az utóbbi 10 évben Európa-szerte újabb és újabb pelletgyárak épültek, és a pellet fogyasztás ez idő alatt kb. tízszeresére nőtt az EU-ban. Magyarországon is az elmúlt 10 évben megnövekedett az igény a pellet iránt. A pelletfűtés sajnos hazánkban még nem elterjedt, ezért a működő gyártó üzemek termelésük komoly hányadát (70–80%) egye-

lőre külföldi piacokon értékesítik. Magyarországon jelenleg 1–2 tonna/óra kapacitású pelletüzemek működnek rentábilisan.

A pellet, mint megújuló energiaforrás az eléghető szilárd anyagok egyik „legnemesebb” formája, nem véletlenül hívják úgy a folyamatot, hogy a por-forgács alapanyag energetika nemesítése történik tulajdonképpen. A pelletek kialakítása és mérete kedvező a jó hatásfokkal üzemelő kis és közepes méretű, alapvetően lakossági energiatermelő berendezésekhez. A pellet helyigénye mintegy negyede a jó kitöltési fokkal rendelkező aprítéknak. Adott térben így a szilárd tüzelőanyagból a legtöbb energiát tudjuk tárolni. A szállítás, feltöltés, adagolás igen kényelmesen megoldható. Kényelmi szempontból a pellettüzeléses rendszerek alig térnek el a korszerű gázüzemű rendszerektől. A pelletkazan technológiai szempontból versenyképes alternatívája a gázkazánoknak, mivel azokkal megegyező automatizáltságuk megoldott, így az úgynevezett komfortfokozata is hasonló. További előnye, hogy a pellet tárolása kevesebb biztonsági előkészületet igényel, kisebb kockázatokkal jár, mint a földgáz ez pedig egy családi ház esetében szintén komoly érv lehet a pellettüzelés mellett. A keletkező hamu mennyisége, ha megfelelő minőségű, kérget nem tartalmazó fapelletet használunk, akkor nem haladja meg a 2%-ot (m%), így a hamu ürítése sem túl problémás, nem csökkenti számottevően a komfortélményt. A mostani modern pelletkazanok 90–95% körüli hatásfokkal dolgoznak. A kis és közepes energiaigényt színvonalasan ellátó rendszerek sorában a pellettüzelés versenyképes tüzelőanyag a pellet viszonylag magas ára ellenére és nagymértékben hozzájárul a biomassza, a melléktermékek, hulladékok hasznosításához, a környezetre káros CO<sub>2</sub> kibocsátás csökkentéséhez.

Hazánkban a pelletgyártás leggyakoribb alapanyagának a faalapú por-forgácsok tekinthetők. A pelletálás átlagos villamos energiaszükséglete kutatásaink alapján (Németh et al 2012) 100–250 kWh/tonna (360–900 MJ/tonna). Szárítás esetén ez természetesen kiegészül a szárítási hő előállításához szükséges energiával. Abban az esetben, ha például 30–35%-os nedvességtartalmú alapanyagot kell leszáritani 10–13%-ra, akkor ehhez 250–300 kWh/tonna (900–1080 MJ/tonna) hőmennyiség szükséges, melyet például földgáz vagy saját apríték felhasználással állíthatunk elő. Ha az alapanyag nedvességtartalma 50% körül van, akkor ehhez mintegy 600–660 kWh/tonna villamos energiafelhasználás társul (2160–2380 MJ/tonna). Fontos, hogy a pelletálásra kerülő frakciók nedvességtartalma optimálisan 10–13% körül legyen (Kocsis & Csanády 2014).

Számos kérdés vetődik fel tehát azzal kapcsolatban, hogy pelletek esetén milyen energiaráfordítással állítjuk elő az energiatermelő egységek számára befogadható formában az alapanyagot. A fás szárú energetikai alapanyagok esetén az ún. EROEI-szám általában 3–45 között mozog. Ez azonban nagymértékben függ attól, hogy az energiamérlegek készítésénél mit veszünk figyelembe. Egy energiaültetvény esetén a kezdeti termőföld megmunkálásától a kazánhoz történő beszállításig viszonylag egyszerűen fel lehet ezt térképezni (Vágvolgyi et al 2012), egy erdő esetén a több tízéves vágásforduló alatt az ilyesfajta nyomon követés már nehezebb, sokkal pontatlanabb eredményt hoz. Pelletek esetében az EROEI-érték 8–25 közé tehető attól függően, hogy alkalmazni kell-e szárítást vagy sem, és hogy milyen alapanyagunk és technológiánk van. Ez az érték megint

viszonylagos, hiszen nem számoltunk ebben az esetben azzal, hogy a pellet alapanyagul szolgáló por-forgácsot „elő is kell állítani”. Mivel ez a faipari megmunkálások mellékterméke, ezért a forgácsolás során bevitt energiát az előállított faipari termékhez rendelhetjük. Ha a keletkező melléktermék arányában a rá eső energiafelhasználást is figyelembe vesszük, akkor ez a szám máris 4–6 EROEI-értékre esik vissza. Ha az erdészeti telepítést, gondozást és kitermelést is hozzávonnánk, természetesen ez a szám tovább romlana. (Németh et al 2013).

Összeségében elmondható, hogy a pelletpiac tekintetében a legerősebb mozgatórugó a gazdaságosság és a pellet környezetbarát volta. A legnagyobb hátráltató az ellátás biztonságának kérdése, az elosztóhálózat hiánya, továbbá a nagy beruházási költség. Fel kell ismerni azonban, hogy a pellet egy olyan kompromisszumot jelent a jelenlegi és a jövőbeni energia piacon, amely köztes megoldásként ötvözi a gáz kényelmét a természetes megújulással és ezáltal környezetbarát módon, gazdaságosan gondoskodik az emberiség jövőjéről.

### **Brikett vagy pellet gyártás?**

Érdekes kérdéseket vet fel a gyakorlatban az, hogy egy adott – elsősorban faipari – vállalat brikettáljon vagy pelletáljon. A döntés egy soktényezős folyamat eredménye. A gazdasági és önköltségszámításoknál számos befolyásoló tényezőt kell alapul venni, mint pl. a tervezett termelési kapacitás, az alapanyag ára, a logisztikai költségek, a gyártás során felmerülő költségek, az állami támogatások mértéke, a termék földgázhoz viszonyított versenyképes eladási ára, ill. egyéb állandó és változó költségek. A nagyobb termelési kapacitás alacsonyabb önköltségi szintet eredményez. Általánosságban elmondható, hogy ha saját célra szeretnénk nemesített fűtőanyagot előállítani, akkor a brikettálás a javasolt a kisebb fajlagos energiaigénye miatt. Ha pedig piaci oldalról vizsgáljuk a kérdést, akkor mindenképpen pelletáljunk a magasabb komfort fokozata és a felvevőpiaci igények miatt.

Néhány döntést elősegítő tény:

- A brikettgyártás fajlagos energiafelhasználása (szárítás nélkül 50–100 kWh/t) azonos gyártási kapacitás mellett közel a fele a pelletgyártásénak (szárítás nélkül 100–250 kWh/t), így olcsóbban állíthatunk elő egységnyi készterméket.
- Az üzemeltetési és beruházási költségek alacsonyabbak brikettálás esetén, ha megfelelő rendszert választunk a rendelkezésre álló alapanyaghoz.
- Brikett esetében kissé nagyobb nedvességtartalom ( $u=15-20\%$ ) és nagyobb frakcióméret (2–6 mm) is megfelelő, így akár az utánaprítás is elkerülhető.
- Brikett a hagyományos „hasábfás” tüzelőberendezésben is felhasználható, ellentétben a különleges égőfejet igénylő pellettüzeléssel.

### **Decentralizált erőművi rendszer a faenergetika jövője?**

Köztudott, hogy sokféle típusú és méretű dendromassza alapon működő hőtermelő egység működött és működik jelenleg is szerte a világban. Általános jellemzőjük, hogy a tüzelés során különböző környezeti hatások forrásainak kell ezeket tekinteni. Legjel-

lemzőbb környezetszennyező közegnek – számos egyéb mellett (pl: zaj, hamu, alapanyag beszállításból adódó környezeti terhelés, stb.) – a füstgázt tekintjük. A Soproni egyetemen évtizedek óta történnek kutatások a faalapú tüzelés jelentősége és környezeti hatásai kapcsán.

A jó hatásfokú és reálisan működő erőművi rendszerekkel összefüggő különböző scenáriók a decentralizált faalapú energiatermelés kialakítását tekintik megoldásnak annak kapcsán, hogy nagyobb hatásfokú legyen a jelenlegi faalapú energiaelőállítás. Ugyanakkor azt is tudni kell, hogy jelenleg Magyarországon egyes becslések alapján közel 700 ezer háztartás (Szilágyi 2014) alkalmas arra, hogy részben vagy teljes egészében fatüzelésből állítsa elő azt a hőt, amire szüksége van. Sokáig nem volt arra irányuló összehasonlító kutatás, hogy decentralizált erőműveknek és a lakossági tüzeléseknek milyen környezeti hatásai vannak. A jelenlegi centralizált és decentralizált erőművek esetében a kötelező jellegű mérések, vizsgálatok miatt alapadatok rendelkezésre állnak – elsősorban a füstgázra vonatkozóan –, ugyanakkor ez a kisteljesítményű háztartási rendszerekre már nem igaz. A magyar jogi szabályozásban a kisteljesítményű (140 kW<sub>th</sub> alatti) berendezések esetén nem kell mérni az elsődleges környezeti terhelést okozó tényezőt, a füstgázt. Az ilyen kisteljesítményű berendezések esetében a füstgáz bemérése jó esetben is csak az adott kazántípus forgalomba hozatala előtti minősítési, osztályozási eljárás során egyszer történik meg.

Jelenleg is folyamatban lévő vizsgálataink arra irányulnak, hogy a dendromassza alapú energiatermelés miként hat a környezetünkre, és milyen összefüggések vannak az energetikai célokra előállított alapanyagok és az emissziók között a kisteljesítményű kazánok esetében. A kutatás első lépéseként a különböző fafajtából készült pelletek tulajdonságai, a tüzeléstechnikai paraméterek, valamint a környezeti terhelések közötti összefüggések kerültek meghatározásra, míg második lépésben egy általános pellet tüzelésű kazán segítségével elvégzett tüzeléstechnikai vizsgálatok kerültek előtérbe különös tekintettel a tüzelés során keletkező károsanyag-kibocsátás és a pellet tulajdonságainak összefüggéseire. A kutatás mérési eredményei alátámasztották azon korábbi feltevéseket, hogy az alapanyag nagyon nagy mértékben befolyásolja a tüzeléstechnikai paramétereket (pl: levegőszükséglet, kialakuló tűztéri hőmérséklet) és a károsanyag kibocsátást. Ez általánosságban mindenféle dendromassza alapú kazánra igaz (Németh 2014).

A további vizsgálatok során összehasonlításokat lehet majd végezni, arra vonatkozóan, hogy egy kazán esetében a különböző fafajból készült pelletek tüzelésekor van-e valamilyen változás a károsanyag kibocsátásban. Az eddig egy kazánon végzett vizsgálattal maximum az adott tüzelőberendezést lehet „minősíteni”, messzemenő következtetéseket nem szabad egyenlőre levonni. Nagyon fontos, hogy a nagyobb hőtermelő rendszerekkel összehasonlítsuk a kisebb teljesítményű háztartási berendezéseket (természetesen fajlagos értékeket figyelembe véve), hiszen egy adott méretű kazán, energiatermelési megoldás környezeti hatásait sokkal szemléletesebben lehet ily módon elemezni. Kiemelt célunk tehát, hogy lehetőséget találjunk a többféle pellet paraméter vizsgálatára is hiszen az alapanyagok részletesebb megismerésével pontosabb összefüggéseket kapunk a károsanyag kibocsátás és az alapanyag jellemzői között. Kimondottan fontosnak tartjuk a hamutar-

talom és a hamuolvadáspont, valamint a károsanyag kibocsátás közötti összefüggések feltérképezését.

### Falufűtőmű, vagy egyéni lakóház fűtés

Sokszor felmerül szakemberek részéről is, hogy vajon a környezetszennyezés oldaláról melyik a jobb megoldás. Ha például 500 családi ház saját maga oldja meg tűzifával a saját fűtését, vagy egy a – lakóházaktól kb. 0,5–1 km-re teleptett – erőmű segítségével távfűtés formájában teszik mindezt. A teljesség igénye nélkül egy – részben saját méréseken alapuló – gyors előzetes elemzést elvégezve az alábbiakra jutottunk.

Egy 1100 lakás ellátását végző (ezzel mérettel 500 közepesen szigetelt családi ház hő szükséglete is fedezhető) távhő szolgáltatót alapul véve a 3 MW névleges hőteljesítményű hőtermelő egységhez az alábbi emissziós értékeket tartoznak.

#### 3 MW-os általános dendromassza alapú fűtőmű emissziós értékei

Szennyező anyag	Mért érték [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Számított emisszió [kg/h]	Egy házra vonatkozó emisszió [kg/h]
Szén-dioxid	13%	1505	3,01
Szén-monoxid	240	1,4	0,0028
Nitrogén-oxidok	290	1,7	0,0034
Kén-dioxid	6	0,035	0,00007
Szerves anyag	4	0,028	0,000056
Szilárd anyag	13	0,073	0,000146

#### 33 MW-os általános dendromassza alapú fűtőmű, és egy háztartási méretű kazán éves emissziós értékei

Szennyező anyag	Egy házra a vonatkozó éves emisszió távhő esetén (üzemidő: 4320 óra, nyári melegvíz ellátással együtt) [kg]	Saját mérések alapján megadott emisszió egy családi ház méretű kazán esetén (üzemidő 2160 óra, nyári melegvíz ellátás nélkül) [kg]
Szén-dioxid	13003	40716
Szén-monoxid	12,096	12,312
Nitrogén-oxidok	14,688	47,088
Kén-dioxid	0,302	1,123 (maximális érték, alsó mérési határ figyelembevételével)
Szerves anyag	0,242	n.a.
Szilárd anyag	0,631	14,040

**3 MW-os általános dendromassa alapú fűtőmű, valamint egy -háztartási méretű kazán, és egy, az általunk vizsgált teljesítményű tüzelőberendezéshez hasonló, de régebbi, elavultabb berendezések irodalmi emissziója (Sjjak Van Loo, Jaap Koppenjan 2013)**

Szennyező anyag	Egy házra a vonatkozó átlagos emisszió távhő esetén (előző táblázat adatai) [kg/h]	Saját mérések alapján megadott emisszió egy családi házat ellátó automatikus adagolású, korszerű vezérléssel ellátott pelletkazán esetén [kg/h]	Irodalmi értékek egy családi ház méretű nem automatikus 80'-90'-es évekbeli kazán emissziójára* [kg/h]
Szén-dioxid	3,01	18,85	n.a.
Szén-monoxid	0,0028	0,0057	0,09–0,45
Nitrogén-oxidok	0,0034	0,0218	0,018–0,027
Kén-dioxid	0,00007	0,00052 (maximális érték, alsó mérési határ figyelembevételével)	n.a. (Kezeletlen fa tüze-lése esetén az irodalmak nem mindig veszik figyelembe)
Szerves anyag	0,00006	n.a.	0,009–0,054
Szilárd anyag	0,00015	0,0065	0,009–0,045
Érdekességként a légszennyező tényező értéke, mely egy fontos mérőszáma a tüzeléstechnikai paramétereknek	-1,7	-1,6	2-4(!)

Alapból egy modern, kis károsanyag kibocsátású háztartási méretű rendszer került bemutatásra, ugyanakkor jelenleg Magyarországon nem ez a helyzet áll fenn. Sok kevésbé korszerű, több tíz éves, szabályozatlan dendromassa alapon működő kazán van üzemben még ma is, melyek az általunk mért károsanyag kibocsátási értékek több tízszeresét is elő tudják állítani. Ezért is szerepel összehasonlításként.

Az is tény, hogy amíg a táblázatban lévő távhő estén télen 5–6 hónapnyi – nyilván folyamatosan nem csúcsterhelésű folyamatos üzembről – közel állandó és jól kontrollálható emisszióról – beszélünk, addig az „otthoni” kazánok esetén ez már korántsem mondható el. Ennek oka, hogy egy nap akár többször is indítják, leállítják a kazánokat (pláne régebbi rendszereknél, ahol a puffer tartálynak nyoma sem látható) ami elég ingadozó, rossz emissziós értékeket eredményez összességében. Háztartási kazánokra is igaz, hogy a legrosszabb emissziós értékeket a felfűtés és lehűlés során mérhetjük, hiszen ilyenkor nem beszélhetünk „tökéletes égésről”.

Ezen egyszerű összehasonlító vizsgálat alapján is egyértelmű, hogy jellemzően melyik a környezetkímélőbb megoldás. Esetleges kétségek esetén fontos még végiggondolni, hogy vajon melyik otthoni tüzelőberendezés esetén van szilárd anyag leválasztó a kazán

után, illetve azt, hogy miért tapasztaljuk egyre nagyobb mértékben falusias környezetben is, hogy problémát jelent a megnövekedett szállópor, mely a légúti betegségek melegegágya? Ez utóbbi persze nem csak a fatüzelés hibája, hiszen a szénttüzelés és az közúti közlekedés is domináns forrása a szállópornak.

Természetesen nem az otthoni dendromassza tüzelés környezetromboló hatását kell itt kiemelni, hiszen a fosszilis energia-előállításához képest még mindig környezetkímélőnek tekinthető, hanem azt, hogy ha van jobb, környezetkímélőbb megoldás is a korábban „berögzült” megoldásokhoz képest, akkor azokat merjük alkalmazni. És ilyen lenne a dendromassza alapú decentralizált energiatermelés! Azt is meg kell jegyezni, hogy egy ilyen decentralizált rendszer kialakításával – amennyiben olyan környezetbe szolgáltatjuk a hőt, ahol korábban faalapon egyedileg végezték a tüzelést – nem termelünk ki több fát, hiszen mindkét változatnál közel azonos mennyiségű energiaforrásra van szükség (jelenlegi általánosan használt energiatermelő rendszerek és a hő továbbításának hatásfokát is figyelembe véve).

Természetesen a komplex környezeti hatások elemzése annál sokrétűbbek, minthogy egy ilyen rövid fejezetben ezt ki lehetne fejteni, nem beszélve a beruházásokból és az üzemeltetésből fakadó környezeti terhelésekről (pl.: tüzelőanyag beszállításából fakadó környezeti terhelés).

## Racionális faenergetikai rendszerek a jövőben

Az erdőkből kitermelt tűzifa felhasználás csökkentésének, és ezzel egyidőben a megújuló részarányának növelésének egyik módját lehetne az ültetvényes fás és lágyszárú növények megújuló energia-mixbe történő integrálása.

A fentiek alapján szükséges lenne megvizsgálni az ültetvényes fás szárú növények energetikai alaptulajdonságait és tüzeléstechnikai jellemzőit, valamint fontos lenne a decentralizált – távhő jellegű, pl. falufűtőműves – erőművek racionális modelljeinek meghatározása különös tekintettel a környezeti hatásokra. Ezek segítségével innovatív decentralizált energiatermelési modellek készítésére nyílna lehetőség.

Fontos kiemelni a lakosság és persze a faipar szerepét is a tudatos, racionális és környezetkímélő faenergetika kifejlődése kapcsán, ezért a szemléletformálás mind ipari, mind lakossági téren kulcsa lehet az egész folyamatnak.

## Irodalom

- Czupy I. 2013: Szilárd biomassa feldolgozása, energetikai célú hasznosítása; Értékálló Aranykorona. Országos Mezőgazdasági Szaklap XII(8): 14–15.
- Kocsis Z. & Csanády E. 2014: A nem-lineáris rheológia alkalmazása a faalapú anyagok pelletálásával, tömörítésével összefüggésben. I. kísérleti rész. FAIPAR 62(1): 1–8.
- Németh G. 2014: Kisteljesítményű, faalapú pellet tüzelő berendezés környezeti hatásainak vizsgálata I. rész: A pelleték dimenzióinak, fizikai és mechanikai tulajdonságainak meghatározása. FAIPAR 62(2): 18–26.

- Németh G., Kocsis Z. & Varga M. 2012: Energy Balance of Pelleting of Wood Based By-product. TRIESKOVÉ A BEZTRIESKOVÉ OBRÁBANIE DREVA. Technical University Zvolen, 247–253.
- Németh G., Varga M. & Tóth B. 2013: Dendromassa alapú energiaforrások jelentősége és hasznosítása Magyarországon. Energiagazdálkodás: Az Energiagazdálkodási Tudományos Egyesület szakfolyóirata 54(6): 14–17.
- Sjjak V. L & Jaap K. 2013: Biomass Combustion & Co-firing, Earthscan. UK.
- Szilágyi Zs. 2014: Háztartások: földgáz- vagy fatüzelés? Víz, gáz, fűtéstechnika: épületgépészeti szaklap 14(1-2): 16–19.
- Vágvölgyi A., Czupy I., Kovács G., Heil B., Horváth B. & Szalay D. 2012: The mechanical-technological modelling and the expected yield of wood energy plantation; Magyar Tudományos Akadémia Agrár Műszaki Bizottság idegen nyelvű kiadványa Hungarian Agricultural Engineering 12(24): 53–57.

## **Wood Energetics**

In Hungary, within the biomass-based energy mix, dendromass holds a significant share, approximately 80%. There are two basic sources of wood combustion. One is directly harvested firewood from forests, while the other is wood-based byproducts generated during wood industry production, which hold great importance in the energy solutions of companies. Many enterprises aim to increase energy efficiency and employ renewable energies in both production and utilization of byproducts. A distinctive and unique characteristic of the wood industry is that it partially sources its energy needs from external sources, and another part is obtained by burning secondary raw materials (windfall, chips, shavings, bark, etc.) generated during production. About two-thirds of the waste/byproducts generated in the wood industry are energetically utilized on-site (to cover infrastructure and technological heat requirements). Almost exclusively, we can discuss the production of thermal energy in this context, although in several cases, it would be economically viable to produce combined electrical energy, which would partially or entirely meet the facility's electricity demands.

Amidst the current energy crisis, there has been a substantial rise in demand for wood-based fuels. It is important to use only materials for combustion purposes that adhere to the principles of circular economy and sustainability.



# FAANYAGOK RAGASZTÁSA ÉS FELÜLETKEZELÉSE

Csiha Csilla

## A ragasztó és felületkezelő anyagok előállításának kezdetei

A faanyag ragasztásának és az első anyagfejlesztéseknek a kezdetei magyar vonatkozásban egészen a hunokig nyúlnak vissza. A többrétegű íjakat kazeinenyvvvel, rétegragasztással készítették. Bár ezek a természetes alapú ragasztók érzékenyek a nedvességre, de nincs kúszásuk, ezáltal az íjak megőrizték ragasztás utáni alakjukat és nem veszítettek lövőerejükből a sokszoros igénybevétel hatására sem. A fa felületkezelésének gyökerei a népi bútorkészítésig követhetők vissza. A Kárpát medencében a kevésbé hegyes vidékeken, 300 m-es tengerszint feletti magasságig megtermő közönséges dió (*Juglans regia*) zöld héjából barna főzetet készítettek, amely a napsugárzástól sem fakul ki, így alkalmas volt ajtó és ablakkeretek sötétbarnára pácolására. Innen ered a parasztporták jellegzetes színegyüttese: fehérre meszelt falak, sötétbarna ablak és ajtókeretek, sötétbarna bútorok. A felületek sérülésekkel szembeni védelme érdekében a fenyvesekkel övezett térségben fenyőgyanta és méhviasz felhasználásával úgynevezett gyintárt, gyantárt vagy egyes feljegyzések szerint gyontárt készítettek, amelyet melegen kellett felhordani a fa felületekre és lehűlés után lakkszerű védőréteget képezett. A reneszánsz idejére tehető a népi festett bútor kialakulása, ahol a különböző ásványokat porrá őrölve, kötőanyagként tehéntúróból és oltott mészből kevert kazeinenyvvvel vagy néha gyintárral „megkötve” egy „festéknek” nevezhető anyagot állítottak elő, amivel ládákat, bútorokat „virágoztak”, majd a díszítő festést védőréteggént szintén gyintárral vonták át.

## Az ipari ragasztó és felületkezelő anyag fejlesztés és gyártás kezdetei

A korai, ipari jellegű ragasztó és felületkezelő anyag kutatás-fejlesztések az 1800-as évek végén jelentek meg a történelmi Magyarországon, jellemzően két módon: nagybefektetők Magyarországra településével, illetve kis családi vállalkozásban, általában valamely lelkes vállalkozó gyakran alkímistákat idéző kísérletezései nyomán. A ragasztó és felületkezelő anyag gyártás kezdeteire az volt a jellemző, hogy a kutatás, fejlesztés „in comitatu”, vagyis az anyagot gyártó cégen belül valósult meg. A Kereskedelmi és Iparkamara 1911-es, Lendvai Jenő titkár által közölt leírásából tudjuk, hogy „az iparfejlesztési program legszarkalatosabb tétele az új gyáraknak messzemenő kedvezményekben való részesítése” lett. A program folyományaként Pierre Lorilleux, aki egyébként, a Francia Királyi Nyomda nyomdászaként megalapította 1818-ban, a világ első festékörlő malomokkal felszerelt nyomdafesték gyárát és a világon legelsőként gyártott nyomdafestéket, 1907-ben létrehozta a Lorilleux-i gyárat Magyarországon is. Jóval később, 1930-ban a Clark és Hartog cégekkel szövetkezve hozták létre az L. C. H. Lakkgyár Rt.-t Albert-

falván, ahol elsősorban a más magyarországi gyárak licencei alapján gyártottak festékeket. Az első saját fejlesztésű, ipari festékörlő malmokkal felszerelt budafoki gyárban meghonosított nyomdafesték-gyártási technológia nagy hatással volt a magyarországi festékgyártás későbbi fejlődésére. Ebből a vállalkozásból nőtt ki a későbbi BUDACOLOR. Az iparosodás éveiben jellemző volt, hogy a faipar és a vonzaskörébe tartozó ipari üzemek nagy többségben Budapesten létesültek. Ennek legfőbb okára Dr. Tóth Sándor világít rá: „a fejlődő Budapest közvetlen közelében, a Duna parton, volt hely a Felső-Magyarországról tutajon érkező szálfák és fenyődeszkák kitárolására. A Budapestről jövő szekerek itt kezdték vásárolni fenyőfaárut.”



*Képeslap 1938-ból, mely magyarul kíván boldog új évet a Lorilleux and Co. nevében, amely a világon legelsőként gyártott iparilag nyomdafestéket. (Fotó: Csiba Csilla, 2023)*

Ugyanakkor kis családi vállalkozások szerte létesültek Nagymagyarországon és akár egyetlen előállított termék forgalmazása során megtermelt haszon is elegendő volt ahhoz, hogy további fejlesztéseket hajtsanak végre, szélesítsék a termékkínálatukat, gyártó üzemé bővíljenek.

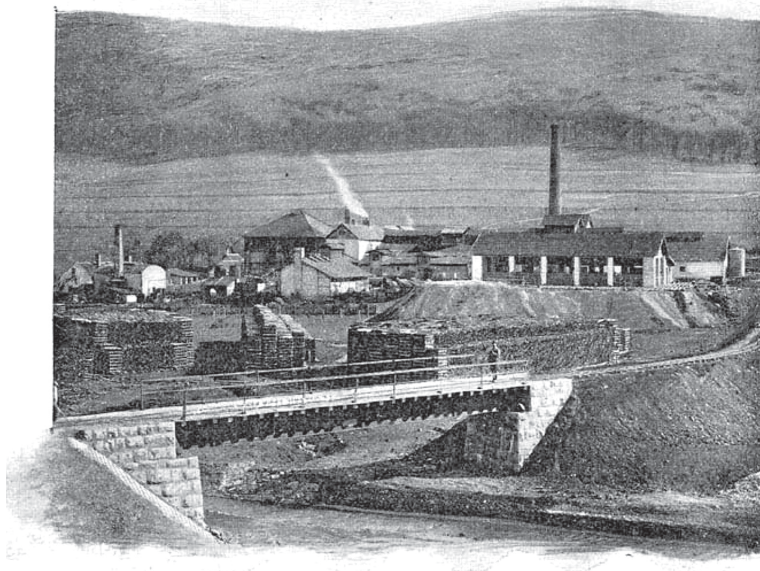
Simongáti Rózsa és Simongáti Győző nyomán a mai Magyarország területén egykor alapított főbb festékipari vállalkozások a következők: „az első ismert magyar lakkgyár az 1865-ben alapított Litschauer és Götz Gyár volt. 1867-ben alapították a Hessel-féle porfestékgyárat, amelyet 1887-ben jogutódként Kurzweil Sándor vett át. 1868-ban ala-

pította lakk- és kencegyárát Maklár Gyula. Müller Ede elsősorban tinták és hasonló termékek gyártását kezdte meg 1867-ben. Horváth Sándor festék- és lakkgyára 1871-től működött. A nagyobb gyárak közül a Kraye-gyárat 1880-ban festékkereskedésként alapította Kraye Emil, amelyet később Kraye Emil és Társa néven jegyeztetett be. A cég több telephelyen működött, míg 1913-ban megvásárolták a Dunasor 11. alatti telket. 1903-ban kezdett termelni a többféle porfestéket is gyártó Dr. Keleti és Murányi Vegyészeti Gyár Újpesten, a Váci úton. 1922-ben az Ellinger Béla–Wagner Vince Egyesült Lakkgyárak Rt. üzemét épített Soroksáron, 1938-ban Izsák József a céget a festékipari termékek mellett háztartásvegyipari cikkekkel is bővítette.



*Festékdörzsölőművek a Lorilleux Ch és Társa budafoki gyártelepéről 1926-ban  
(forrás: A Grafikai Iparágak Fejlődését Szolgáló Magyar Grafika, Szerkeszti és kiadja: Bíró Miklós,  
Hetedik évfolyam, 1926)*

Felvidéki példa Gróf id. Pálffy Józsefé, aki az 1880-as évek elején, a Felsődióson lévő birtokán fatelepet és mellette a fa száraz desztillálásán alapuló vegyészeti gyárat alapított és megkezdte kémiai anyagok kivonását faanyagokból. Termékei: ecetsavas mész, faszesz, acetone, fakátrány, olajok, fagyanta, carbolineum, faszén stb., főként lakk vagy festék gyártásra alkalmas alapanyagok. „Az ecetsavasmész a helyszínén jégezetté, vegyítette eczet-eszenciává, technikai eczetsavvá, a faszesz pedig denaturált faszeszszé és methylalkohollá dolgoztatott” fel. Új technológiák folyamatos bevezetésével a gyár termék kínálata folyamatosan bővült a festékek és lakkok gyártásához szükséges alapanyagokkal. 1929-ben a gyár megkezdte saját festékek és lakkok gyártását. Az 1930-as években a kis vegyi üzem áttért az alapanyag gyártásról a lakkok és festékek – elsősorban nitrocellulóz lakkok, alkoholos festékek és olajok gyártására. Később tovább bővült a kínálat az oldószeres és latex festékekkel.



*Gróf Pálffy József Szomolányi vegyészeti gyára (Forrás: Borovszky, 1904)*

A vízi energiára épülő Első Erdélyi Festékgyár a Vargyas patak völgyében, Lövétén csak időszakosan működött (1903), de 1907-ban már 22 vagon festéket adott el. (Egyed Ákos: Székelyföld története I-III kötet, Magyar Tudományos Akadémia, Bölcsészettudományi Kutatóközpont (MTA BTK, Budapest) Erdélyi Múzeum-Egyesület (EME, Kolozsvár) Haáz Rezső Múzeum (HRM, Székelyudvarhely) Székelyudvarhely, 2016)

A temesvári Gyárvárosban, a Klapka sor (mára: Peneş Curcanul utca) 8. szám alatt alapították 1920. május 27-én 12 000 000 koronás alaptőkével a Temesvári Egyesült Olaj- és Szappanművek Részvénytársaságot, amely kezdetben kenőcsök, zsírok, olajok, gyertyák és szappanok sorozatgyártására szakosodott. Üzembe állítása első esztendejében, 1920-ban 504 003,96 lejes profitot termelt az iparvállalat, amelynek élére igazgatóként 1923-ban Farber Jenő került.

Trianon előtt 27 lakk és festékgyár működött az egykori Nagymagyarország területén, amelyek száma egy átmeneti csökkenés után 1939-re elérte a 31-et (Simongáti Rózsa).

Enyvgyártó vállalkozások kisebb számban létesültek, tovább élt az a hagyomány, hogy a mester az enyv a maga számára elkészítette, megfőzte. Lichtl Károly pesti termény- és papírkereskedő 1830-ban a Csont utcában cukorfinomító üzemet hozott létre, majd 1832-ben 15 évnyi szabadalmat kért a cukorfinomításban a cukor fehéritésére akkoriban használt csontszén (spódium), továbbá szalmiák gyártására. 1834-ben felépítette Pesten spódium gyárát, amely az ország első ilyen jellegű gyára volt. Soroksári úti telepén jelentős mennyiségű hulladékcsontot dolgozott fel, s ez a gyár állított elő Magyarországon először műtrágyát. Amikor a cukorgyártásból a spódiumot kiszorította a kénsav és a csontlisztet sem alkalmazták trágyaként, a vállalat áttért az enyv gyártására, és nevét 1868-ban Első Pesti Spódium és Enyvgyár Rt.-re változtatta. (A Budapesti Vegyiművek

egyik jogelődje.) (Évfordulónaptár, Magyar Kémikusok Lapja, LXXIII. évfolyam, 2018. január) ([https://hu.wikipedia.org/wiki/Budapesti\\_gyarak\\_listája](https://hu.wikipedia.org/wiki/Budapesti_gyarak_listája))

Az Újpesten megindult nagyarányú bőrfeldolgozás nyomán 1860. évben létesült az első Újpesti enyvgyár: a Leiner testvérek enyvgyára, mely az első nagyüzemű enyvgyár volt Magyarországon. A gyár bőrenyvet gyártott és jelentős mennyiséget exportált. 1864-ben létesült Újpest másik nagy enyvgyára, a Leiner Fülöp és Fiai enyvgyár, mely a bőrenyv mellett zselatint is gyártott. ([https://archive.org/stream/nybc314070/nybc314070\\_djvu.txt](https://archive.org/stream/nybc314070/nybc314070_djvu.txt))

1858-ban enyvgyárat alapítottak Szegeden, mely részvénytársasággá alakult Szegedi Enyvgyár Rt. néven és 1913. augusztus 18-án bejegyzésre kerül a gyáripari lajstromba. 1914. február 15-én a „Szegedi Műtrágya és Enyvgyár Rt.” nevet vette fel. 1923. november 14-én a vállalkozás Budapestre költözött. Szegeden fióktelepe maradt, amelyet 1943-ban töröltek a nyilvántartásból. (Történeti – topográfiai Adattár – Gazetteer Szeged)

A kezdeti faipari ragasztó és felületkezelő anyagok fejlesztése és gyártása első sorban a bútorgyártással fonódott össze. A bútorasztalosságot a XIX. század végén, Magyarországon is a specializált, széles körű munkamegosztásra támaszkodó kis családi üzemek jellemezték, melyek döntően Budapesten és az ország népesebb, nagyobb forgalmú városában, a fogyasztói piac és a közlekedési csomópontok közelébe települtek (Hamar, 1984). 1906-ban az asztalosműhelyek számát Magyarországon tizenkétezerre becsülték, ebből a Székelyföldön, a Marosvásárhelyi Kereskedelmi és Iparkamara kerületében, 1913-ban 4 bútorgyártó cég és 646 asztalos kisiparos működött (Tóth S. 1999).

## **A két világháború között**

Azok a fafelületek, amelyekkel a felhasználó közvetlen kapcsolatba kerül, különféle bevonatokat kaphatnak, jellemzően vagy esztétikai megfontolásból, vagy a felület élettartamának növelése érdekében. Az első világháború utáni években a fa felületkezelő anyag gyártás terén nagy volument képviseltek a nitrocellulóz lakkok, amelyek bár viszonylag gyenge mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek (ún. kopásállóság, karcállóság, víz- és vegyszerállóság), de gyártásukra könnyen gyorsan át lehetett állni a nitrát alapú puszkapor gyártásra berendezkedett üzemekben.

Reichhold és Boecking német gyárosok, 1922. december 1-én Győri Lakkgyár Reichhold és Boecking néven lakkgyárat alapítottak. Kezdetben a tulajdonosok bécsi és pozsonyi gyáraikból ideszállított olajokat, olajfestékeket szereltek ki kisebb egységekbe, azonban 1924-ben megkezdték az olajlakkok gyártását a közben megépített lakkfőző üzemben. 1928-ban megindult az olajfestékek és olajzománcok termelése is, 1934-ben megkezdődött a testvérgyárakból kapott recept és technológia alapján a jól bevált szintetikus zománc, a «Durlin» gyártása. Ennek bevezetése után rövidesen újabb jelentős termékcsoportot, a nitrolakkokat kezdték gyártani. Az 1940-es években a gyár hadiüzem volt, jelentős károsodás nem érte. Berendezései hiánytalanul megmaradtak, így a termelés zökkenőmentesen megindulhatott (<https://www.gyorlakk.hu/>).

Az 1930-as évek elején került forgalomba az első szintetikus ragasztóanyag a „Kaurit” melyet karbamidból és formaldehidből állítottak elő. A technika rohamos fejlődése olyan minőségi követelményeket támasztott, amelyeket sem növényi, sem állati eredetű nyelvekkel nem lehetett kielégíteni. A szintetikus ragasztó anyagok kedvezően magas kötési szilárdságot tudtak elérni és olyan ragasztott kötésekkel lehetett létrehozni, amelyek vízzel, gombásodással, penészesedéssel szemben ellenállónak bizonyultak. Ettől az időtől kezdve mind nagyobb teret hódítottak a mesterséges úton gyártott ragasztóanyagok. (Bakay, 1953)

Szegeden a fa magasabb szintű, enyvezett bútor- és repülőgéplemezzé történő feldolgozására létesült a Magyar Általános Hitelbank érdekkörébe tartozó üzemként a Szegedi Lemezgyár és Faipari Rt., amely a volt Spodium és Enyvygyár Rt.-től 1940-ben megvásárolt 10 ezer m<sup>2</sup>-es telken (a Rókusi Feketeföldek 140. sz. alatt) épült fel 1942-re; berendezéseinek és szállító eszközeinek értéke mintegy 473 ezer pengő volt, 300 dolgozója évi kb. 1100 m<sup>2</sup> készárut termelt. ([https://www.sulinet.hu/oroksegtar/data/telepulesek\\_ertekei/szeged/szeged\\_tortenete/az\\_ipar.htm](https://www.sulinet.hu/oroksegtar/data/telepulesek_ertekei/szeged/szeged_tortenete/az_ipar.htm))

### **Az államosítástól napjainkig**

1948-ban, az államosításkor, a több mint 30 kis lakk és festékgyártó céget öt nagyobb, egymástól független vállalatba olvasztották be: Magyar Lakkfestékipari Vállalat alakult a Krayer cégből Újpesten, Vegyi és Porfestékipari Vállalat alakult a dr. Keleti és Murányi, valamint 5–7 további kisebb cégből, Soroksári (Budapesti) Festékipari Vállalat alakult az Izsák József Rt.-ből, valamint további 8 kisebb cégből. Albertfalvai Lakkgyár (Tinta-és Festékgyár) alakult az LCH Lakkgyár és Müller Tintagyárból, Győri Lakk- és Festékgyár alakult a Reichold és Boeckingből.

1959-ben, egyetlen iparági nagyvállalatot hoztak létre Lakk- és Festékipari Vállalat (LFV) néven. Az LFV 1968-tól a Budalakk Festék és Műgyantagyár néven működött tovább. Az egyesítés előtt és azután is az volt a jellemző, hogy a termékinálat nem kifejezetten a faipari felhasználást célozta, azonban gyártott lakkot és festéket a fa és bútorigények felületkezelés céljaira is. 1961-ben modern festékipari nagyberuházásként, megépült a Tiszai (vidéki) Vegyi Kombinát festékgyára. Kapacitása elvben 10 ezer t/év volt, melynek kihasználásához az LFV-nek 6000 t festék gyártásának átadásával kellett hozzájárulnia. A Tiszamenti Vegyiműveknél, 1968 júliusában porfestéküzem kezdte meg a termelést. Az új üzem a Budalakk porfesték- és szerves pigmentek gyártási profilját vette át. Az 1989-es társadalmi rendszerváltás után megindult privatizációs folyamat keretében 1996-ban a pigmentüzemet a Holland Colours/Appeldom számára értékesítették (Próder I. 2014)

Az 1980-as évek közepén, a Celldömölkön működő „Celli festék” Kft. fejlesztett elsőként hulladék növényi olaj felhasználásával selyemfényű festéket Cellcolor néven. A magyar Polifarbe szintén a 80-as évek végén elsőként fejlesztett és dobott piacra vizes lazúrt Titalux néven. A céget a 2020-as évek környékén megvette a lengyel SNIEZKA Zrt, amely folytatja a gyártást, de már főként Lengyelországban. Napjainkban a Festékbázis Zrt. maradt az egyik legnagyobb hazai tulajdonban lévő és magyar fejlesztőket, családó-

kat foglalkoztató festékgyártó vállalkozás, amely FACTOR néven kínál fára kültéri lazúr rendszereket és beltéri felületkezelő anyagokat. 2015 körül Turi László vegyész és csapata kifejlesztett egy olyan kültéri bevonatot, amely együtt nyúlik a fával (szakadási nyúlása 400%), úgy viselkedik, mint a fa bőre, a víztől megvédi a fát, de magas (TÜV, KERMI). páraáteresztő képességgel rendelkezik. A Magyar-Lakk szintén jelentős gyártó, első sorban fémfestékeket gyárt, amelyek fafelületek kezelésére is alkalmasak, továbbá lazúrokat, célzottan fára. A 100%-ban magyar tulajdonban lévő vállalkozás 1994-ben kezdte meg működését, jelenleg 3 telephelyén, közel 100 családnak biztosít megélhetést, fejlesztőik kiaknázzák az UV- és a nanotechnológia által nyújtott előnyöket is. Az 1000 tonnát is meghaladó termelésük nagy része külföldön kerül értékesítésre. A Szolvey Vegyipari Kft. 1991-ben családi vállalkozásban kezdte meg vizes diszperziós faipari ragasztók gyártását, melyeket osztrák, német és olasz alapanyagból gyárt, a bútóripar számára. Napjainkban MDI-t – a PUR tartószerkezeti ragasztók alapanyagát Magyarországon gyártja a Borsodchem, és jelentős mennyiségben exportálja.

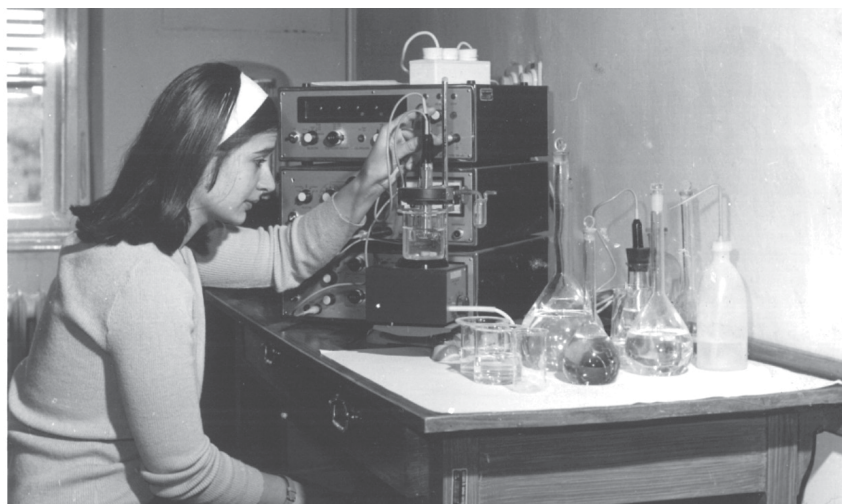
Az elcsatolt területen, Pálffy Gróf Szomolányi gyárában, az államosítás után „1950-ben elkezdődött az alkid gyanták gyártása. 1968-ban lett használatra átadva az új gyár Szomolányban, 40 000 tonna éves gyártási kapacitással ellátva. A 80-as években új gyantagyártó telepet építettek fel a legújabb technológiával felszerelve. Folyamatos kutatás-fejlesztés eredményeként alakult ki a jelenlegi termék kínálat, melyet részbe a faipar számára gyártott festékek, műgyanták, ragasztók, hígítók és segédanyagok alkotnak. A privatizáció első hullámában a CHEMOLAK 1992-ben részvénytársasággá alakult át.” (<https://chemolak.hu/rolunk>)

A Temesvári Egyesült Olaj- és Szappanművek Részvénytársaságot 1948-ban államosították. 1999-ben az 1925-ben Temesváron Jancsiként született Farber John visszaigényli a csödbe jutott Azúr gyárat és a New Yorkban 1952-ben kolozsvári vegyész-mérnöki diplomával megalapított ICC Corporation vegyészeti cége leányvállalataként felvirágoztatja. Története egyike a legsikeresebbeknek a lakk és festékgyártás területén: 2015-ben a „Forbes” John Farber valós idejű vagyonát 2,1 milliárd dollárra számolja. Az ICC tulajdonosa 90 évesen a 324. helyen állt a leggazdagabb amerikaiak Forbes 400-as listáján, 8. a „self made” kategóriában és egyike annak a 39 milliárdosnak a 400-ból, akik nem Amerikában születtek, de „beteljesítették az amerikai álmot”.

A fenol-formaldehid gyanta volt az első nagyiparilag alkalmazott szintetikus anyag, melyet elsőként a faiparban, furnérlemezek gyártásában, később a repülőgépgyártásban – műgumival kombinálva – fémek ragasztására is alkalmaztak. Az 1950-es években kezdte meg térhódítását az epoxigyanta, amely kiváló szilárdsági tulajdonságain túl könnyű alkalmazhatóságának és 100%-os szárazanyag tartalmának köszönhetette sikerét (Farkas, 1997)

Miközben a különböző lakk-, festék- és enyvgyáraknál tovább folytatódtak a termék- és gyártásfejlesztést célzó kutatások, 1950-ben a Faanyagvizsgáló és Fagazdasági Intézetet Faipari Kutatóintézeté alakították és ezzel intézményesült a faipar különböző ágazatait támogató kutatás-fejlesztés. Az 1957–58. tanévben megkezdődött az önálló faipari mérnökképzés a Soproni Erdészeti és Faipari Egyetemen és az oktatással párhuzamosan megindult a kutatásfejlesztés is. Mind a Faipari Kutatóintézet munkatársai, mind az

egyetem oktatói-kutatói egyaránt végeztek alap és alkalmazott kutatást a faanyag ragasztása és felületkezelése terén, főként az újonnan létrehozott állami bútorgyárak számára. Az 1963-ban alakult Építésügyi Minőségvizsgáló Intézet szakvéleményezést, vizsgálatot és kutatást csak a ragasztás és felületkezelés egy kis szeletét érintő ajtó- és ablakgyártás terén folytatott. A fafelületek lakkozása, felületkezelése, borítása és ragasztással való egyesítése terén az újonnan létesített bútorgyárakban számos jelentős kutatási terület nyílt meg. Az anyagok nagyon munka és időigényesek voltak, a háború előtti időszakból még mindig elterjedten használatban volt a jelentős kézi munkát igénylő sellak politúr, amelynek fejlesztése illetve kiváltása volt az egyik fő kutatás-fejlesztési feladat, mivel jelentős gátat szabott a bútoripari sorozatgyártásnak. A kutatások és fejlesztések egyaránt kiterjedtek politúrozó gépek fejlesztésére, illetve az anyag kiváltására. Dr. Molnárné Posch Paula 1963-tól vezette azokat a gyakorlatközpontú – a bútoripar számára végzett kutatás-fejlesztéseket, amelyek a nitrocellulóz lakkok sorozatgyártásba illesztését célozták. Az anyagfejlesztések gyártói oldalon maradtak, első sorban technológia fejlesztések történtek. Dr. Molnárné Posch Paula alkalmazott kutatás keretében közreműködött a lakkszáritó alagutak technológiai paramétereinek kidolgozásában, a lakkszáritási folyamat kifejlesztésében, lehetővé téve a nitrocellulóz lakkok száradásának gyorsítását, illesztését a sorozatgyártáshoz. Másrészt a forgácsológyártás fellendülése igényelte a nagy mennyiségben gyártott, nagyfelületű lapok bútorgyártás céljára való alkalmassá tételét, a fafurnérral való borítás olcsóbb megoldásokkal való kiváltását, különböző bevonó anyagok fejlesztését. Németh és Posch (1978) arról számolnak be, hogy a törekvés két irányba fejlődött: egyrészt a papíralapú (papírváz), másrészt a műanyagalapú borítóanyagok gyártása felé. A borítási technológia során számos megoldásra váró fizikai, kémiai és mechanikai probléma merült fel.



*Hanczár Magdolna kísérleteket végez a PVC fóliák ragaszthatóságának vizsgálatára című szakdolgozatához 1977-ben a Bútorgyártás Tanszéken. (Fotó: Szabadhegyi Győző, 1977)*



Rámutattak, hogy a felületi minőséget a hordozó, a forgácslap felületi tulajdonságai, valamint a bevonóréteg rugalmas sajátságai határozzák meg, továbbá a ragasztóréteg és a ragasztásban is szerepet játszó átvivő, kompenzáló rétegek, az alkalmazott ragasztó reológiai tulajdonságai valamint a ragasztási technológia együtt mind jelentős hatással vannak a kialakuló felület minőségére. A borítás érdességének csökkentésére a megfelelő rugalmassági modulusú, vagy kellően vastag bevonó réteg alkalmazását tesztelték. A gyakorlatban az előző két tényezőt összefogó hajlítómerevség megfelelő megválasztásával lehet biztosítani az alacsony érdességet. Az ún. kompenzációs együttható értékében is az előző tényezők, elsősorban a bevonó réteg vastagságának hatása jut kifejezésre, kiegészítve a bevonó réteg lineáris alakváltozási együtthatójával, amit viszont a vízzel szembeni viselkedés határoz meg elsősorban. Kiemelték, hogy a gyakorlatban a rugalmassági modulus és a rétegvastagság megválasztására van módunk. Összegezve megállapították, hogy a melamin-gyantával impregnált bevonó rétegek rugalmassági modulusa a legnagyobb, 1000–1500 kp/mm<sup>2</sup> nagyságrendű, míg a telítetlen poliészter bázisú bevonó anyagoké a legkisebb, 400–800 kp/mm<sup>2</sup> határon belüli. A hajlítómerevség is ennek megfelelően alakul. Kompenzáló réteg vizsgálatakor megállapították, hogy az, a bevonó rétegtől vesz át funkciókat és javaslatot tettek olcsóbb, vékonyabb dekorit réteg előállítására, amennyiben olcsó, kompenzáló réteggel van alulról vastagítva. A ragasztóanyag szerepét vizsgálva arra jutottak, hogy miután a reológiai tulajdonságok hőmérséklet és többnyire nyírófeszültség függőek, a ragasztóanyag forgácslap érdességet kompenzáló hatása a ragasztás során alkalmazott nyomástól és hőmérséklettől jelentős mértékben függ. Saját vizsgálataikra támaszkodva kiemelték, hogy a kompenzáló hatás a hideg (20 °C) ragasztásnál a legnagyobb, a meleg, ill. forró ragasztás felé fokozatosan csökkenő értékű. A borítás érdességét befolyásoló tényezőként említik a ragasztózsugorodásából származó feszültséget is. Minél érdesebb a hordozóréteg a különböző vastagságú ragasztórétegek eltérő zsugorodása annál jobban fokozza a bevonat felületi érdességét. Míg a ragasztó térhálósodásának első szakaszában, a présben a nyomással a zsugorodásból eredő deformációk részben kompenzálva vannak, addig a még meglehetősen sokáig elhúzódó utókeményedési folyamatban erre nincs mód, így a további térhálósodásból eredő zsugorodás, a lap hűlése és a víz diffúziójából adódó feszültségek összegződve, számottevő deformációt okozhatnak. Annak ellenére, hogy kutatásaikat forgácslap borításával kapcsolatban folytatták, olyan eredményeket fogalmaztak meg, amelyek a faanyag ragasztás terén is jól hasznosulnak. Kiemelték, hogy ragasztáskor az átmeneti rétegben igen nagy feszültségek keletkeznek, ha a ragasztó és a ragasztott anyagok rugalmassági modulusa jelentősen eltér egymástól.

Az 1970-es évek elején a különféle fatermékek gyártásához és felhasználásához szükséges számos hazai fejlesztésű ragasztó rendelkezésre állt, azonban a kínálat nem volt kellően teljes körű, Dr. Asztalos Tivadar (1972) néhány ausztriai üzemben tett látogatása után tapasztalatait úgy foglalta össze, hogy a Magyarországi „felhasználó ipar számára a faforgács és farostlemezek felhasználhatóságát nagymértékben megkönnyítené, ha a műanyagipar megfelelő ragasztóanyagokat állítana elő.” Általánosan elterjedt szintetikus faipari ragasztóanyag volt az 1919-es évek óta gyártott és használatban lévő karbamid formaldehid, amit egyaránt használtak bútorkötések ragasztására és a forgácslap gyártásban.

Ugyanakkor a sorozatgyártás elterjedésével, felmerült a magas hőmérsékleten történő felhasználás (pl. furnérozás) miatt a keletkező belső feszültségek mértékének és csökkentési lehetőségének igénye, mivel a keletkező belső feszültségek az adhézió ellen hatnak. A ragasztó fűgában kialakuló belső feszültségek okait vizsgálva, Szabó I. (1972) megállapította, hogy azok első sorban a megszilárduláskori folyékony-szilárd fázisváltással vannak kapcsolatban. Ha a szilárdulás kismértékű térfogatváltozás mellett megy végbe, akkor kismértékű lesz a keletkező belső feszültség is. Ugyanakkor a hőközléses ragasztások vizsgálata során rámutatott, hogy a keletkező belső feszültség nagysága függ a hőmérséklettől és a hőközlés idejétől is. Karbamid formaldehid szabad ragasztó filmekben végzett kísérletei során megállapította, hogy a hőmérséklet és a kötési idő növelésével emelkedik a kialakuló belső feszültség. A hőmérséklet növelésével a ragasztóanyag fokozottan zsugorodik, így a magas hőmérsékletű ragasztás nagyobb feszültségeket okoz a ragasztott kötésben, mint a normál hőmérsékletű ragasztás. A polivinil acetát (PVAc) ragasztók plasztifikáló tulajdonságát figyelembe véve, javaslatot tett a karbamid formaldehid ragasztók PVAc emulzióval 25%-ban való keverésére, 30%-os belső feszültség csökkenést érve el ily módon. A lágyított karbamid formaldehid ragasztó általános tulajdonságait tovább vizsgálva, annak rugalmassági modulusát elemezve megállapította, hogy a 25% PVAc diszperziós ragasztó adagolása a karbamid-formaldehid ragasztó szakítószilárdságát 10%-kal növeli; rugalmassági modulusát 40%-kal, belső feszültségét pedig 30%-kal csökkenti (Szabó I., 1973). Azt találta, hogy a rugalmassági modulus a kötési idő és a hőmérséklet növekedésével kezdetben növekszik, később pedig csökken, mivel a kötés a növekvő hőmérséklet hatására fokozatosan végbemegy, kialakul a térhálós szerkezet, ami a műgyanta keménységének növekedésével jár együtt, azonban a szükségesnél nagyobb hőközlés a kialakult kötések termikus bomlását idézi elő, ami a rugalmassági modulus csökkenésével jár.

De a fejlesztések szükségességét nem csak ragasztóanyagok területén, hanem a technológiák területén is érezni lehetett. A faipar számára jelentős kutatási terület volt a forgácsolások furnérozásának illesztése a sorozatgyártásba. Szabó Imre (1973) kutatásai olyan ragasztási technológia kialakítását célozták, amely magasabb fokú automatizálást illetve termelékenység növelést tett lehetővé. A kísérletek a Leningrádi Kirov Erdészeti Akadémián folytak, de Magyarországon is publikálásra kerültek az eredmények. A ragasztási szilárdságot meghatározó technológiai paraméterek hatását matematikai modellek segítségével vizsgálta, a ragasztási folyamat optimális paramétereinek meghatározása céljából. Összefüggést állított fel a préshőmérséklet, a présidő, a felhordott ragasztó mennyisége, a felületek nedvességtartalma, a nyílt idő, a présnyomás, a zárt idő és a karbamid-formaldehid ragasztóhoz lágyítóként hozzáadott PVAc ragasztó mennyisége és a ragasztási szilárdság között.

A 80-es évek elején főként Dr. Molnár Sándor professzor faanyagtudományi kutató és ismeretterjesztő munkájának hatására, aki célul tűzte ki az Európa szerte Magyarországon legkiterjedtebben előforduló akácerdők kihasználásának racionalizálását, megkezdődtek az akácfa szélesebb körű faipari és bútorigipari felhasználását célzó kutatások. A cél a kiváló tűzifaként általánosan ismert és keresett akác faanyag fűrészipai célra való

nagyobb arányú hasznosításának kidolgozása. Kérdés volt a nagy keménységű és szilárdságú akácfa megmunkálhatósága, felületkezelhetősége kül, és beltéri felhasználásra, illetve ragaszthatósága szerkezeti és nem szerkezeti célokra.



*Varga Ferenc, Szabó Imre, Magas László és Marosvölgyi Béla beszélgetnek a Soproni Erdészeti és Faipari Egyetem botanikus kertjében a D épület mellett. (Fotó: Szabadhegyi Győző)*

Szabó Imre (1981) gőzölt és gőzöletlen akác ragaszthatóságát vizsgálta, nem szerkezeti ragasztóval, a ragasztási szilárdság mérése folytán, különböző ragasztástechnológiai paraméterek mellett. Fűrészelt, gyalult és csiszolt felületű minták vastagító toldásának nyírószilárdsági vizsgálata során a felhordandó ragasztómennyiség és a fajlagos présnyomás kedvező értékeinek megállapítását célozva, rögzítette, hogy gőzölt és gőzöletlen akác ragasztása során törekedni kell a minél finomabb felület előkészítésre, a faiparban általánosan alkalmazottnál magasabb présnyomást célszerű alkalmazni, valamint a maximális ragasztási szilárdság eléréséhez viszonylag vékony,- a megszokottnál vékonyabb ragasztóréteg kialakítását javasolta. Gőzölt és gőzöletlen akác ablakgyártásban való felhasználásának lehetőségét is vizsgálta. Nem szerkezeti ragasztóval kialakított ékcspas hosszoldás hajlítószilárdságát mérve arra a következtetésre jutott, hogy a présnyomásnak és az ékcspas fogmagasságának nagy szerepe van, kis fogmagasság esetén nagyobb nyomást kell alkalmazni, míg nagy fogmagasságnál (20–30 mm hosszú) kisebb nyomást is elég alkalmazni ugyanazon hajlítószilárdság eléréséhez, gőzölt és gőzöletlen akác ékcspas hosszoldása során. Vizsgálta továbbá a akác más fafajokkal: fenyővel és nyárral való vastagító toldásának hatását a rétegelt szerkezet rugalmassági modulusa vonatkozásában. A tömör fenyő rugalmassági modulusát tekintve kontrol mintának megállapította, hogy a tömör fenyő hármás rétegelése 16%-os rugalmassági modulus növekedést eredményez, a fenyő nyár középréteggel történő hármás rétegelése csak 10%-os rugalmassági modulus növekedést

eredményez, az akác nyár középréteggel történő rétegezése 78%-os, míg az akác fenyő középréteggel történő rétegezése 80%-os rugalmassági modulus növekedést eredményez. A megállapításnak különös aktualitást ad az, hogy napjainkban a fenntarthatóság jegyében tervezett passzív házak vastagabb, több rétegű üvegezéssel gyártott ablakszárnyak beépítését teszik szükségessé, de a tisztán fenyőből gyártott ablakkeretek keresztmetszetét jelentősen meg kell növelni ahhoz, hogy vastagabb ablaküveg táblák súlyát viselni tudják. A közölt eredmények máig kihasználatlan jelentősége abban áll, hogy ha egy ablakkeret keresztmetszetét a hajlító rugalmassági modulus alapján méretezzük, akkor annak 80%-os emelkedése, mintegy 20–25%-os keresztmetszet csökkentést tesz lehetővé.



*Lele Dezső, Molnárné Posch Paula, Molnár Sándor Felsőörrön, 1990-ben, kísérleti membránprévásárlásáról folytatott megbeszélés közben a forgalmazóval (Fotó: Szabadhegyi Gyöző)*

Posch (1993) az akácfa felületkezelhetőségét vizsgálva, arra a következtetésre jutott, hogy a rendelkezésre álló pácok, lakkok és lazúrok alkalmasak a bútorigipari minőségben előkészített akác felületek felületkezelésére. Akkoriban gondot jelentett az akác felületek inhomogén, viszonylag „tarka” színe. A vizsgálatok főként abba az irányba folytak, hogy a különféle vizes és szerves oldószeres pácokkal elérhető-e olyan mértékű színhomogenizálás, amely az akkori piaci igényeknek megfelelt. Sikerült olyan javaslatot kidolgozni, amely megfelelő alapozás és adott pác felhasználása esetén a szín béli tarkaságot mérsékelni tudta.

A bútorigiparban és az ablakgyártásban elterjedten használt vizes diszperziós ragasztók vizsgálata során Szabó (1994) felhívta a figyelmet arra, hogy a ragasztott kötés szilárdsága és tartóssága nem csak a ragasztási feladatra megfelelően megválasztott ragasztótól függ, hanem a ragasztástechnológia és a ragasztási paraméterek, pl. a nyílt időn belüli ragasztás betartásától is, mert például a nyílt idő 15 perces túllépése 40%-os szilárdság csökkenést idézhet elő. Kísérletei során a fa nedvességtartalmának a ragasztási szilárdságra gyakorolt hatását vizsgálva megállapította, hogy a 11% és 33% közötti nedvességtartalmi értékeken ragasztott famintatest sorozat esetében, a ragasztási szilárdság egyre csökken, élőned-

ves ragasztásnál vizes diszperziós PVAC ragasztóval akár 38%-os ragasztási szilárdság csökkenés mutatható ki. A környezeti hőmérséklet hatását vizsgálva megállapította, hogy 5 °C-ról 20 °C-ra emelve a környezeti hőmérsékletet, 32%-os ragasztási szilárdság emelkedés mérhető.

A rendszerváltás előtt, az oktatók, kutatók külföldi együttműködése főként a volt szocialista tömb országain belül valósult meg. A korábban kiépített kapcsolatok a rendszerváltás után is fennmaradtak. Eva Liptakova (Szlovákia), Jozef Kudela (Szlovákia) és Molnárné Posch Paula (Magyarország) különböző megmunkálási móddal előállított bükkfa felületek érdességét és hullámosságát vizsgálták, a felületkezelés és ragasztás céljára való alkalmasság megítélése érdekében. Az 1995-ben publikált kutatási eredményekben kimutatták, hogy a fa felületi geometriáját elsősorban az anatómiai szerkezet heterogenitása és anizotrópiája határozza meg, de a mechanikai felületmegmunkálás módja is jelentős hatással van rá. Egyazon fafaj esetében, a csiszolt, mikrotommal metszett és hidrosztatikus maróval megmunkált felületeken eltérő felületi érdesség és hullámosság értékeket mértek. Kiemelték, hogy az érdesség és hullámosság mért adatai a hidrosztatikus szerszám esetében voltak a legkedvezőbbek, hozzájárulva ily módon a drágább, de jobb minőséget előállító hidrofejes gyalugépek terjedéséhez a faiparban.

A faipari cégekre is ösztönzőleg hatott a 2003. évi XC. törvény a Kutatási és Technológiai Innovációs Alapról, amely lehetővé tette az ország versenyképességének és fenntartható fejlődésének az új ismeretekre és azok alkalmazásán alapuló erősítését, ezen belül különösen a kutatás-fejlesztés és a létrehozott új tudás alkalmazásának megfelelő mértékű és kiszámítható finanszírozását. A hazai akác faanyag jobb kültéri és beltéri hasznosítására kiírt pályázat keretében Posch és Csiha (2004) javaslatot tettek kültéri bútortsalád előállítására tömör akácból, technológiai, szerkezeti- és formatervezési kérdések megoldására fókuszálva, különös figyelemmel a színhomogenizálásra és a környezetbarát felületkezelésre. Számos kutatás készült ezekben az években a különböző ipari partnerek számára. Egyre szélesebb körben terjedtek a vizes alapú felületkezelő anyagok, de súlyos problémaként jelentkezett egyes formulák gyenge izzadmányállósága, ami a lakkrétegen átütő, vizes hatású, foltosodás formájában jelentkezett a lakkréteg alatt, a faanyagon. Csiha Cs. vizsgálatokat végzett a Henelit lakk és festékgyártó számára, a probléma megszüntetése érdekében. A Sweedwood Ikea Industry számára a sorozatban gyártott konyhai fiók és ajtóelemek pácolása és lakkozása során nagy számban előálló színhiba okainak feltárása széles körű tudományos kutatást tett szükségessé. Csiha Cs. feltárta, hogy a gyakori színhiba oka a pácnak a faanyaghoz viszonyított igen magas felületi feszültségében keresendő, amely emiatt főként a pórusok környezetében nem tudott a faanyagba beszívódni, így a pácolatlan részek gombostűnyi „szürke pórusokként” jelentek meg a fafelületen. A pácot különböző kombinációban illékony szerves oldószerekkel, illetve ammónium hidroxiddal adalékolva, valamint a fafelületet ammónium hidroxiddal előzetesen áttörölve, sikerült megoldani a pácok megfelelő beszívódását és felszámolni ily módon a szürke pórus jelenséget. Rövidesen újabb ipari probléma merült fel: a korábbi sorozatok legyártásához használt bükk faanyag beszerzési forrása megváltozott, az új termőhelyi területről szállított alapanyag szín béli inhomogenitása megnőtt.

Az automata színmérő berendezés, a színegyezés illetve színhomogenitás gyártásközi folyamatos ellenőrzése során aránytalanul sok, 32% körüli alkatrészt azonosított és jelölt meg selejtként, a szintartományon kívül eső sötét színe miatt. Csiha Cs. kidolgozott egy olyan technológiát, amely a felületek hidrogén peroxiddal történő előkezelésével, az oxidációs folyamatban felszabaduló oxigén kovalens kötések bontó hatása révén, sikeresen halványította és ily módon homogenizálta a sötét színt. A jó eredmény ellenére, a technológia csak kísérleti jelleggel került bevezetésre és rövid élettartamúnak bizonyult, főként a közismerten környezettudatos svéd cég azon megfontolása alapján, amely a házi fertőtlenítésben, gyógyászatban és fogorvoslásban széleskörűen alkalmazott szert oxidatív tulajdonsága miatt munkavédelmi szempontból aggályosnak találta. Ugyanebben az évben a Szinkron Kft-nél MDF lécek gyártására beállított kasírozó berendezésen elakadt a sorozatgyártás a papírvázás fóliák gyenge tapadása miatt. A Csiha Cs. által végzett vizsgálatok kimutatták, hogy a fennakadás elhárítása érdekében módosításra szorul a ragasztóanyag formulázás és a technológia is. A megoldás érdekében szükségessé vált a ragasztó anyag töltő anyaggal való adalékolása a viszkozitás növelése érdekében, hogy a porózus MDF lécek felülete ne szívja el a ragasztót a fugából, másrészt meg kellett változtatni a ragasztófelhordási eljárást, lecserélve a ragasztófelhordó egységet.

A 90-es évek elejétől a bútorgyártásban bevezetésre került az ISO 9000-es minőségbiztosítással, minőségirányítással foglalkozó szabványcsoport, melynek következtében nagyobb figyelem irányult a megmunkált fafelületek minőségére, illetve minősítésének lehetőségére. Mind a ragasztás, mind a felületkezelés során kialakuló adhézió minőségének egyik fő befolyásoló paramétere a fafelületek érdessége. Szisztematikus vizsgálatok kezdődtek a megmunkálási érdesség gyors és pontos mérése, a megmunkálási minőség sorozatgyártásba illeszthető megítélése érdekében. A megmunkálási minőség meghatározása céljából végzett érdességmérések során számos kedvezőtlen körülményre derült fény: az érdességmérő berendezéseket fémfelületek mérésére fejlesztették ki, egyesek (pl. a lézeres érdességmérők) korlátozottan, vagy nem is alkalmasak a fafelületek mérésére. Nem készültek és nem álltak rendelkezésre a fafelületek érdességmérését támogató szabványok, amelyek a faanyag anizotrop, inhomogén, esetenként gyűrűs likacsú jellegét figyelembe véve megfelelő mérési és kiértékelési módszert rögzítettek volna. Gondot jelentett, hogy míg a szórt likacsú, viszonylag homogén szöveti szerkezetű fafajok (pl. bükk) mért érdessége jól korrelál a kézzel tapintható, szemmel látható érdességgel, addig a nagypórusú/nagyedényes fafajokon, még nagyon finom megmunkálás mellett is az érdesség mért értékei rossz minőségű, durva megmunkálásra utalnak. Ennek legfőbb oka, hogy akár tapintócsúcsos, akár lézersugaras érdességmérést végzünk, a nagy, nyitott pórusok mélységét a műszer hozzáméri az alapszövet érdességéhez és a pórusok mélységétől és darabszámától függően oly mértékben torzítja az érdesség értékét, hogy finoman megmunkált fafelület is akár keretfűrészsel előállított felülettel egyenértékű érdességet mutat. A megmunkálási érdesség megítélése érdekében szükségessé vált a nagyedényes fafajok esetében egy olyan érdességmérési módszer kidolgozása, amely lehetővé teszi a nagypórusú fafajokon a megmunkálásból eredő érdesség mérését, a megmunkálásból eredő érdesség és az anatómiai érdesség szétválasztása folytán. Csiha Cs. (2000) az érdességi adatok vizsgálata

során megfigyelte, hogy azok normális eloszlást mutatnak, úgy, hogy míg homogén fafajok esetében egy módusú, addig nagyedényes fafajok esetében az eloszlás bimodális. A bimodális eloszlás elemzése elvezetett ahhoz a felismeréshez, hogy a második módus adatai a nagy nyitott edényekhez tartozó érdességi adatok. A felismerés megteremtette egy olyan számítógépes program megírásának lehetőségét, amely azon az elven szűri az érdességi adatokat, hogy az első módus adatai az alapszöveti érdességhez tartoznak, míg a második, kisebb módus adatai a nagy nyitott edények érdességi adatai. A nagy nyitott edények adatai így módon könnyen, gyorsan azonosíthatóvá váltak az eloszlásgörbén, a számítógépes program megírása után (Alpár Tibor), ezen adatok kiszűrése az érdességi profilból egyetlen kattintással megoldhatóvá vált. A változatos mélységű és darabszámú edényekhez tartozó érdességi adatok kiszűrése és eltávolítása az adathalmazból lehetővé tette az alapszöveti érdesség, illetve az alapszöveten mutatkozó megmunkálási érdesség gyors, automatizálható meghatározását.

Az épületasztalos iparban és a bútóiparban egyaránt általánosan elterjedté vált a kívánt tömörfa keresztmetszetek ragasztással való előállítására kisebb méretű faválasztékból. Ugyanakkor a gyártás számos ragasztási területen megelőzte azokat a részletekbe menő kutatásokat, amelyek pl. a ragasztott kötés élettartamának becsüléséhez elengedhetetlenek. A tartósság egyik fő feltétele, hogy ragasztás során megfelelő adhézió jöjjön létre a kötőanyag és a fa határfelület között. Miközben a jó minőségű ragasztókötés kialakulásának számos befolyásoló tényezője, mint például a gyanta típusa, az alkalmazott mennyiség, nyitott idő, nyomás, préselési idő és körülmények (ragasztási hőmérséklet, fazékidő, stb.), széles körben vizsgált, nemzetközi vonatkozásban is kevésbé feldolgozott téma a különböző megmunkálási eljárások során kialakuló felületi érdesség hatása a kötőanyag tapadására. Ennek egyik fő oka, hogy az érdességmérő műszereket fém felületek vizsgálatára fejlesztették ki és az elérhető szabványok sem támogatják a faanyag specifikus mérési és kiértékelési igényét. Csiha és Gurau (2011) 60-tól 600-as szemcsefinomságig terjedő csiszolóvászakkal megmunkált bükk (*Fagus sylvatica*) felületeken vizsgálták a fafelület érdessége és az elérhető tapadási értékek közötti összefüggést. A megmunkálási érdességet tapintócsúcsos érdességmérő berendezéssel mérték és a korábbi saját tapasztalatokra támaszkodva, de külföldi ajánlásokat is figyelembe véve az  $R_z$  érdességi paramétert használták az eredmények kiértékeléséhez. Annak érdekében, hogy a trend megállapítható legyen, célszerűen a tartószerkezeti ragasztóknál gyengébb vizes diszperziós PVAC ragasztó adhézióját mérték. A kísérletek során azt találták, hogy a korábbi várakozásokkal ellentétben, csiszolt felületű mintákon nem definiálható sem egyértelmű növekvő, sem csökkenő trend, hanem három tartomány különül el. A durva, úgynevezett tisztító csiszolások tartományába eső szemcsefinomságok (60; 80; 100) mellett enyhe tapadás növekedés volt megfigyelhető. Abban az érdesség tartományban, amely a gyakorlatban általánosan alkalmazott csiszolások (120; 150; 180; 220; 240-es szemcsefinomság) érdessége, a tapadás közel azonos volt, vagyis mindegy, hogy mennyire finom szemcsével csiszolnak, az nincs hatással a tapadásra, de váratlan eredmény, hogy a tapadás alacsonyabb volt, mint a legdurvább csiszolóvászonnal csiszolt felületek esetén. Meglepő és máshol nem publikált eredmény volt, hogy a 400-as finomságú vászonnal

való csiszolás, ami már-már polírozásnak felel meg, jelentős tapadás csökkenést eredményezett. Összességében a kutatás megdöntötte azt a gyakorlatban is előforduló vélekedést, hogy a nagyon jó minőségben előcsiszolt felületeken alakul ki a legjobb tapadás, továbbá rámutatott arra, hogy a gyakorlatban alkalmazott csiszolások a tapadás hátrányára szolgálnak, legkedvezőbb tapadás a tisztítócsiszolásnak számító, viszonylag durva, 100-as szemcsefinomsággal csiszolt felületeken állt elő.

A magas, egyenes növekedésű, nagy átmérőjű rönkválaszték megcsappanásával egyre nagyobb igény mutatkozott a szükséges tömörfa alapanyag ragasztással való előállítására, teherviselő szerkezetek céljára is, mint például a réteg ragasztott fa tartók. A korábban félszerkezeti ragasztóként ismert PUR ragasztók a ragasztóanyag fejlesztéseknek köszönhetően tartószerkezeti ragasztóként is elérhetővé váltak és általánosan alkalmazták őket a fenyőfélék szerkezeti ragasztására. Ugyanakkor a hazai fenyőfélék megbetegedése előre vetítette azt, hogy várhatóan olyan fafajokkal kell majd kiváltani őket, amelyeket tartógyártásra korábban nem használtunk, de megfelelő mennyiségben rendelkezésre állnak. Horváth és Csiha (2016) a fenyőfélék bükkal való kiváltását célozva, egykomponensű, normál hőmérsékleten is kötő, tartószerkezeti PUR ragasztóval végeztek kísérleteket és meghatározták a ragasztás optimális paramétereit, úgy, mint: a nyílt idő, a felhordott ragasztómennyiség, a présnyomás, a présidő, a megmunkálási felületi érdesség, a faanyag nedvességtartalmának olyan értéke, amely mellett a ragasztott kötés nyírószilárdsága nagyobb, mint 10 N/mm<sup>2</sup>.

Gurau et al. (2015) a bútór és parketta gyártásban széles körben feldolgozott, szórt likacsú bükk (*Fagus sylvatica*) felületi érdességét vizsgálták nem finanszírozott nemzetközi együttműködésben, annak érdekében, hogy leírják az anatómiai és a megmunkálási érdesség szétválasztásának lehetőségét. A Csiha által a pórusok azonosítására szolgáló, korábban publikált módszer a gyűrűs likacsú fajoknál jól bevált, azonban kérdés volt, hogy a szórtlikacsú bükk esetében, ahol nincsenek nagy nyitott edények, az adatelemzés során megjelenik-e a pórusokhoz tartozó adatcsoport, ami lehetővé teszi az anatómiai érdesség azonosítását. Megállapították, hogy bár a bükk szórt likacsú faj, és homogénebbnek tekinthető, mint a gyűrűs likacsú nagyedényes fafajok, az anatómiai érdessége az Abbott görbén jól azonosítható. A szerzők felhívták a figyelmet arra, hogy a szórt likacsú fajok anatómiai szabálytalanságait is ki kell zárni az érdességadatokból a feldolgozási érdesség megbízható értékelése érdekében.

A különböző fémfelületek érdességmérésére és érdességi adatainak kiértékelésére összeállított eljárások a faanyag vonatkozásában kiegészítésre szorulnak. A faanyag specifikuma, hogy a környezeti nedvességtartalommal összhangban változtatja méretét és nedvességtartalmát. Felvetődik a kérdés, hogy milyen mértékű torzítást okoz a megmunkálási érdesség megítélése során, ha a környezeti klíma megváltozása miatt megváltozik a faanyag nedvességtartalma. Benkreif és Csiha (2020) vizsgálták az érdességi paraméterekben bekövetkező változás mértékét és trendjét csiszolt nyír (*Betula pendula*) és akác (*Robinia pseudoacacia*) felületeken, miközben szisztematikusan csökkentették a mintatestek nedvtartalmát 30%-ról 6%-ra, a faszárítás természetes folyamatához hasonlóan. Megállapították, hogy a minták nedvességtartalmának növekedése a felületi érdesség



növekedését eredményezi ( $R_q$ -val és  $R_z$ -vel kifejezve), valamint azt, hogy az érdesedési reakció fafajfüggő. A fa nedvtartalma és a felületi érdeség között exponenciális  $y=ae^{bx}$  összefüggést találtak (nagy korrelációval). A vizsgálati eredmények alátámasztották azt a korábbi feltevést, hogy a tangenciális fafelületek általában érzékenyebbek a nedvesség ingadozásra a nagyobb korai pászta részek miatt, mint a sugárirányú felületek, kivéve a juhar, éger és bükk fajokat. A juhar, éger és bükk felületi érdesége nagyon stabilnak bizonyult, a nedvesítési folyamat során, a tangenciális és a sugárirányú felületek között nem volt jelentős különbség. Ezeknél a fafajoknál az exponenciális egyenlet lineáris része többnyire vízszintes, ami azt mutatja, hogy ezek a fafajok jelentős stabilitást mutatnak a nedvesedéssel szemben, akár a 16%-os nedvtartalom eléréséig is. Az érdesedés tendenciája a vizsgált fafajok esetében exponenciális egyenletet követ, de az alsó nedvtartalom régiókban (6%-tól 16%-ig), ami egyébként az ipari fafelhasználásban jellemző fanedvtartalom, lineáris egyenlet illeszthető, mind az  $R_{MS}$ , mind az  $R_z$  paraméterekre. Az összes fafaj érdesége 18%-os nedvesség tatalomtól hirtelen növekedésnek indul. A tanulmány felhívja a figyelmet arra, hogy a fafelületek megmunkálási minőségének értékelésekor figyelembe kell venni a nedvességtartalom torzító hatását.

Időközben Európában a faanyag ragasztása terén új irányzat bontakozott ki, kutatások kezdődtek a faanyag **élőnedves állapotban való ragasztásának** megoldására, a ragasztóanyag fejlesztésre, az élőnedves ragasztási technológia paramétereinek kidolgozására és a kialakuló ragasztási szilárdságot befolyásoló tényezők meghatározására vonatkozóan. A kezdeti kutatások első sorban az ékcsapos hosszoldás élőnedves kivitelezését célozták, főként ablakgyártás céljára tömbösítendő lécek gyártásához. A faanyag élőnedves állapotban történő ékcsapos hosszoldásának fő előnye abban mutatkozik, hogy lehetőséget teremt a különféle hibák (pl. göcsök) szárítás és ragasztás előtti eltávolítására, így a kiejtett farészek szárítására nem kell energiát fordítani, az össz-szárítási energia a kiejtett hibák mennyiségével arányosan csökken. A hibakiejtés után történő szárítás során sokkal kisebb deformáció következik be, mint e nélkül. További előnye, hogy a hibakiejtés után, mesterséges szárítás előtt, az élőnedvesen hosszoldott lécek végső méretre vághatóak, így egyenletesen kitöltik a szárító kamrát, ezzel egyenletesebb száradást biztosítva a léceknek, ami tovább fokozza, a deformáció mentes száradást. Összességében a fenti körülmények folytán 10-15% gazdasági előny érhető el. Csiha és Bencsik (2008) soproni kutatók a hollandiai TU Delftnél dolgozó W.F. Garddal együttműködésben, a hazai akác kutatások kiegészítése képpen vizsgálták az akác élőnedves ragasztásának lehetőségét. A poliuretán ragasztó kismértékű habosodása ellenére, sikeres kezdeti kísérletekről számoltak be (Csiha et al. 2009). A magyar akácból gyártott ablakokra olyan nagy érdeklődés mutatkozott Hollandiában, hogy pl. a Doornenbal B.V. ablakgyártó üzemet létesített Csemőben akác ablakfrízek gyártására. Ennek fő oka, az akác kiváló kültéri ellenállása illetve a Hollandiában elterjedten igényelt egzóta fafajok kiváltását lehetővé tevő megjelenése. A kutatási eredmény iránt is nagy érdeklődés mutatkozott, megkezdődtek az egyetem és a gyártó között a tárgyalások, azonban mielőtt a technológia átalakítására sor került volna, a magyarországi gyártóhely eladásra került, az új magyar tulajdonos pedig akácfa szőlőkarók gyártását kezdte meg.

A ragasztott kötések élettartamának növelése szempontjából új, ígéretes kutatási területként jelent meg a **nanotechnológia**. Csiha et al. (2012) bükk (*Fagus sylvatica*) és az erdefenyő (*Pinus sylvestris*) mintákon nanopoliektrolitokkal végeztek kísérleteket a kötési szilárdság növelése érdekében. Rétegenkénti felhordási (LbL) technológiával több lépésből álló adszorpciós eljárással, a nanovegyületek rendezett vékonyréteg-lerakódását hozták létre a fa mikroszerkezetén, a ragasztó nedvesítésének és adhéziójának várt javulása érdekében. A nanoelektronika legújabb fejlesztéseinek köszönhetően elérhetővé vált a nanoméretű elektrosztatikus rétegrendszerek kialakítása, pozitív és negatív töltésű polielektrolitok váltakozó, egymás utáni felhordásával a kísérletbe bevont fafelületeken. A koncepció költséghatékonysága az anyag adhéziójának módosításában részt vevő, kivételesen kis mennyiségű adalékanyagban rejlik: nagyon kis tömegű (0,05 tömeg%) polielektrolitok és nanorészecskék abszorbeálódnak és rakódtak le a fa mikroszerkezetére. Az LbL technika előnyei az egyszerűség, egyetemes alkalmazhatóság, rétegvastagság szabályozás nanoméretben, továbbá az, hogy nem igényel kifinomult hardvert. A kísérlethez a papírfelület kutatási kísérletek (Csóka, 2007) során már bevált polikation és polianion adott képviselőit használták: PDDA (polidiallil-dimetil-ammónium-klorid) vízzoldható kationos polielektrolitot és PAH (poliallil-amin-hidroklorid) polikationokat, valamint PSS (polisztirol-szulfonát; nátriumsó) polianiont. A negatív töltésű PSS és a pozitív töltésű PDDA polielektrolitok felváltva abszorbeálódtak a fafelületeken, összesen 22 rétegben, 5–500 nm vastagságban. Egy mintasorozat szoliter PSS-sel is készült. A famintákat vízbázisú, nem szerkezeti PVAC ragasztóval készítették el, majd a ragasztó fúgára merőleges húzóerőnek tették ki a kötési szakítószilárdság tesztelésére. Míg a bükk fafelületek tapadási szilárdsága jelentősen növelhető volt PDDA/PSS kezeléssel, ugyanilyen javulás az erdefenyőnél csak PSS kezeléssel volt érhető el, mert a bükknél hatásos PDDA/PSS előkezelés erdefenyőnél egyenesen a szakítószilárdság egyenes csökkenését okozta. A kapott eredmények azt mutatták, hogy a különböző polielektrolitokkal való előkezelés hatásos lehet, a ragasztási szilárdság akár az 1,3–1,7-szeresére is növelhető, ugyanakkor kiemelték azt a meglepő tényt, hogy az alkalmazott polielektrolitok hatásossága erősen fafajfüggő, míg adott polielektrolit pár valamely fafaj ragasztási szilárdságát több mint másfélszeresére növeli, előfordulhat, hogy ugyanaz a polielektrolit pár más fafaj esetében kifejezetten a ragasztási szilárdság csökkenését okozza. Zinad et al. (2022) cement-fahamuval való helyettesítéséről számoltak be, majd az okozott szilárdság csökkenés nano adalékanyaggal való sikeres helyreállításáról, betongyártás céljára, a súlyosan környezetterhelő cement mennyiségének csökkentése érdekében. A nanoanyagokkal kapcsolatos kutatások lendületét azonban megtörte egy irodalmi kutatás (Benkreif és Csiha 2021), amely többek között azzal a következtetéssel zárult, hogy méretüknél fogva a nano anyagok áthatolhatnak akár a vastag gumikesztyűn is, majd beszívódva a bőrbe még hosszú időn keresztül kimutathatók. A szerzők kiemelték, hogy a várt eredmény hozadéka és a nano anyag alkalmazásával járó kockázat minden kísérlet előtt alapos megfontolást igényel, így a faanyagok ragasztása és felületkezelése terén is.

Bútor- és parkettagyártásnál a szélességi és a hosszoldásoknál, a radiális és a tangenciális vágású felületek többször egymás mellett vannak elrendezve. Nemcsak a fafajták,

hanem a különböző vágásirányú fafelületek is eltérő színtulajdonságokkal rendelkeznek. Természetes anyagként a fa is ki van téve a degradációnak. Beltéri környezetben az esetleges páratartalom és a kopás mellett a harmadik leggyakoribb stressztényező a napfény okozta UV sugárzás. A természetes napsugárzás hatására a fa színe megváltozik, ami kihat mind a bútortermékekre, mind a parkettaipar termékeire. Papp et al. (2012) a napközben és évszakonként változó természetes napsugárzás okozta színváltozás várható mértékének meghatározása érdekében mesterséges xenonlámpás vizsgálatokat végeztek. Sugárirányú és tangenciális felületeken 1-, 3-, 5-, 8-, 10-, 15-, 20-, 30-, 40-, 60-, 80-, 90-, 100-, 120-, 140-, 160-, 180- és 200 órás besugárzás során feltérképezték a felületek színváltozását, a napsugárzás hatására bekövetkező időfüggő viselkedés leírása érdekében, hogy jobban megértsék színöregedési folyamataik különbségeit vagy hasonlóságait. A színváltozás jellegét a parketta- és bútortermékek legelterjedtebb hazai fafajain, bükk (*Fagus sylvatica* L.), tölgy (*Quercus petraea*) és nyír (*Betula pendula*) mintákon vizsgálták az (a\*, b\*, L\*) CIELAB színparaméterek függvényében. A fa inhomogén, anizotrop szerkezetű, a különböző fajok tangenciális és sugárirányú metszetei között lényeges különbségek vannak mikroszerkezetben, színben és megjelenésben. A mesterséges Xenon sugárzás okozta színváltozást szisztematikusan vizsgálták színállandóságig, radiális és tangenciális vágási felületeken és megállapították, hogy 200 órányi mesterséges sugárzás után mindhárom faj színe azonos ponthoz tart, azonban a radiális és a tangenciális felületek színben mindvégig különbözőek maradnak. A legjelentősebb színváltozás a xenon sugárzásos öregítés első 10 órájában következett be, ami arra enged következtetni, hogy természetes napsugárzás esetében is a fafelület kialakítása utáni első időszakban következik be a legjelentősebb színváltozás. Az eredmény rámutatott többek között arra, hogy a színmintával egyeztetve vásárolt furnér szállítmányok és a hasonlóan színmintával vásárolt bútortermékek színe a tárolás során tovább változik, a változás mértéke pedig attól függ, hogy a vásárlás mennyi idővel később történik, mint a felületek kialakítása. A kutatás az ipar számára fontos eredménnyel zárult, eredményei a furnérozásban, a parketta gyártásban és a bútorgyártásban hasznosulnak. A Xenon sugárzással kapcsolatban azonban felvetődik az a probléma, hogy bár jól szimulálja a természetes napsugárzás spektrumát, de jóval intenzívebb, ezért azzal nem egyenértékű és nyitott kérdés, hogy adott időtartamú mesterséges sugárzás hány órányi természetes sugárzásnak felel meg. A fafelületek érdeségének kiértékelése és a mesterséges öregítés terén publikált eredményeit követően Csiha (Sandak et al. 2015) meghívást kapott egy nemzetközi csoportba, akik vékony faszeletek degradációjának kinetikáját vizsgálták: Európa 15 országában tették ki azonos módon, természetes időjárás körülményeknek egyazon lucfenyő (*Picea abies*) mintasorozat képviselőit és összehasonlító vizsgálatot végeztek annak megállapítására, hogy az év egy adott időszakában azonosítható-e a földrajzi kitérítés diverzitásából fakadó szignifikáns különbség. Megállapították, hogy az északi és nyugati kitérítés kisebb mértékű degradációt okoz. Papp és társai 2016-ban további vizsgálatokat végeztek a mesterséges Xenon sugárzás egyenértékűsítése érdekében. Szórtlikacsú, viszonylag homogén, sugárirányban vágott felületű, 150-es szemcsefinomsággal csiszolt bükk (*Fagus sylvatica* L.) mintatesteket 240 órányi mesterséges Xenon sugárzásnak tettek ki, miközben Fourier transzformációs

infravörös spektroszkópiával (FTIR) is mérték a felületeket. A Xenon sugárzás során a fa felülete szemmel láthatóan sötétebbé vált. Kérdés volt, hogy a bekövetkezett oxidációs és redukciós folyamatok FTIR spektroszkópiával kimutathatók-e? A mérések alapján specifikus hullámhosszak tartoznak az időben előre haladó degradációhoz. Az eredményekből kiderül, hogy a FTIR spektrummérések a szemmel látható változásokkal jól korrelálnak és alkalmasak az öregedés során bekövetkező fafelület-változások követésére. A mesterséges öregítés során lejátszódó kémiai változások nyomonkövetése érdekében Papp és társai (2020) kvalitatív kémiai (teljes fenol tartalom TPC és összes oldható szénhidrát tartalom TSCC) vizsgálatokat végeztek lucfenyő (*Picea abies*), bükk (*Fagus sylvatica* L.), nyír (*Betula pendula*) és kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) fafelületeken, 240 órányi Xenon sugárzóval előállított mesterséges öregítés során. Az öregedést peremszög méréssel is követték. Az összes fenol és az összes oldható szénhidrát tartalom eredményei jelentősen különböztek. A különböző fafajták összes fenoltartalma a kocsánytalan tölgy kivételével mintegy 1 mg/g értékről kb. 15 mg/g-ra nőtt, a teljes 240 órás mesterséges sugárzás alatt. Az összes fenoltartalom változásával párhuzamosan az összes oldható szénhidráttartalom (mind a négy fafaj esetében) 7 mg/g értékről kb. 45–60 mg/g-ra nő. Az eredmények egyértelműen azt mutatják, hogy a szénhidráttartalom 3–4-szer nagyobb mértékben változik, mint a fenolos vegyületek. Az eredmények egyértelműen azt mutatják, hogy a felületi réteg fő kémiai összetevőinek aránya és a peremszög értéke között szoros összefüggés van a mesterséges sugárzás során. A felületkémiai változások nagyobb hatással voltak a poláros folyadéokra, mint a diszperzívra. Annak ellenére, hogy 240 óra mesterséges xenonsugárzás alatt az összes fenoltartalom közel 15-szörösére, az összes oldható szénhidráttartalom pedig csak 6–8-szorosára nőtt, a lényegesen nagyobb szénhidrát jelenlét nagyobb hatással volt a folyadék érintkezési szögére. Az összes oldható szénhidrát tartalom növekedése kompenzálta a hidrofób fenolos vegyületek hatását. Összegzésképpen megállapítható volt, hogy a fa felületi rétegének kémiai változásai a fő fakomponensek (cellulóz, hemicellulózok és lignin) lebomlásából adódnak, amely teljes fenol (TPC) és teljes oldható szénhidráttartalom (TSCC) mérésekkel megfelelően nyomon követhető.

A **ragasztó tapadásának mérése**, a ragasztott kötés ragasztószilárdsági tesztelésével nehézkes, mivel a ragasztók általában erősebb kötést biztosítanak, mint a faanyag kohéziós ereje. A nedvesítési,- vagy más néven peremszögből viszont jól lehet következtetni arra, hogy várható-e a felületek jó tapadása. A felületek állapota kritikus a szükséges tapadás eléréséhez. A Young-Dupré egyenlet szerint minél nagyobb a szilárd anyag **felületi feszültsége**, annál jobb a nedvesedése és a várható **tapadása**. A megmunkálás utáni színváltozáshoz hasonlóan nyitott kérdés volt, hogy a megmunkálás után eltelt idő hatással van-e a felületeken kialakuló tapadásra, megmunkálás után kell-e sietni és mennyire a felületkezelő és ragasztó anyagok felhordásával, vagy az eltelt idő nincs hatással a kialakuló kötési szilárdságra. Csiha et al. (2012) csiszolt és gyalult bükk (*Fagus Sylvatica* L.) és nyír (*Betula pendula*) felületeken vizsgálták a peremszög változásának trendjét annak érdekében, hogy leírják a fafelületek megmunkálás utáni öregedését és várható tapadási képességét. A szisztematikus megközelítés és az összehasonlítható eredmények érdekében a fafelületek mesterséges xenon sugárzással öregítették, beltéri körülményeket szimulálva.

A peremszöggel jellemzett felületi feszültség minden esetben a frissen vágott felületeken volt a legnagyobb, tehát a legkedvezőbb kötési szilárdság frissen vágott felületeken alakul ki. Különbség mutatkozott azonban a gyalult és a csiszolt felületek időbeni változása között. A gyalult bükk és nyír mintákon a peremszög változást az idő logaritmikus természetes függvényeként  $y=b_2/(x-b_1)+b_0$ , míg a csiszolt felületeken  $y=b_2*(e^{(-b_1*x)}-e^{(-b_0*x)})+b_3$  alakú exponenciális függvényként írták le. A megmunkálás erősebb befolyásoló tényezőnek bizonyult a felületi feszültség időbeni változása során, mint a fafajták. Ugyanakkor meglepő eredménynek mondható, hogy mind a két faj és megmunkálás esetében a felületi feszültség csökkenése a sugárzás 10 és 15. órája között megfordult, ismét növekedésnek indult. A kedvező növekedés a mért tartományban gyalult felületeknél elérte a kiindulási, vagyis közvetlenül megmunkálási utáni felületi feszültség értékét. A tudományos szakirodalomban elsőként publikált megfigyelés azt jelezte, hogy nem csak közvetlenül a megmunkálás után, hanem a hosszabb raktározás során is előáll ismét egy olyan nagymértékű felületi feszültség, amely kellően nagymértékű tapadás kialakulásának lehetőségét hordozza. A vizsgálatokba Csiha és Papp 2014-ben bevonták a hazai ablakgyártásban elterjedten alkalmazott lucfenyőt (*Picea abies*) is. Az ablakok élettartamát nagymértékben meghatározza a lazúrokkal végzett felületkezelés minősége. Az ajtók és ablakok tönkremenetelének egyik jellemző formája a lazúrok repedezése és leválása. Több tényező is befolyásolhatja a lazúrok tapadását lucfenyő felületeken, így többek között, kérdés az is, hogy a megmunkálástól a lazúr felhordásáig eltelt idő (a felület öregedése) milyen mértékben csökkenti a felületi feszültséget és ezáltal a tapadást. A felületi feszültség változása lucfenyő faanyagon (*Picea abies*) a korábbi – bükk (*Fagus sylvatica* L.) és nyír (*Betula pendula*) mintatesteken végzett – kutatásunkkal jól korreláló eredményt hozott: lucfenyő esetében is a frissen megmunkált felületek felületi energiája a legnagyobb, tehát a frissen megmunkált faanyag nedvesíthetősége jobb, ezáltal lazúrok jobb tapadása, ragasztás esetén pedig magasabb ragasztási szilárdság várható. Az ablakok felületkezelését célszerű úgy illeszteni a technológiába, hogy arra rögtön a profilmarás, illetve a csiszolás után sor kerüljön.

Tekintettel arra, hogy a megmunkálás jelentős hatással volt a peremszög mért értékére a felületek öregítése során, Csiha és Papp (2013) négy különböző megmunkálási mód: gyalulás, hidrofejes gyalulás, 120-as és 150-es szemcsefinomságú vászonnal való csiszolás hatását vizsgálták a peremszög alakulására. Arra a következtetésre jutottak, hogy a legnagyobb érdesség ( $R_z=34,79 \mu\text{m}$ ) a 120-as szemcseméretű szalaggal csiszolt felületeken, míg a legkisebb érdesség a hidrofejes gyaluval gyalult mintákon alakult ki ( $R_z=26,40 \mu\text{m}$ ). A legnagyobb felületi feszültséget ( $\gamma_{120}=53,72 \text{ N/m}$ ) a 120-as szemcsefinomságú szalaggal csiszolt mintákon mérték. Nem volt szignifikáns különbség a hidrofejes gyaluval gyalult ( $R_z=26,40 \mu\text{m}$ ) és 150-es szemcsemérettel ( $R_z=29,39 \mu\text{m}$ ) csiszolt minták felületi érdességében, sem a felületi feszültségükben ( $\gamma_{\text{HP}}=50,69 \text{ N/m}$ ;  $\gamma_{150}=50,85 \text{ N/m}$ ).). A mért eredmények alapján azt az általános szabályt fogalmazták meg, hogy minél nagyobb a felületi érdesség, annál nagyobb a tömörfa felület felületi feszültsége, ugyanakkor nem írták le a függvény jellegét, viszont felfigyeltek arra, hogy az nem lineáris. Ez a megállapítás egyezik a szerzők azon korábbi eredményeivel, amelyek a gyakorlatban alkalmazott-

nál durvább felületi érdességű megmunkálások esetében mutattak kedvezőbb tapadási értékeket. Papp és Csiha 2017-ben az érdesség és a peremszög összefüggésének, illetve a függvény jellegének meghatározása érdekében szisztematikus vizsgálatsorozatot végeztek 13 különböző szemcsefinomságú csiszolópapírral: 60, 80, 100, 120, 150, 180, 220, 240, 280, 320, 400, 500 és 600 csiszolt bükk (*Fagus sylvatica* L.), nyír (*Betula pendula*), kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) és lucfenyő (*Picea abies*) felületeken. A peremszöget Goniométerrel mérték és exponenciális összefüggést találtak a különböző érdességű luc-, bükk-, nyír- és kocsánytalan tölgy felületek peremszöge és a csiszolópapír szemcsemérete, vagyis a megmunkálási érdesség között. Az exponenciális függvény fafajfüggő, így az egyenletben a különböző fafajokhoz különböző konstansok tartoznak. Az eredmények a gyakorlatban használt csiszolószemcse méretek tartományában egyeztek a korábbi megállapítással.

Fafelületek minősítése során akárcsak az érdességmérés területén, úgy pl. a felületi feszültség mérése területén is az a helyzet, hogy a rendelkezésre álló mérőműszereket és szabványokat nem a faipar, hanem első sorban a fémfeldolgozó ipar számára fejlesztették ki, így számos mérési paraméter meghatározásra szorul. Papp és Csiha 2014-ben tölgy fafelületek vizsgálata során, miközben összefüggést kerestek a felületi érdesség, a felületi feszültség és a nedvesítés között, a fafelületek peremszögének mérése szempontjából fontos következtetésre jutottak, a felületre cseppentett folyadékcsapp úrtartalmára vonatkozóan. Méréstechnikai ajánlást fogalmaztak meg a csepp méretét illetően: az 5 µl úrtartalmú csepp a gyűrűs likacsú fajok peremszögének mérésére túl nagy, így arra nem alkalmas. A vizsgálataikkal hozzájárultak egy fafelületek peremszög mérését célzó jövőbeni szabvány összeállításának megalapozásához.

A megmunkált tömör fafelület külső sejttrégei a feldolgozás során a forgácsoló erők hatására általában összeesnek és tömörödnek. Ezt a réteget deformációs zónának nevezük. A deformációs zóna túlságosan instabil, a hőmérséklet és a környezet nedvtartalma szerint változik. A szokásos felületi vizsgálatok, mint a felületi érdesség vagy a felületi feszültség mérése, csak kevés és közvetett információt adnak a deformációs zóna állapotáról, bár ez a tapadó réteg. Javasolt egyedi paraméterek helyett a deformációs zóna nedvesítés közbeni viselkedését figyelembe venni, hogy jobban jellemezhessük a felület állapotát és várható reakcióját vízbázisú anyagokkal való kezelés esetén. Molnár és társai (2018) egyedi nedvesítési eljárást fejlesztettek ki, a precíziósan gyalult és hősimított tömörfa felületek deformációs zónáinak desztillált vízzel történő nedvesítése során bekövetkező változások leírására. A közönséges luc (*Picea abies* Karst.), vörösfenyő (*Larix decidua* Mill.), erdei fenyő (*Pinus sylvestris* L.), kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* Liebl.), akác (*Robinia pseudoacacia* L.), rezgönyár (*Populus tremula* L.) és bükk (*Fagus sylvatica* L.) felületeket 3D érdességméréssel jellemezték. A kiértékelést a megfelelő érdesség paraméterrel végezték, amely a deformációs zóna felületi topográfiai változásait jelzi a nedvesedés következtében. Az indikátorok alapján a fafajták és megmunkálási típusok között sorrendet állítottak fel a deformációs zóna által a nedvesedésre adott válasz tekintetében. Bár elméletileg a két alkalmazott vágási mód biztosítja a legsimább megmunkált felületet, a vízzel való nedvesedésállóságuk jelentősen eltért. A precíziósan gyalult felületek deformációs zónája

stabilabbnak bizonyult. Kitűnő eredménynek számított, hogy az akác hősimításkor is megőrizte nedvesítéssel szembeni stabilitását, és a vizsgált fafajok között ezzel a teljesítményével egyedülálló.

A tömörfa felületek felületi feszültsége befolyásolja a nedvesíthetőséget és ezáltal a különböző ragasztók és bevonó/felületkezelő anyagok tapadását. A felületi feszültség a Young-Dupré egyenlet alapján kiszámítható a fa peremszögének mért értékéből. A különböző fémfelületek peremszögének mérésére és adatainak kiértékelésére összeállított eljárások a faanyag vonatkozásában csak részben alkalmasak, kiegészítésre szorulnak. A faanyag a környezeti nedvességtartalommal összhangban változtatja méretét és nedvességtartalmát. Faanyagok peremszögének mérése kapcsán felvetődött kérdés, hogy milyen mértékben befolyásolja a nedvesség tartalom változása a peremszög értékeit, különös tekintettel a poláros jellegű desztillált víz testfolyadéként való használatára. Benkreif et al. (2021) a fa nedvességtartalma (6% és 30% között) és a peremszög közötti összefüggés leírására összpontosítottak, amelyet poláris (desztillált víz (DW)) és diszperzív (dijód-metán (DIM)) testfolyadékokkal mértek. A változás valós trendjének megismerése érdekében igyekeztek kizárni a minták nedvesítése során szimultán növekvő érdesség torzító hatását. Ennek érdekében az összes mintát beáztatták és 30%-nál magasabb nedvtartalomra kondicionálták, majd szárítási folyamat közben hajtották végre a mérésekhez, így csökkenő nedvtartalom értékeket generáltak. Ezzel az eljárással az érdesség torzító hatása minimálisra csökkent. A csiszolt nyírfa minták felületi feszültsége a nedvességtartalom függvényében, desztillált vízzel is és dijódm-etánnal mérve is egyaránt csökkenést mutatott. A szerzők meghatározták a nedvességtartalom és a nedvesítési szög között fennálló összefüggést is, amely  $y = a \ln(x) + b$  alakú logaritmikus függés. Benkreif és Csiha (2021) kimutatták, hogy a növekvő nedvtartalom torzító hatása mind desztillált vízzel és dijódm-etánnal mért peremszögek esetén, mind a felületi feszültség értékek esetén 5% feletti. A kapott eredmények nagymértékben hozzájárulnak a fafelületek számára szükségszerűen kialakítandó mérés-technikai eljárás megalapozásához, mind hazai, mind nemzetközi szinten.

A fatudomány területén ráirányult a figyelem a faanyag tulajdonságainak hőkezeléssel való módosítására, amely folytán a faminták új mechanikai tulajdonságokat, a kezelés körülményeitől függően akár fokozott időjárásállóságot is elérnek. A hőkezelés egyik változata a forró olajban, adott körülmények között való főzés. A fa ablakgyártás számára kedvező új eljárás kapcsán azonban nyitott kérdés volt a kezelés során olajjal impregnálódó minták felületkezelhetősége, a felületkezelő anyagok tapadási képessége az olajos felületeken. Valent és Csiha (2013) négy különböző fafaj: bükk (*Fagus sylvatica* L.), tölgy (*Quercus cerris*), akác (*Robinia pseudoacacia*) és közönséges lucfenyő (*Picea abies*) felületi feszültségét vizsgálták az olajos hőkezelés előtt és után. Felvetődött egy olyan eljárásnak a kidolgozása, amely csökkenti a felületben az olaj mennyiségét. Miután a hőkezelés lezajlott: a mintákat forró vízben forralták, majd vákuumnak tették ki és extra nyomásnak. A tölgy minták esetében a kidolgozott eljárás sikeresnek bizonyult, a vízben való forralás és a vákuumkezelés hatására a felületi feszültség megnőtt, a felületkezelő anyagok jó tapadására engedve következtetni. A bükk, akác és közönséges lucfenyő minták esetében

azonban a további vizes és vákuumkezelés ellenére a felületi feszültség alacsony értéken maradt.

A hőkezelés jelentősen megváltoztatja a fafelület fizikai és mechanikai tulajdonságait, de a hőkezelt felületek öregedése is további változásokat indukál. A hőkezelés egy speciális felületi réteget hoz létre, amely más tulajdonságokkal rendelkezik, mint a tömör fa. Az öregedés során bekövetkező változások leírása segít megérteni a lejátszódó folyamatokat, információt szolgáltat a hőkezelt és öregített felületek ragaszthatóságára és felületkezelhetőségére vonatkozóan, tájékoztatást nyújt a várható élettartamról és javítja a fatermékek használhatóságát. Csiha et al. (2016) TÉT kétoldali együttműködés keretében Lagana és Andor szlovák kutatókkal együttműködésben 3 különböző időtartamú hőkezelés hatását vizsgálták a viszonylag homogén szerkezetű bükk (*Fagus sylvatica* L.) felületek peremzöngének és felületi feszültségének alakulására, 240 órányi mesterséges öregítés során. Arra a következtetésre jutottak, hogy az 5 órán át tartó hőkezelés után áll elő a legkedvezőbb felületi feszültség a jó adhézió kialakulása érdekében. Kudela et al. (2020) a 200 °C-on termikusan módosított bükk felületek nedvesítési szögét mérve arra a következtetésre jutottak, hogy a nedvesítés a kezelési hőmérséklettől függően változott. A hőkezelés időtartama nem bizonyult jelentős befolyásoló tényezőnek. Növekvő hőmérséklettel az eredmények csökkenő fafelületi nedvesítési hajlamot mutattak, ami a fafelület szabadenergia csökkenését is jelenti egyben, ami elsősorban a poláris komponensének csökkenéséből fakad. Ez a tény negatívan befolyásolhatja a tapadás minőségét, amikor a ragasztó és a felületkezelő anyagokat hőkezelt fára visszük fel.

A fasejtfalrétegek természetes alkotórészeit a hőkezelés többféleképpen befolyásolja. Lagana et al. (2021) a magas hőmérsékletű kezelés hatását vizsgálták a sejtfalrétegek tulajdonságaira. A tulajdonságokat atomerő mikroszkópos feltérképezéssel és Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópiával (FTIR) vizsgálták. Az európai bükkfát 200 °C-on 1, 3 és 5 órán keresztül oxidáló atmoszférában hőkezelték. A szekunder S2 réteg és az összetett középső lamella (CML) rugalmassági modulusát, adhéziós erejét és érdességét atomerő-mikroszkóppal (AFM) határozták meg. Az eredmények azt mutatták, hogy a hőkezelés mind az S2 réteget, mind a CML-t érintette. Az S2 réteg merevségét a cellulóz domináns komponens megnövekedett kristályossága okozta, amely 1 órás kezelés után érte el a csúcst. Az ezt követő degradáció az S2, valamint a CML merevségének csökkenését eredményezte. A CML érdességének növekedése 3 órás kezelés után a termikus degradációnak a CML integritására gyakorolt hatásával járt. Az elemzés azt sugallta, hogy a sziringil-lignin csökkenése potenciálisan összefügg a sejtfalrétegek adhéziójának növekedésével. A kutatás rámutatott arra, hogy a hőkezelés sejtszinten olyan változásokat indukál, amelyek hatással vannak az adhézióra.

Európában a tölgyfa nagy mennyiségben elérhető, és az ipari partnerek érdeklődést mutattak a fehérített tölgy iránt, hogy a hagyományos tölgy újraértelmezéseként bevezessék a design bútorok piacán. A bükk fehérítésének viszonylag jól bevált módszere van, és jó eredménnyel végezhető  $H_2O_2$ -vel, ellentétben a tölgygel, ahol ezzel a vegyszerrel végzett fehérítés a felület foltos elszíneződését eredményezi, magas zöldes kiválás kíséretében. Csiha et al. (2013), tölgy (*Quercus cerris*) és akác (*Robinia pseudoacacia*) fafelületek



fehérítésére egy oxálsavas eljárást dolgoztak ki. A javasolt eljárás mindkét vizsgált fafaj esetében sikeres volt. Azonban, mivel a fehérített fafelületek is ki vannak téve a napsugárzás hatására bekövetkező színváltozásoknak, felvetődött a kérdés, hogy a kialakult halvány szín mennyire stabil UV sugárzással szemben. A két fafaj fehérített felületeit mesterséges xenon sugárzásnak tették ki, és viselkedésüket vizsgálták. Ipari méretű alkalmazásra számítva vizsgálták az ipari felhordó berendezések alkalmasságát is. A felületeken beálló színváltozást az idő exponenciális függvényeként írták. A kapott eredményeket korábbi kezeletlen fafelületek viselkedésével összehasonlítva kiemelték, hogy a halványított minták színváltozása a kezeletlen minták viselkedését követi. A halványító szerekkel kapcsolatban azonban aggályként vetődött fel erős környezetre veszélyes jellegük. Az arra alkalmas fafajok  $H_2O_2$ -val történő fehérítéséről mind gyakorlati, mind irodalmi adatok rendelkezésre állnak, de környezetbarát szerek használatáról nem található adat. Csiha és Papp (2013) elsőként publikáltak környezetbarát fehérítő szerrel való faanyag halványításról. Az első kísérlet során vizsgálták a fa nátrium-perkarbonáttal, egy természetesen lebomló sóval történő fehérítésének hatékonyságát. A szer által kifejtett hatást színméréssel ellenőrizték. A fehérített felület beltéri környezetben történő hosszú távú teljesítményének megítélése érdekében a mintákat mesterséges xenon sugárzásnak (Original Hanau Suntest) tették ki. Az eredményeket a hidrogén-peroxid felhasználásával kapott korábbi eredmények tükrében is értelmezték. A nátrium-perkarbonátos kezelésnek a faszövetre gyakorolt fizikai hatását (szálfelhúzás) is vizsgálták a kezelés előtti és utáni felületi érdesség mérésével. Elsőként a kezeletlen és a nátrium-perkarbonáttal kezelt mintákat hasonlították össze a színkülönbség tekintetében. Azt találták, hogy a környezetbarát nátrium-perkarbonát alkalmas lehet bükkfa fehérítésére. A hosszú távú UV sugárzás alatt a minták viselkedése hasonló volt a hidrogén-peroxiddal fehérített mintákéhoz, így ha nem is jobb, de legalább olyan halványítás utáni színstabilitást lehet elérni a környezetbarát halványító szerrel, mint az erős oxidáló szerként ismert hidrogén-peroxiddal.

A faipari felületkezelés terén az egyre szigorodó levegőtisztasági előírások a vizes felületkezelő anyagok fejlesztését tették szükségessé, a káros kibocsátások (RDS) csökkentése érdekében. A legújabb fejlesztéseknek köszönhetően számos kültéri vizes lazúr is megjelent a piacon. Valent et al. (2017) kültéri **vizes viasz vízállóságát** vizsgálták, hagyományos szerves oldószeres lazúrral összehasonlításban, hosszú távú vizes áztatás során. A bevonatok lemezes leválása csak úgy kerülhető el, ha a kötőanyag réteg elzárja a felületeket a víztől, de lehetővé teszi a páradiffúziót. A teszt eredményei azt mutatták, hogy míg a viasszal kezelt minták 156 óra múltán mutattak a 4%-os tömegnövekedést, addig a hagyományos szerves oldószeres lazúrral kezelt minták esetében a vízfelvétel háromszor lassabb volt, ugyanilyen mértékű vízfelvételig 456 órára volt szükség. Az eredményekkel igyekeztek felhívni a gyártók figyelmét arra, hogy az újonnan fejlesztett anyagok esetében a molekula tömeg gyártáskori beállítására nagy figyelmet kell fordítani, mert a vízáteresztő képesség összefüggésbe hozható az élettartam teljesítménnyel is.

A különféle fatermékekkel kapcsolatban elsőként felmerülő aggály, azok tűzállósága. A nyárfák cementkötésű forgácslap gyártásban való lehetséges felhasználása kapcsán

Brahmia et al. (2020) erdeifenyő (*Pinus sylvestris*) és nyár (*Populus cv. euramericana* I 214) forgácsok tűzállóságának növelésére alkalmas tűzgátló (FR) anyagokkal kísérleteztek. A piacon ugyan számos FR kapható, de nem mindegyik működik jól minden fafajta-val. A legalkalmasabb FR megtalálása érdekében azt feltételezték, hogy a jó nedvesítő FR-ek jó tűzállóságot biztosítanak. A nedvesíthetőséget peremszög mérésével értékelték Borax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ), DSHP ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ), DAHP ( $(\text{NH}_2)_4\text{HPO}_4$ ) tűzgátlóval való kezelések során, miközben desztillált vizet használtak referenciaként. Bár a cél a forgács jellemzése volt, eredményeik a tömör nyár tűzgátlásának minősítését is megvalósították, mert a kísérletekhez tömör famintákat készítettek: csiszolással, fűrészeléssel és gyalulással. Az FR tűzállóságának vizsgálatára kaloriméteres tesztet végeztek. Az eredmények azt mutatták, hogy a magas koncentrációjú FR szignifikáns különbségeket eredményezett a csiszolt, fűrészelt és gyalult nyárfelületek peremszög értékei között, ami azt jelzi, hogy az érdességnek erős befolyása van, amikor a tűzgátló szer nagyon koncentrált. A FR koncentrációjának növekedésével a nyár nedvesíthetősége romlott, míg az erdeifenyő nedvesíthetősége többnyire változatlan marad. Egyébként a FR növekvő koncentrációjával a nyárfa tűzállósága javult. Ez ellentmondott az eredeti feltételezésnek. A nyár peremszögei szignifikánsan magasabbak voltak, a megmunkálási típustól függetlenül az erdeifenyőhöz képest, ennek ellenére a legjobb tűzállóságot nyárfán érték el DAHP és DSHP-vel. Megállapítást nyert, hogy adott szerekkel, a nyárfa esetében hatásosabb tűzállóság érhető el, mint erdei fenyőnél.

A klímaváltozással összefüggésbe hozott erdőpusztulás és az ipari felhasználás céljára alkalmas fenyő fűrészáru megfogvatkozása, valamint az igények nyomán felgyorsult gyártás szükségessé tették a vizsgálódást lehetőség szerint gyorsan növe, alternatív, hazai, ültetvényes fafajok után. A rétegragasztott tartók gyártására alkalmas fenyőfélék sűrűsége általában  $300$  és  $700 \text{ kg/m}^3$  között van, a kiváltásukat célzó vizsgálódás hasonló sűrűség tartományban kezdődött. Magyarországon az **ültetvényes nyár** nagy állományai voltak/vannak vágásérett korban, céllá vált hasznosításuk javítása (a papíripari felhasználáson túl) és felmerült tulajdonságaik vizsgálatának szükségessége lehetséges alternatív fafajként az építési fatermékek és tartószerkezetek gyártásában. A Pannónia nyárfát (*P.x euramericana* Pannónia) F. Kopecky fejlesztette ki 1961-ben egy sárvári erdészeti kutatóközpontban. Gyorsan növekvő faj, hasonló az I-214 olasz nyárhoz (*P.x euramericana*, „I-214”), de sűrűsége hasonló a robusta nyárhoz (*P.x euramericana robusta*). A 200-es évek elején a Pannónia nyár a leggyakrabban telepített nyárhibrid Magyarországon (Molnár 2004). Növekedési tulajdonságai rövid-, közép- vagy hosszútávú (10–25 év) termesztésre is alkalmassá teszik (Halupa és Tóth 1988). A Pannónia nyárhibrid sűrűségét tekintve a kissűrűségű osztályba tartozik,  $411 \text{ kg/m}^3$  körüli sűrűsége felveti a kérdést, hogy alkalmas-e teherviselő rétegragasztott tartók gyártására. Az OTKA K 116216 projekt keretében Horváth, Kánnár és Csiha (2019) átfogóan vizsgálták Pannónia nyár (*P.x euramericana* Pannónia) hibrid nyárfa minták és nyárból készült rétegragasztott minták fiziko-mechanikai tulajdonságait (beleértve a MOE, MOR, hajlítószilárdság, nyomószilárdság stb. elemzését). A kutatás során ugyanazon Pannónia nyárfaj 3 különböző nyugat-magyarországi nyár ültetvényről származó mintáit értékelték: a 22 éves „Újrónafó

11G” lelőhelyről, a 24 éves „Győr 540B” lelőhelyről és a 29 éves „Kapuvár 35A” ültetvényről. A fák felmérésére roncsolásmentes vizsgálati technikát alkalmaztak a „Fakopp” TreeSonic műszerrel. Ezt követően a begyűjtött rönkök mintáinak laboratóriumi elemzését (3 rönk/telephely, véletlenszerű minta) végezték el a minták hajlítószilárdságának és nyomószilárdságának meghatározására. Minden helyen ötven fát vizsgáltak meg, hogy meghatározzák a mellmagasságban mért átmérőt és a hullámsebességet. Az eredmények azt mutatták, hogy a vizsgált területek fái között nem volt szignifikáns különbség a stresszhullám sebességében, megállapították ugyanakkor, hogy minél nagyobb a feszültség-hullám sebességének átlagértéke álló fák esetén, annál nagyobb a minták hajlítószilárdságának és nyomószilárdságának az értéke (normál klímán). Horváth és Csiha (2022) a fák sugárirányú növekedését roncsolásmentes eljárással vizsgálva, a TOF adatokból számított SWV (stress wave velocity) értékek alapján a vizsgált nyárfák alkalmasságára vonatkozóan lábon álló fákról gyűjtöttek adatot, 50 véletlenszerűen kiválasztott fa esetében, a faanyag szerkezeti ragasztásokra való alkalmasságának megítélése céljából. Az egyes ültetvények között szignifikáns különbség volt mérhető, a legnagyobb szilárdsági és sűrűségi értékeket az Újrónafő 11G telephelyminták esetében tapasztalták és a geszt legnagyobb dinamikus rugalmassági modulusát az erről az ültetvényről származó rönkökben mérték. Kánnár és Csiha (2021) a Pannónia nyár (*Populus × euramericana* cv. Pannónia) statikus és dinamikus rugalmassági modulusát (MOE) mérték, 4 különböző magyar ültetvényről származó mintán, szerkezeti célokra való alkalmasságuk vizsgálata céljából. Megállapították, hogy a hazai Pannónia nyár fajok rugalmassági modulusa átlagosan 11000 N/mm<sup>2</sup>, ez jelentősen meghaladja a szerkezeti alkalmazásokhoz szükséges küszöbértéket. Ezért ezekről a területekről származó nyárfák szilárdsági tulajdonságaikat tekintve alkalmasak szerkezeti alkalmazásokra, és jó alternatívát jelentenek az építőiparban széles körben használt tűlevelű fajok számára.

A ragaszthatóság és felületkezelhetőség kérdéskörében a nyár változatos sűrűsége miatt az volt az elsődleges kérdés, hogy a fatörzsek származási helye befolyásolja-e a különböző származási helyről származó rönkökből képzett fűrészáru felületek tapadását, illetve vannak-e olyan termőhelyek, amelyek a jó nedvesíthetőség (és így várt jó tapadás) okán előnyben részesítendők. Mivel a tartószerkezeti ragasztók erősebb kötést adnak, mint a faanyag kohéziós ereje, a ragasztási szilárdság közvetlen mérése nehézkes, viszont a nedvesítési, vagy más néven peremszög mért értékeiből jól lehet következtetni a felületek nedvesítésére és tapadási képességére. Rábai et al. (2020) két különböző magyarországi, Győr és Solt ültetvényről származó Pannónia nyár minták nedvesíthetőségét vizsgálták, hogy következtetni lehessen a várható tapadásukra és rétegragasztott tartó gyártására való alkalmasságukra. A győri minták nagyobb peremszöget mutattak poláros (desztillált víz) és diszperzív (díjód-metánnal) tesztfolyadékkal mérve is, mint a solti minták, ami azt jelzi, hogy a solti minták jobban nedvesíthetőek. A Fowkes-modell szerint számított felületi szabadenergia is szignifikánsan különbözött a két ültetvény mintáinál: a solti minták szignifikánsan nagyobb (t teszt, p = 0,05) felületi feszültséggel rendelkeztek, mint a győri minták. A jobb tapadás azonos ragasztóval a solti ültetvényről származó mintákon várható. A vizsgálat eredményei azt mutatták, hogy a származási hely jelen-

tős hatással volt a Pannónia nyárfa felületek nedvesíthetőségére és várható tapadására. Mindazonáltal mindkét mintasorozat desztillált vízzel mért peremszögei nagyobb értéket mutattak, mint az azonos módon kezelt és megmunkált erdeifenyő minták, ami arra utal, hogy várható tapadásuk valószínűleg nem éri el a réteg ragasztott tartó gyártásban elterjedten használt erdeifenyőét.

### **Kitekintés a jövőre**

A faanyag megújuló forrásból származó, természetes körülmények között lebomló, komposztálódó környezetbarát anyag. A rendelkezésre álló ipari alapanyagok sorában a faanyag az egyetlen, amely „előállítás” során nem csak hogy nem szennyezi a környezetet, de egész növekedése során oxigént termel.

Felületkezelése kültérben védi az időjárás degradáló hatásaitól és lehetővé teszi egyes tulajdonságainak, mint például a kopásállóság, karcállóság, víz és vegyszerállóság a javítását. A szintetikus felületkezelő anyagok bizonyították, hogy hatékonyak ezen a téren, azonban a komposztálhatóságuk nem megoldott, rontva a faanyag öko lábnyomát. A fenntartható fejlődés érdekében, szükségessé válik a szintetikus kötőanyagok kiváltása, várható például a növényi alapú UV lakkok fejlesztése stb. Környezetbarát anyagok széles választékban állnak rendelkezésre, de a meglévő ipari technológiákkal csak korlátozottan feldolgozhatók. Fejlesztésre szorulnak a felületkezelési technológiák is a környezetbarát anyagok üzemszerű feldolgozása érdekében. Jól kidolgozott gyártástechnológiával rendelkeznek a ragasztással kialakított teherviselő fatermékek, azonban várható élettartamuk messze elmarad a tömör faanyag várható élettartamától. Anyag és technológiafejlesztésekre lesz szükség ezen a téren is. A klímaváltozás következményének tulajdonított erdőpusztulás szükségessé teszi új, szárazságtűrő fafajok termesztését, a faanyag mint megújuló építési alapanyag iránt mutatkozó növekvő igény hatására várhatóan megerősödik a gyors növekedésű fajokat biztosító ültetvényes fatermesztés. Az elmúlt években számos tanulmány bizonyította, hogy a ragasztás és a felületkezelés paraméterei fafajfüggők. Az új fafajok mindegyike esetében vizsgálni kell, és ki kell dolgozni az optimális technológiai paramétereket a kívánt adhézió elérése és a ragasztott termékek, különösen a réteg-ragasztott teherviselő faszerkezetek élettartamának lehetséges meghosszabbítása érdekében.

## Irodalom

- Bakay I., Salamon M. 1953: A fa ragasztása. Könnyűipari kiadó.
- Benkreif R., Brahmia F. Z., Csiha Cs. 2021: Influence of moisture content on the contact angle and surface tension measured on birch wood surfaces. *European Journal of Wood and Wood Products* 79/4 907–913.
- Benkreif R., Csiha Cs. 2020: Effect of moisture content on the wood surface roughness measured on birch and black locust wood surfaces. In: Németh, Róbert; Rademacher, Peter; Hansmann, Christian; Bak, Miklós; Báder, Mátyás (szerk.) 9th Hardwood Proceedings : Part I. With Special Focus on „An Underutilized Resource: Hardwood Oriented Research”. Sopron, Magyarország: Soproni Egyetemi Kiadó, 304. o.
- Benkreif R., Csiha Cs. 2021: Literature review about the potential risks associated with the use of nanoparticles and products including nanoparticles. In: Petutschnigg, Alexander; Hüsing, Nicola; Tscheligi, Manfred (szerk.) Salzburg Conference For Smart Materials 16 - 17 September 2021 Kuchl, Austria: Book of Abstracts & Conference Proceedings Vol. 1. Salzburg, Ausztria, 54–55.
- Benkreif R., Csiha Cs. 2021: The relevance of wood moisture content when measuring contact angle. In: Young, Timothy M.; Petutschnigg, Alexander (szerk.) Book of Abstracts of the 6th International Conference on Process Technologies for the Forest and Biobased Products Industries – PTF BPI. Knoxville (TN), Amerikai Egyesült Államok: The University of Tennessee, 36. o.
- Benkreif R., Csiha Cs. 2022: Analysing surface geometry of selected hardwood species at different humidity levels. In: Róbert, Németh; Christian, Hansmann; Peter, Rademacher; Miklós, Bak; Mátyás, Báder (szerk.) 10<sup>th</sup> Hardwood Conference Proceedings: Sopron, Hungary, 12–14 October 2022. Sopron, Magyarország: Soproni Egyetemi Kiadó, 21. o.
- Bíró M. 1926: A Grafikai Iparágak Fejlődését Szolgáló Magyar Grafika, Szerkeszti és kiadja: Bíró Miklós, Hetedik évfolyam
- Borovszky S. 1904: Magyarország vármegyéi és városai, Pozsony vármegye. Ipar kereskedelem és közlekedés. Nagyobb ipartelepék. Írta dr. Wolf Gergő
- Borovszky S. 1911: Magyarország vármegyéi és városai. Ipar, kereskedelem, hitelügy és forgalom. Írta Lendvai Jenő, a kereskedelmi és iparkamara titkára.
- Csiha Cs. Krisch J. 2000: Vessel filtration – a method for analysing wood surface roughness of large porous species. *Drevarsky Vyskum* 45: 1 13–22.
- Csiha Cs. 2003: Faanyagok felületi érdességének vizsgálata „P” és „R” profilon, különös tekintettel a nagyedényes fajokra. 148 o.
- Csiha Cs. 2004: Kültéri bútortsalád előállítására tömörfából (akácból) technológiai, szerkezet- és formatervezési kérdések megoldása. Különös figyelemmel a színhomogenizálásra és a környezetbarát felületkezelésre. NKFP, TGYI (2002-2003),
- Csiha Cs., Alpár T., Magoss E. 2004: Surface roughness profile filtering (Curve Cutter). In: COST E 35 Proceedings, Cluny, France, 46–48.
- Csiha Cs., Bencsik B., Gard W.F. 2009: Nedves faanyag ragasztás kísérleti eredmények akác fafajon. IV. Faipari Tudományos Konferencia, 1–3.
- Csiha Cs., Bencsik B., Grad W.F. 2008: Experimental results on green gluing Black Locust. Enhancing bondline performance. *Conference Proceedings*, 179–185.

- Csiha Cs., Csóka L., Litresics G. 2012: Effect of nanotreatment on bond strength. In: Neményi M.; Heil B. (szerk.) *The Impact of Urbanization, Industrial and Agricultural Technologies on the Natural Environment : International Scientific Conference on Sustainable Development and Ecological Footprint*. Sopron, Magyarország: Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó. 5. o.
- Csiha Cs., Csóka L., Litresics G., Biczó G. 2010: LbL treatment of wood surfaces in order to improve bondline performance. In: Teischinger A.; Barbu M.C.; Dunky M.; Harper D.; Jungmeier G.; Militz H.; Musso M.; Petutschnigg A.; Pizzi A.; Wieland S.; Young M.T. (szerk.) *Processing Technologies for the Forest and Biobased Products Industries*. Salzburg, Ausztria, 48–49.
- Csiha Cs., Gurau L. 2011: Study on the influence of surface roughness on the adhesion of water based PVAC. *Proceedings of International Conference „Wood Science and Engineering ” – ICWSE 2011*, 411–419.
- Csiha Cs., Papp É. A., Valent J. 2012: Feature of contact angle of ageing Beech and Birch surfaces. In: Németh R., Teischinger A. (szerk.) *The 5<sup>th</sup> Conference on Hardwood Research and Utilisation in Europe 2012: Proceedings of the „Hardwood Science and Technology” Sopron, Magyarország: Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó*, 41–49.
- Csiha Cs., Papp É.A. 2013: Investigation on bleaching Beech wood using environment friendly agent. In: Jerzy, Szmardzewsky (szerk.) *Proceedings of the XXVI<sup>th</sup> International Conference Research for Furniture Industry*. Poznan, Lengyelország, 7–15.
- Csiha Cs., Papp É.A. 2014: Gyalult lucfenyő (*Picea Abies*) felületi paraméterének vizsgálata mesterséges öregítés hatására. In: Rajnai Zoltán; Fregan Beatrix; Ozsváth Judit (szerk.) *Az 5. Báthory-Brassai Konferencia tanulmánykötetei*. Budapest, Magyarország: Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola, 417–421.
- Csiha Cs., Papp É.A., Valent J. 2013: The feature of color alteration of bleached oak, beech and black locust surfaces during artificial xenon radiation. *Wood Material Science and Engineering* 8:3 212–218.
- Csiha Cs., Horvath N., Lagana R., Németh R., Tomas A. 2016: Effects of pre-treatment on wood surface properties and performance: Overview and preliminary results. In: Alfred, Teischinger; Róbert, Németh; Peter, Rademacher; Miklós, Bak; Fanni, Fodor (szerk.) *Eco-efficient Resource Wood with Special Focus on Hardwoods*. Sopron, Magyarország: University of West Hungary Press, 102–103.
- Csóka L. 2007: Nanotechnológia alkalmazása a papíriparban. 2007. November 14. Budapest, MTE SZ konferencia
- Dr. Asztalos T. 1972: Ausztriai tapasztalatok. *Faipar*, 1972, XXII. évfolyam, 1. szám, 25. o.
- Egyed Á. 2016: Székelyföld története I-III kötet. Magyar Tudományos Akadémia, Bölcsészettudományi Kutatóközpont (Budapest) Erdélyi Múzeum-Egyesület (Kolozsvár) Haáz Rezső Múzeum (Székelyudvarhely). Székelyudvarhely
- European Journal of Wood and Wood Products*, 395–398.
- Évfordulónaptár, Magyar Kémikusok Lapja, LXXIII évfolyam, 2018 január
- Farkas F., Farkas F. J. 1997: A ragasztás kézikönyve. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- Gurau L., Csiha Cs., Mansfield-Williams H. 2015: Processing roughness of sanded beech surfaces
- Halupa L., Tóth B. 1988: A nyár termesztése és hasznosítása. (Cultivation and utilization of poplar). *Mezőgazdasági Kiadó*, Budapest
- Hamar J. 1984: Egy nagyvállalat sikeres alkalmazkodása, avagy a nagyvállalati lét előnyei és hátrányai. *Esettanulmány a Szék- és Kárpitosipari Vállalatról*. Magyar Tudományos Akadémia

- nia Közgazdaságtudományi Intézete. Budapest, 1984. 79–87, I. melléklet: A hajlított bútorgyártás és a Debreceni hajlított Bútorgyár rövid története.
- Horváth N., Csiha Cs. 2016: Bondability of Beech Wood with One-component Polyurethane Structural Adhesive. *Acta silvatica et lignaria Hungarica*. An international journal in forest, wood and environmental sciences, 12. 135–143.
- Horváth N., Csiha Cs. 2022: Measurements of the Load-bearing Structural Aspects of Pannónia Poplar from Sites in Western Transdanubia, Hungary. *Acta silvatica et lignaria hungarica: an international journal in forest, wood and environmental sciences* 18: 2 119–127.
- Horváth N., Kánnár A., Csiha Cs. 2019: On-Site and Laboratorial Investigation of Pannónia Poplar Plantation Wood from Three Different Hungarian Sites. In: Wang, Xiping; Sauter, Udo H.; Ross, Robert J. (szerk.) *Proceedings, 21<sup>st</sup> International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium*. Madison (WI), Amerikai Egyesült Államok: USDA Forest Service, 141–145.
- Kánnár A., Csiha Cs. 2021: Comparative analysis of static and dynamic MOE of pannónia poplar timber from different plantations. *Wood Research* 66: 2 195–202.
- Kúdela J., Lagaňa R., Andor T., Csiha Cs. 2020: Variations in beech wood surface performance associated with prolonged heat treatment at 200 °C. *Acta facultatis xylogologiae Zvolen: the scientific journal of the faculty of wood sciences and technology* 62: 1 5–17.
- Lagaňa R., Csiha C., Horváth N., Tolvaj L., Andor T., Kúdela J., Németh R., Kačík F., Urkovič J. 2021: Surface properties of thermally treated European beech wood studied by Peak-Force Tapping atomic force microscopy and Fourier-transform infrared spectroscopy. *Holz-forschung* 75: 1 56–64.
- Liptakova E., Kudela J., Posch P. 1995: Bewertung der Oberflächengeometrie des Holzes nach verschiedenen Bearbeitungsarten. *Erdészeti és Faipari Tudományos Közlemények, 1994–1995*, 40–41. évfolyam, 193–203.
- Molnár S. 2004: *Faanyagismeret - Wood species*. Szaktudás Kiadó Ház Rt, Budapest
- Molnár Zs., Magoss E., Fuchs I., Csiha Cs. 2018: Stability of thermosmoothed and precision planed solid wood surfaces. *European Journal of Wood and Wood Products* 76: 1. 243–249.
- Németh K., Posch P. 1978: Bevonóanyagokkal kezelt forgácslapok felületi tulajdonságai. *Faipar* 28 (9): 277–279.
- Papp E. A., Csiha Cs. 2017: Contact angle as function of surface roughness of different wood species. *Surfaces and interfaces*, 54–59.
- Papp É. A., Csiha Cs., Makk A. N., Hofmann T., Csóka L. 2020: Wettability of Wood Surface Layer Examined From Chemical Change Perspective. *COATINGS* 10 3 257. o.
- Papp É. A., Csiha Cs.; Valent J. 2012: Colour change of some wood species during artificial xenon radiation. In: Ürmös A.; Mihalik G. (szerk.) *International Interdisciplinary Conference on Colour and Pattern Harmony: 5<sup>th</sup> Colour Specialists International Conference in Hungary*. Budapest, Magyarország. Óbudai Egyetem, 1–5.
- Papp É., Csiha Cs. 2013: Surface Analysis of Sanded and Planed Wood Surfaces. In: Neményi, Varga, Facskó, Lőrincz (szerk.) „Science for Sustainability” *International Scientific Conference for PhD Students*, Sopron, Magyarország: Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, 22–27.
- Papp É., Csiha Cs., Tolvaj L., Csóka L. 2016: Investigation of artificial aged beech wood surfaces with FTIR spectroscopy. In: Alfred, Teischinger; Róbert, Németh; Peter, Rademacher; Miklós, Bak; Fanni, Fodor (szerk.) *Eco-efficient Resource Wood with Special Focus on Hardwoods*. Sopron, Magyarország, University of West Hungary Press, 28–29.

- Papp É.A., Csiha Cs. 2014: Tölgy fafelületek néhány paraméterének vizsgálata megmunkálás után. FAIPAR 62: 63–67.
- Posch P., 1993: Oberflächenbehandlung der Robinie, Das Holz der Robinie. Zürich Publication nr. 1993-1.
- Próder I. 2014: Várpalota Felújított kiállítások az ötvenéves Vegyészeti Múzeumban (Második rész). Magyar kémikusok lapja LXIX 2014 december. Vegyipar és kémiatörténet.
- Rábai L., Horváth N., Kánnár A., Csiha Cs. 2020: Study on the wettability of Pannónia poplar (P.x euramericana Pannónia) from two Hungarian plantations: Győr and Solt. European Journal of Wood and Wood Products 78:5 1057–1060.
- Sandak A., Sandak J., Burud I., Csiha Cs., Noél M. 2015: Degradation kinetics of the short term weathered thin wood samples. Advances in modified and functional surfaces – Final COST meeting of COST Action FP1006. Aristotle University of Thessaloniki (Görögország), Időpont: 2015. április 7–9.
- Szabó I. 1972: Magas hőmérsékleten megszilárdult karbamid-formaldehid ragasztók belső feszültségének vizsgálata. Faipar XXII. évf. 6. szám, 179–183.
- Szabó I. 1973: Magas hőmérsékleten megszilárdult karbamid-formaldehid ragasztók rugalmassági modulusának vizsgálata. Faipar, XXIII. évf. 1973. 3. szám, 88–91.
- Szabó I. 1975: Forgácsolatok furnérozásának intenzitása növelése többemeletes hőprésszel. Kandidátusi Értekezés, Leningrád. EFE Tudományos közlemények (magyarul) 1975. 1. (I. melléklet)
- Szabó I. 1981: Vastagító és hosszabbító toldással készített alkatrészek ragasztásának problémái. Agrártudományi közlemények 40, (II melléklet)
- Szabó I. 1994: A ragasztás minőségét befolyásoló tényezők vizsgálata PVAC vizes diszperziós ragasztók alkalmazásakor. Faipar, 1994. XLIV. évfolyam, 7. szám, 104–106.
- Szekernyés J. 2017: Temesvár kövei 576. o. 20 Ápr.
- Tóth S. 1999: A fafeldolgozás 1945 előtt. Fejezetek a fa- és bútortudomány és az asztalosok történetéből Magyarországon a kezdetektől 1945-ig. Agroinform kiadó és Nyomda Kft., Budapest
- Tóth S. 2001: A fafeldolgozás 1945 után. Fejezetek a fa- és bútortudomány történetéből 1945-től az ezredfordulóig Magyarországon. Agroinform Kiadó és Nyomda Kft., Budapest
- Történeti – topográfiai Adattár – Gazetteer Szeged
- Valent J., Csiha Cs. 2013: The surface tension of some solid wood surfaces heat treated in oil. In: Neményi, Varga, Facskó, Lőrincz (szerk.) „Science for Sustainability” International Scientific Conference for PhD Students, Sopron, Magyarország: Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, 28–33.
- Valent J., Papp É. A., Palla J., Csiha Cs. 2017: Water permeability of two different wood species. Pro ligno. 2017 Volume 13 Issue 4. 387–390.
- Zinad O., Csiha Cs., Al-Attar A. 2023: Cost Analysis of Sustainable Concrete Production Using Waste Nanoparticles. In: Obádovics, Csilla; Resperger, Richárd; Széles, Zsuzsanna; Tóth, Balázs István (szerk.) Társadalom – Gazdaság – Természet: Szinergiák A Fenntartható Fejlesztésben (Nemzetközi tudományos konferencia a Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából): Konferenciakötet. Sopron, Magyarország: Soproni Egyetem Kiadó, 585–593.

URL 1. <https://chemolak.hu/rolunk/>

URL 2. [https://archive.org/stream/nybc314070/nybc314070\\_djvu.txt](https://archive.org/stream/nybc314070/nybc314070_djvu.txt)

URL 3. [https://www.sulinet.hu/oroksegtar/data/telepulesek\\_ertekei/szeged/szeged\\_tortenete\\_4/pages/005\\_az\\_ipar.htm](https://www.sulinet.hu/oroksegtar/data/telepulesek_ertekei/szeged/szeged_tortenete_4/pages/005_az_ipar.htm)



## **Gluing and Surface Treatment of Wooden Materials**

The beginnings of the gluing of wood and the first adhesive developments in Hungarian aspect can be traced back to the Huns. Their multi-layered bows were made with casein glue by laminating. Early industrial research and development of adhesives and coating materials appeared in historical Hungary at the end of the 1800's, typically in two ways: brought by foreign investors settled in Hungary, and in small family businesses, usually following the experiments of an enthusiastic entrepreneur often reminiscent of alchemists. The beginnings of adhesive and surface treatment material production were characterized by the fact that research and development was carried out "in comitatu", within the company producing the material. In 1948, at the time of nationalization, more than 30 small lacquer and paint manufacturing companies were merged into five larger, independent companies. In 1950, the Timber Testing and Wood Farming Institute was transformed into a Timber Research Institute, thus institutionalizing research and development supporting the various branches of the timber industry. In the academic year 1957-58, independent wood industry engineering education began at the University of Forestry and Wood Industry in Sopron, and research and development started parallel to the education. Both the staff of the Wood Research Institute and the lecturers and researchers of the University carried out both basic and applied research in the field of gluing and surface treatment of wood, mainly for the newly established state furniture factories. Starting from the 90s, research was aimed at characterizing the wood interface, with the aim of better adhesion of the applied binders and increasing the service life of glued joints. Since measuring instruments and parameters were developed to measure the roughness of metals and other homogeneous materials, assessing the roughness of wood with an inhomogeneous structure raised fundamental questions. The evaluation of the roughness formed during processing necessitated the determination of a suitable roughness parameter and the development of a special measurement method for large, – open porous species, which is based on filtering out the data of the pores belonging to large open vessels, in order to make possible the adjudication of the roughness occurring on the base tissue.

Measuring the adhesion of adhesive bonded joints by testing adhesive strength is difficult, as adhesives generally provide a stronger bond than the cohesive strength of the wood. On the other hand, it is possible to conclude from the contact angle, whether good adhesion of the surfaces can be expected. The condition of the surfaces is critical for achieving the required adhesion, the higher the surface tension of the solid material, the better its wetting and the expected adhesion. During the measurement of the surface tension, in contrast to homogeneous materials, the effect on the measured values of both the processing roughness and the moisture content of the wood required an investigation, and was described with exponential and logarithmic relationships. There was also a question whether the time elapsed after processing has an effect on the adhesion and adhesive strength of the surfaces, is it necessary to hurry with the application of adhesives and coatings. Our test results obtained during artificial aging revealed that the most fa-

avorable adhesion can be expected immediately after processing for all investigated wood species. Attempts were made to pre-treat wooden surfaces with nano polyelectrolytes in order to increase the adhesion of binders. Despite the doubling of adhesion in some cases, the momentum of research was broken due to health concerns arising in connection with nanomaterials. The advantage of gluing wooden materials in a wet state is that the wood dries more evenly, there is less warping, the yield is better, there is less scrap during drying, and the energy utilization is better due to the elimination of defects carried out before drying. Our experiments on „green” gluing wood in a wet state were successful, the adhesive and the technology proved to be suitable for the purpose of window production. Heat treatment changes the properties of wood materials, however, the changes occurring on the surface of heat-treated wood materials also affect the expected adhesion of adhesives and coating materials. Our tests showed that the higher the temperature at which the wood is heat treated, the more unfavorable surface tension conditions develop. Due to climate change, the replacement of pines has come to the fore. We investigated whether domestic poplar can be suitable for the production of glue laminated load bearing timber products. Our results showed that the place of origin (geographical site) is a very significant influencing factor in terms of the mechanical properties of poplar hybrids. Our tests in recent years proved that the parameters of efficient bonding, coating and surface treatment strongly depend on the wood species.

As result of climate change, with the introduction on the market of new,- fast growing or more drought tolerant wood species, the optimal technological parameters must be investigated and developed in order to achieve the desired adhesion and to extend the life of glued products, especially glue laminated load-bearing wooden structures.

# FEJEZETEK A FAKÉMIA MAGYARORSZÁGI TÖRTÉNETÉBŐL

Albert Levente, Visiné Rajczi Eszter, Rétfalvi Tamás, Hofmann Tamás

## Bevezetés

A fakémia magyarországi történetének összefoglaló bemutatásával adós maradt a tudománytörténet. Ez a tanulmány ebből az adósságból törleszt. A terjedelmi korlátok miatt nem lehetett átfogó jellegű, ezért szerepel a címben a „fejezetek” kifejezés. A selmecbányai és soproni fakémiai kutatások történetét választottuk, kitekintéssel az élő fa és az erdő kémiájára. Kimaradtak, vagy csak utalás formájában jelennek meg a faipari mérnöki tudományok olyan kutatási területei, amelyek kapcsolódnak a fakémiához, de a tanulmánykötet más fejezeteinek tárgyát képezik. A faanyag színe, foto- és termikus degradációja tárgykörökben átfedések is vannak, ezeknél azokat a kutatásokat tárgyaltuk, amelyek a kémiai változások felderítésére irányultak. A műszerezettség rohamos fejlődése, az ipar és a gyakorlat folyamatosan megújuló igényei kiszélesítették a fakémia kutatási területét a faanyagok, mint komplex rendszernek a kémia eszköztárával való vizsgálatára is, amit a faanyagkémia fogalom jelez. Mindkét kifejezést használtuk a tanulmányban. Bővebben tárgyaltuk azoknak a kutatásoknak a történetét, amelyek a fakémiát egy szélesebb spektrumban jelenítik meg. A faanyag abiotikus hatásokra adott válaszainak, színének és színmódosulásainak, foto- és termikus degradációjának kémiai értelmezése a fatudomány és a faipar különböző területein hasznosul. A faanyag savassága, a kioldható szénhidrátok, a flavonoidok és az enzimek kutatási eredményei elvezetnek a faéletten, a növényi biokémia, a színes fahibák kialakulási folyamatai, a növényi stressz és az erdei fák alkalmazkodásának területére. Kémiai hátterük felderítésével a fakémia hozzájárul tudományos értelmezésükhöz. Az antioxidánsok kinyerése, elválasztása és azonosítása az erdei hulladéknak tekintett kéregből, tobozból és levelekből megnyitja az utat komplex hasznosításuk előtt. A fakémia lehetőséget biztosít az élő és fosszilis faanyag kémiai szerkezetének összevetésére, elvezet a paleobotanika világába is. Ebben a tekintetben a fakémiai kutatások orientált alap kutatásnak is tekinthetők. A helyenként igen tömör tárgyalási módot bőséges szakirodalmi hivatkozással kíséreltük meg ellensúlyozni. A tanulmány összeállításakor szerkesztési elvként a kronológiai elvet alkalmaztuk, óvakodtunk a jelen központú (whig) megközelítéstől.

## A fa kémiai összetétele

A faanyag mikro- és nanokompozit polimer, a sejtfal biokompozit polimernek tekinthető. Elemi összetételében a C, H, O, N, S, P atomok mennyisége dominál, de megtalálhatók benne makroelemek (Ca, K, Mg, Mn, Fe) és nyomelemek (Ba, Al, Fe, Zn, Cu,

Ti, Pb, Ni, V, Co, Ag, Mn, Na, B, Mo, Se és Si) is. Ezek karbonátok, szulfátok, foszfátok, szilikátok, oxalátok formájában, gyakran fémorganikus komplexet képezve vannak jelen. Befolyásolják a színt, a kopásállóságot, a megmunkálhatóságot és a tartósságot. Az összetett morfológiai szerkezetű fának a legfontosabb kémiai összetevői (főkomponensei) makromolekulák. Tömegarányuk a különböző fafajoknál változó, genetikailag meghatározott, befolyásolják a termőhely viszonyok is. Tömegszázalékban: cellulóz 43–46%, hemicellulózok (poliázok) 27–37%, lignin 20–27%. A cellulóz a sejtfa vázanyaga, a lignin kötőanyag szerepet tölt be, a hemicellulóz kapcsolódik mind a cellulózhoz, mind a ligninhez. A cellulóz  $\beta$ -D-glükóz egységekből felépülő, redukáló jellegű lineáris homopolimer, amelyben a monoszacharid egységek  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 4) glikozidos-kötéssel kapcsolódnak egymáshoz. Polimerizációs foka eredetfüggő, a facellulózé 7000–10 000 közé tehető. Nagyonbrészt (50–90%) rendezett, kristályos szerkezetű. Évente kb.  $7,5 \cdot 10^{10}$  t cellulóz keletkezik (Csiszár 2008). Kristálytani szempontból fontos az  $\alpha$ -,  $\beta$ - és  $\gamma$ -cellulózok megkülönböztetése, de különbséget jelez a cellulóz I., II. és III. elnevezés is.

A fák sejtfaiban a cellulóz porózus, folytonos szövetet képez, amelyben egymással közlekedő, igen finom ultramikroszkópikus üregek találhatóak. Ezekben az üregekben foglalnak helyet a hemicellulózok, melyek öt és hat szénatomot tartalmazó monoszacharidok polimerjei. A hemicellulózok többnyire hidrogén-kötéssel kapcsolódnak a cellulózhoz. A cellulóz és a hemicellulóz között nagy a genetikai hasonlóság, ezért a fa teljes szénhidrát-tartalmának (cellulóz, pentozánok, hexozánok és poliuronsavak) jelölésére a holocellulóz fogalmat használják.

A lignin komplex aromás biopolimer. Háromdimenziós sűrű hálózatot épít metoxilált és nem-metoxilált fenilpropanoid egységekből. A három alapvegyület (monolignol) a koniferil-alkohol, a szinapil-alkohol és a p-kumaril-alkohol enzimkatalizált gyökös polimerizációjával, szén-szén és szén-oxigén éterkötések kialakulása révén jön létre. A bioszintézis során utolsó komponensként épül be a növényi sejtbe. A szénhidrát mátrix interfibrilláris üregeiben a cellulóz fibrillák külső részén alakul ki. A lignin és a hemicellulózok (főként xilánok) között gyakori a kovalens kötés. A lignin rendkívül ellenálló a kémiai, biológiai és termikus degradációval szemben, mechanikai és kémiai védelmet biztosít a faanyagoknak. A középső lamellában található meg a legnagyobb mennyiségben, ahol a rostok között a cementhez hasonló kötő szerepe van. A sejtfa szerkezetében a legnagyobb mennyiségben a másodlagos sejtfa S2 rétegében van jelen. Itt a hemicellulózzal amorf mátrixot képez, amely megvédi a beleágazódott cellulóz rostokat a biológiai bontástól. Az egy metoxicsoportot tartalmazó koniferil-alkohol a fenyőfélék (80%), a két metoxicsoportot tartalmazó szinapil-alkohol a lombosfák ligninjének fontos építőköve. Ez utóbbiakban a koniferil-alkohol: szinapil-alkohol arány 53:43. A lignin, a hemicellulózok és a cellulóz által létrehozott szerkezetet lignin-szénhidrát komplexnek nevezzük.

A faanyag kisebb mennyiségben (0,5–10%), különböző oldószerrel kioldható, ezért extraktnak nevezett anyagot is tartalmaz. Szinonimaként a járulékos anyag fogalmat használják. Az extraktanyagok kivonása változó polaritású oldószer sorozattal, petroléterrel, dietil-éterrel, aceton-víz eleggyel, etanol-víz eleggyel, vízzel és lúggal történik

(Faix 2008). Gyakorlati jelentősége van a dioxánnal történő és a szuperkritikus kioldásnak is. Az extraktanyagok minősége – és kisebb mértékben mennyisége is – függ a fa családjától, nemzetségétől, fajától és fajtájától, alapját képezi a kemotaxonomiának, a fák kémiai alapú rendszerezésének. Befolyásolják a fa színét, szagát, tartósságát, a ragaszthatóságot, felületkezelhetőséget, a szárítást, a kémiai feldolgozhatóságot, a technológiai folyamatokat, védőhatást fejtenek ki a biológiai károsítókkal és a fotodegradációval szemben, részt vesznek a környezetbe történő anyagtranszportban (terpén emisszió) (Kovács 1979, Németh 1997). Kémiai szerkezetük alapján csoportosítják őket. A főcsoportokba tartoznak az egyszerű fenolok és polifenolok; a terpének és gyanták; a további járulékos anyagok (cukrok, ciklitek, zsírok, viaszok és alkaloidok). A két első főcsoport további alcsoportokra bontható (Németh 1997).

A fakémia szoros értelemben a cellulóz, a hemicellulóz, a lignin és az extraktanyagok kinyerésével, szerkezetével és tulajdonságaival foglalkozik. Tárgyköre bővíthető az élő fa és az erdő kémiájával. A fakémiához sorolható egyes erdei melléktermékek (terpentin, fenyőolaj, gyanta, szurok, hamuzsír) kinyerése, kémiai összetételének vizsgálata és felhasználása is. A faanyag komponenseinek elválasztása után lehetővé válik azok igen széleskörű, ipari (pl. cellulóz- és papíripar) felhasználása. A fa a zöld kémián keresztül a jövő energetikai és kémiai anyagforrása (Molnár et al. 2011; Jakes et al. 2016; Tólos-Nebehaj et al. 2019; Mai et al. 2021; Hofmann et al. 2022a). A fakémia történetének legfontosabb felfedezéseit és kiemelkedő kutatóit egy 2021-ben megjelent tanulmány foglalja össze (Mai et al. 2021).

## **Fakémiai kutatások Selmecebányán**

A tudománytörténet Selmecebányát tekinti a kémia tudományos kutatása bölcsőjének hazánkban (Proszt 1938). A kitűnő gyakorlati képzéséről és világszintű műszaki megvalósításairól elhíresült selmecebányai Akadémia (Vadas 1896; Proszt 1938; Albert 2008) képzési és kutatási programjaiban a fakémiához kapcsolódó kérdéskörök is fellelhetők. Ezek elsősorban az erdei melléktermékekkel (terpentin, fenyőolaj, gyanta, szurok, hamuzsír) és a faanyag energetikai felhasználásával (égés, fűtőérték, szenítés, korom) foglalkoznak (Albert 2008).

Giovanni Antonio Scopoli az Ásványtan-Kémlészet-Kohászat tanszék vezetője (1769–1779) már 1778-ban a lucfenyő nemzetségből származó egyes fafajok terpentin, fenyőolaj, gyanta és fekete szurok tartalmára vonatkozó összehasonlító vizsgálatokat végzett (Scopoli 1788). Wilckens Henrik Dávid a Bányászati Akadémia Erdészeti Intézetének első tanára az 1808/1809-es tanévben oktatta a „Fatechnológia, különösen a szenítés phisikai és chemiai alapelvek szerint” c. tárgyat, amelyben szerepelt a terpentin, a terpeninolaj, a korom és a hamuzsír is (Vadas 1896; Albert 2008).

Bedő Albert 1878-ban a kocsányos és kocsánytalan tölgy kérgének csersavtartalmára vonatkozó összehasonlító vizsgálatokat végzett (Bedő 1878).

Bencze Gergely a Bányászati és Erdészeti Akadémia Erdészeti Vegytani Tanszékének vezetője (1885–1923) (Schelle & Bencze 1916; Szodfridt 1995; Albert 2000) az akác tűzi-

fájának hamuját vizsgálva megállapította, hogy kiváló trágyaszerként is felhasználható (Bencze 1893). Mérté a reves és ép tűzifa (bükk, gyertyán) fűtőértékét (Bencze 1900, 1901).

Tuzson János a Selmecebányai Erdészeti Kísérleti Állomás adjunktusa behatóan vizsgálta a bükk (*Fagus sylvatica* L.) álgesztesedését. Kémiai elemzése alapján megállapította, hogy a színanyagot „chemiailag ismert anyagnak nem nevezhetjük, hanem még természetének megítéléséhez sincsenek biztos támpontjaink” (Tuzson 1903).

A faanyag kémiai komponenseinek kutatásával Selmecebányán először Zemplén Géza, a Bányászati és Erdészeti Főiskola Vegytan Tanszékének tanársegédje, majd adjunktusa (1906–1913) foglalkozott (Móra 1971; Szabadváry & Szőkefalvi, Nagy 1972; Móra et al. 2015). „Fából készült cukor és alkohol” c. tanulmányában részletesen tárgyalta a különböző fafajok faanyagának kémiai összetételét, elsősorban a témához kapcsolódó mono-, di- és polyszacharidokat. Tanulmányával az Országos Erdészeti Egyesület pályázatán elnyerte az 1908. évi Deák Ferenc-pályadíjat. Tanulmányozta a káliumpermanganát hatását a cellulózra (Zemplén 1907a, b); az erdei fák levél extraktumainak nitrogén tartalmát (Zemplén 1908); a túlhevített vízgőzzel végzett falepárlást (Zemplén 1909, 1910a); a parafa faanyagának kémiai összetételét (Zemplén 1910b, 1913a) és a cellulóz részleges hidrolízisét (Zemplén 1913 b, c, d). Diószeghy Dániel tanulmányozta a fa hőértékét és tüzelési tulajdonságait (Diószeghy 1941).

### **Fakémiai kutatások Sopronban 1919-1960 között**

1919 után a Selmecebányáról kényszerűen Sopronba költözött soproni felsőoktatási intézményt a folyamatos átszervezések, átnevezések és személycserék (is) jellemezték (Moór et al. 1983; Németh 2004; Lichner 2004). A kémiát mind diszciplínát oktató és művelő tanárok között megtaláljuk Bencze Gergelyt, Vági Istvánt, Botvay Károlyt, Hauer Alfrédet, Stasney Albertet, Cserjéssy Antalt, Csanády Etelét és Kiss Józsefet. Tudományos profiljukban más területek voltak hangsúlyosak, faipari kar nem létezett, ezért kevés kutatási eredmény született a fakémia területén. 1951-ben Romwalter Alfréd a Magyar Agrártudományi Egyetem Erdőmérnöki Kara Kémia Tanszékének egyetemi tanára (1950–1954) az Erdészeti Tudományos Intézettel (ERTI) együttműködve tanulmányozta a tanninokat. Német nyelvről lefordította „A fa kémiai technológiája” c. szakkönyvet (Romwalter 1953). Utóda Kiss József egyetemi tanár (1955–1956) vizsgálta a faanyag kémiai komponenseinek szerkezetét. Kutatási eredményeiről 1955-ben előadást tartott a főiskola tudományos ülészakán „Újabb eredmények a fa alkotókomponenseinek kémiai szerkezetkutatása terén” címen (Kiss 1955).

### **Fakémiai kutatások Sopronban 1960 és 1981 között**

1960-tól a soproni székhelyű mindenkori felsőoktatási intézet Erdőmérnöki- és Faipari Mérnöki Karának tanszékei a faanyaghoz, az erdei fákhoz és az erdőhöz kapcsolódó kémiai kutatások meghatározó centrumává váltak. Szendrey István a Kémia

Tanszék vezetője (1960–1988) Juhász Miklósnéval együtt tanulmányozta a különböző fajok levélkataláz enzimjeinek aktivitását (Szendrey & Juhászné 1965, 1969); Németh Károllyal a fa-poliészter rendszerek kölcsönhatását és izolálásuk lehetőségeit (Szendrey & Németh 1966); felmérte a kémiai tudományok szerepét a belterjes erdőgazdaságban (Szendrey 1967); indikátorként használt radioaktív foszfor izotóppal követte a foszfor vándorlását egészséges és kéregfekélyes nyárfák törzsében (Szendrey 1968); kutatta a vékonyfa és a levélananyag (Szendrey 1972), valamint a lignin gyakorlati felhasználásának lehetőségeit (Szendrey 1975); vizsgálta a Trifenoxin 100 arboricid hatásának biokémiáját akácon (Szendrey & Csanády 1972); radioaktív nyomjelzéssel követte az arboricidek inaktiválódását élő fában (Szendrey 1978); felmérte a cellulózipar fejlesztésének lehetőségeit az erdei biomassza hasznosításával (Szendrey 1982); tanulmányt írt az erdészeti kémiai kutatások újabb eredményeiről (Szendrey 1988).

Juhász Miklósné a fás növények kataláz enzim aktivitásának mérésével követte az erdei csemeték életképességét és a különböző erdőállományok faegyedeinek növekedési erélyét. Szendrey Istvánnal együtt vizsgálta az erdei fajok levélkataláz enzimjeinek aktivitását akác (*Robinia pseudoacacia* L.), hárs (*Tilia platyphyllos* L.) és olasznyár (*Populus italica* L.) fajokon (Szendrey & Juhászné 1969), később önállóan akácon és gyertyánon (*Carpinus betulus* L.) (Juhászné 1978). Vizsgálta a levélkataláz aktivitásának változását Trifenoxin 100 hatására akácon és gyertyánon (Juhászné 1978), összefoglaló szakcikket közölt a fás szárú növények kataláz enzimjei aktivitásának változásairól (Juhászné 1987). A gyomírtószeres és néhány levélkórokozó hatását a főbb állományalkotó fajok levélkataláz aktivitására doktori értekezésében foglalta össze (Juhászné 1982).

Csanády Etele magasszintű matematikai és fizikai ismereteire alapozta széles spektrumú kutatásait. A fakémiához kapcsolódik a részvétele a Trifenoxin 100 arboricid alkalmazásának biokémiai vizsgálatában akácon (Szendrey & Csanády 1972) és a fakémia számítástechnikai problémáiról írt tanulmánya (Csanády 1987).

Keszei Istvánné Németh Károllyal együtt tanulmányozta a faanyagból kinyert pentozánok termoanalitikáját, a cserfakéreg savas hidrolízisét (Keszei I.-né 1980), és a hidrolízis kinetikáját (Keszei I.-né 1987). A fakéreg hasznosításának lehetőségeit a furfurologyárásban doktori értekezésében foglalta össze (Keszei I.-né 1984).

Patocskai Gergely a színezett fatartalmú papírok sárgulását tanulmányozta. Megállapította, hogy a sárgulási folyamatban a legfontosabb szerepe a fa feltárási fokának van. Összevetette a papír sárgulási sebességét a színezék degradációjának sebességével és kimutatta, hogy a színezett lapoknál előfordulhat negatív sárgulási szám, ha a színezék degradációjának sebessége nagyobb, mint a papír sárgulási sebessége (Patocskai 1989). Kutatásait különböző rostok anyagában történő színezésének tanulmányozásával folytatta (Patocskai 1992).

Németh Károly a Kémia Tanszék (1994-től intézet) vezetője (1988–1999) 1970-ben Helsinkiben tanulmányozta a sugárkémiai polimerizációt és ezzel a módszerrel fa-polymer kompozitokat állított elő. A fa-telítetlen poliészter rendszer kölcsönhatásait kandidátusi értekezésében foglalta össze (Németh 1973). Szendrey Istvánnal együtt derivatográfia segítségével vizsgálta a közönséges nyír (*Betula pendula* L.) kémiai alkotórészeit (Németh

& Szendrey 1973). Felmérte a fa-polisztirol kombináció gombaállóságát (Németh 1976) és a fa nedvességtartalmának szerepét a poliuretán-fa kompozitok higroszkóposágában (Németh 1986).

## **Fakémiai kutatások Sopronban 1981 után**

### **A faanyag színérése. Kémiai változások a faanyag foto- és termikus degradációjában**

Németh Károly úttörő szerepet vállalt a kezeletlen és kezelt faanyag színéréseben. Szakcikkek sorozatát közölte kutatási eredményeiről azzal a céllal is, hogy a módszert a hazai faiparban meghonosítsa (Németh 1981a, b, c, 1982, 1983). A tárgykörben közölt első szakcikkében (Németh 1981a) ismertette a színérés alapfogalmait. 18 fafaj színérése alapján megállapította, hogy színük a színezet, a telítettség és a világosság alapján jól csoportosítható. Kimutatta, hogy a hő és a fény általában a világosság csökkenését és a telítettség növekedését eredményezi, bizonyította, hogy a színváltozás jellege fafajfüggő.

Vizsgálta a lakkozásnak és a lakk felépítési módjának a hatását a fa színére. Megállapította, hogy jelentős színváltozás olyan fafajok esetében várható, amelyek több színes, vagy színeképzésre alkalmas járulékos anyagot tartalmaznak. A lakkok közül azok okozzák a legnagyobb színváltozást, amelyek kromofór csoport képződésével járó reakcióba lépnek a járulékos anyagokkal (Németh 1981b).

Kutatta a felületelőkészítés, a fafaj, a pác típus, a pác szín és a felviteli eljárás hatását a faanyag színére. Kimutatta, hogy a felhordott pác ugrásszerűen megváltoztatja a faanyag színét, a világosság csökken, a szín a pác színének megfelelő tartományba tolódik. További pác felvitelével a világosság csökkenése lassul (Németh 1981c).

17 fafaj színérési eredményei alapján bizonyította, hogy a fafajok világossági osztályokba sorolhatók öt világosság-egységnyi különbség alapján. Megállapította, hogy egy fafaj pontos színjellemezésére mind a három színjellemzőre szükség van. Jó korrelációt állapított meg a színezeti szög és a világosság között (Németh 1982).

Ismertette a CIELAB színingermérő rendszer elméleti alapjait és alkalmazásának lehetőségeit a fafajok színezeti szög alapján történő csoportosítására. Bizonyította, hogy az osztályozásra a telítettség alkalmazása kevésbé alkalmas, a világosság lehetőségei pedig korlátozottak. Kimutatta, hogy a lakkozás hatására a faanyagok minden színjellemzője megváltozik, a legfontosabb a világosságcsökkenés (Németh 1983).

Németh Károly alkalmazta a színérést a fa felületi energiája és a színe közötti kölcsönhatás kutatásában (Németh 1985). A faanyagban nedves ammóniás kezelés hatására végbemenő deacetilezési folyamatokat FTIR technika alkalmazásával követte, a keletkező ecetsavat a faanyag vizes extraktumában mutatta ki. Bizonyította, hogy a kezelés hatással van a faanyag finomkémiai felépítésére (Németh 1987a). Vizsgálta a fapép vízben oldódó és kötött savtartalmát (Németh 1987b).



A szakirodalom szerint a faanyagban a különböző degradációk által kiváltott konkrét kémiai folyamatokat DRIFT (Diffúzió-Reflexiók Fourier Transzformációs Infravörös Spektroszkópia) technikával, vagy reflexiók UV spektrofotometriával lehet felderíteni (Kubel & Pizzi 1982). Kutatásai magasabb szintre emelése végett Németh Károly együttműködött a műszerezettség tekintetében élenjáró Hamburgi Egyetem Fakémia és Technológia Intézetével, elsősorban Oscar Faix professzorral. Kísérletei egy részét tanulmányutjai során Hamburgban végezte.

Németh Károly és Oscar Faix fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.) és közönséges nyár (*Populus tremula* L.) famintákat fénnel sugározott be és mérte a színváltozást, elemezte az IR és UV spektrumokat. Megállapították, hogy a fény hatására a fa felületén először fotooxidáció zajlik, amit degradáció követ (Németh & Faix 1988).

Oscar Faix és Németh Károly DRIFT spektroszkópiával is monitorozta a fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.) és a rezgő nyár (*Populus tremuloides* L.) fotodegradációját szimulált kültéri időjárási viszonyok között. Spektrális különbségeket mutattak ki a fafaj és a besugárzási idő függvényében és eltéréseket a vízzel extrahált bomlástermékek között. Megállapították, hogy a különbségek számszerűsíthetők és exponenciális egyenletekkel leírhatók (Faix & Németh 1988).

Németh Károly bizonyította, hogy a fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.) és a rezgő nyár (*Populus tremula* L.) faminták fotodegradációja a konzekutív reakciók közé sorolható, az egyes lépések sebességi állandóit egybevetve lehetőség nyílik a fajok fénnel szembeni ellenállóképességének összehasonlítására és az öregítő berendezés gyorsító tényezőjének meghatározására (Németh 1989a). Kimutatta, hogy a fotodegradáció első szakaszában színképző csoportok képződnek és a lignin jelentősen degradálódik. A második szakaszban a színhordozó csoportok száma csökken, a lignin tovább degradálódik. Jelentős változások játszódnak le a szénhidrát frakcióban is (Németh 1990).

Vizsgálta a fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.) és a fekete nyár (*Populus nigra* L.) faanyagának kémiai változásait mérsékelt termikus igénybevétel és nedves ammónia hatására. Megállapította, hogy a faanyag termikus kezelése során a világosságváltozás adja a színváltozásra vonatkozó legtöbb információt, értékei közelítenek legjobban a szubjektív színmegítéléshez. Értelmezte a lignin viszonylagos termikus stabilitását, valamint az olajok, a terpének és a gyanták szerepét a degradációban. Legfontosabb kutatási eredményeit akadémiai doktori értekezésében foglalta össze (Németh 1989b).

Németh Károly színméréssel és FTIR spektroszkópiával követte a fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.) faanyag abiotikus degradációját laboratóriumi körülmények között. Megállapította, hogy a soklépcsős folyamat szakaszokra bontható és azok jól jellemezhetőek a világosságállandóval (Németh 1990).

Németh Károly és Oscar Faix DRIFT-spektroszkópiával követte a fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.) és a fekete nyár (*Populus nigra* L.) fotodegradációját. Két szakaszt ismertek fel, az első oxidációs szakasz, a második degradatív. Megállapították, hogy mindkettő fafajfüggő (Németh és Faix 1992).

Németh Károly és Vanó (Varga) Viktória kutatta a környezeti atmoszféra szerepét a fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.) fotodegradációjában. DRIFT spektroszkópiával

kimutatták, hogy a fehér akác extraktanyagai jelentős fotostabilizáló hatást fejtenek ki, miközben oxidatív polimerizációt szenvednek és emiatt a faanyag sötétedik (OTKA jelentés 1992).

Németh Károly és Keszei Istvánné vizsgálta különböző fahulladékok savas hidrolízisének maradékát derivatográfias eljárással. Megállapították, hogy az alfa-cellulóz a savas hidrolízissel szemben alacsony stabilitást mutat, a hidrolízis több lépcsőben megy végbe, a folyamat során előbb a béta-cellulózhoz, majd a hemicellulózhoz hasonló kolloid kémiai tulajdonságú anyag keletkezik (OTKA kutatási jelentés 1992).

Németh Károly és munkatársai vizsgálták a faanyagban alacsony hőmérsékleten lejátszódó folyamatok kinetikáját (Németh et al. 2003).

Németh Károly az oktatásban is használt szakkönyveket is írt (Németh 1978, 1997).

Vanó (Varga) Viktória kutatta az extraktanyagok szerepét a faanyag foto- és termikus degradációjában (Németh, Faix & Vanó 1992; Németh & Vanó 1996). Kimutatta a robinetin és kvercetin UV-fény által kiváltott degradációjában a különbségeket. Megállapította, hogy az UV-besugárzás kezdetén a robinetin világossága gyorsan és jelentősen csökken, majd nagymértékben megnő az oxidációs és az azt követő polimerizációs folyamatok eredményeként. A világosság a besugárzás kezdetén a kvercetin esetében is csökken, de viszonylag rövid idő alatt állandósul. Megállapította, hogy a különbség alapján a robinetin és a kvercetin UV-fény okozta színváltozása modellként szolgálhat a különböző faanyagok színváltozásának leírására és alkalmazta azt (Németh & Vanó 1995; Varga 1996, 1997). A „kvercetin típusú” fotodegradáció azokra a lombos fákra jellemző, melyek faanyaga extraktanyagot egyáltalán nem, vagy csak igen kis mennyiségben tartalmaz. A nagy mennyiségű, jórészt színes extraktanyaggal rendelkező faanyagoknál „robinetin típusú” a változás. A belső és külső tényezők szerepét az akác faanyagának fotodegradációjában kandidátusi értekezésében foglalta össze (Varga 1997).

Molnárné Hamvas Livia favedőszerrel kezelt bükk (*Fagus sylvatica* L.) és lucfenyő (*Picea abies* L.) minták vizes extraktumait tanulmányozva megállapította, hogy a faanyag járulékosanyag-tartalmának hatására a favedőszerrel különböző mértékben redukálódnak (Molnárné 1994). A faanyagtól elkülönítetten vizsgálta a faanyag tulajdonságait jelentősen befolyásoló robinetin, kvercetin és rutin flavonoidok spektrofotometriás sajátságait különböző kémhatású oldatokban és inert szilárd felületen. Meghatározta a flavonoidok fő spektrális adatait (Molnárné 1997); nyomon követte oldatban, különböző kémiai körülmények között a robinetin és kvercetin szerkezetváltozásának valószínű útvonalát (Molnárné 2000); kimutatta, hogy a kvercetin és robinetin szilárd fázison bikromát ionok jelenlétében oxidálódik és a keletkezett króm(III)-ion reagál a termékkel (Molnárné 2002). Vizsgálta a kvercetin és a robinetin bomlását ultraibolyafény hatására és kimutatta, hogy először kinoidális szerkezet alakul ki, amit gyorsan követ a teljes bomlás (Molnárné & Németh 2002).

Leírta az alumínium(III)-kvercetin és alumínium(III)-robinetin komplexek kialakulását és tisztázta a szerkezetüket. Meghatározta az alumínium-rutin és alumínium-kvercetin komplexek látszólagos stabilitási állandóit (Molnárné 1997, 2000). Kimutatta a króm(III)-robinetin és króm(III)-kvercetin komplexek képződését szilárd fázison (Mol-

nárné & Németh 2002). Bizonyította a kémiai közeg meghatározó szerepét a réz(II)-rutin és réz(II)-kvercetin komplexek kialakulásában (Molnár-Hamvas et al. 2002) és tisztázta a szerkezetük közötti különbségeket (Molnárné; Börcsök & Németh 2002). A fotodegradáció sebességét követve bizonyította, hogy a robinetin és kvercetin króm(III)-ionokkal képzett komplexei jelentős, a króm(VI)-ionnal képzett komplexei kisebb mértékben lassítják a degradációt (Molnárné & Németh 2003). Kutatási eredményeinek egy részét doktori értekezésében foglalta össze (Molnárné 2003).

Molnárné Hamvas Lívia munkatársaival vizsgálta a króm(III)- és króm(VI)- ion tartalmú oldatokkal impregnált fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.) és rezgő nyár (*Populus tremula* L.) fotodegradációját. A felületi rétegben lejátszódó változásokat UV-VIS-NIR spektrumok alapján követték. Megállapították, hogy a felületek saját fényelnyelését elsősorban az ultrabolya tartománybeli abszorpció jellemzi. Kimutatták, hogy az inert (szilikagél)- és cellulózalapú hordozók, valamint a nyárfelület abszorpciós spektruma króm(III)-ionnal történő kezelés hatására csak az ion saját fényelnyelésére jellemző módon változik. Akácra a flavonoidokra utaló csúcsok módosulása alapján kémiai átalakulásra, komplexképződésre következtettek. Króm(VI)- ionnal kezelt inert hordozón csak az ion saját abszorbcanciáját mutatták ki. Feltételezték, hogy a nyárnál a spektrumváltozást a króm(VI)-ion megkötődése és a lignin oxidálódása okozza. Akác felületen a fényabszorpció sokkal összetettebb, a flavonoidok degradációjára, komplexképződésre és a króm(VI)- ion redukciójára utal (Molnárné et al. 2004).

Csonkáné Rákosa Rita vizsgálta a magas extraktanyag tartalmú fehérakác (*Robinia pseudoacacia* L.), a kevesebb extraktanyagot tartalmazó feketenyár (*Populus nigra* L.), az extrahált akác faanyagok és a modellanyagokként kiválasztott flavonolok (kvercetin és robinetin) termikus degradációját. A kvercetin, robinetin, fizetin, kempferol, miricetin, valamint a rutin- és miricitrin glikozidok oxidatív és inert atmoszférában végzett termoanalitikai vizsgálata során szoros összefüggést talált a termikus stabilitás és a kémiai szerkezet között. Megállapította, hogy a vizsgált vegyületekben a hidroxil-csoportok helye és száma, valamint a 3-O-glikozidok természete és kapcsolódása befolyásolja a termikus stabilitást. Kimutatta, hogy a flavonoidok hő hatására részben oxidatív degradációt szenvednek, részben polimerizálódnak, mindkét esetben színes vegyületek képződnek (Csonkáné 2005a). Megállapította, hogy az akác termikus bomlása magasabb hőmérsékleten kezdődik, mint a nyaré és az extrahált akácé. Bizonyította, hogy az extraktmentes akácfaanyag termikus hatásra bekövetkező színváltozása jellegében a nyár színváltozását követi (Csonkáné & Németh 1998). Kimutatta, hogy a robinetin és kvercetin termikus degradációjának mechanizmusa különbözik, és ezen az alapon a faanyagra jellemző színváltozást osztályozni lehet robinetin és kvercetin típusú hőbomlásra (vö. Varga 1996). Hipotézise szerint a hőkezelés és az azt követő visszahűtés folyamán reverzibilis, feltehetően konformációs átalakulás megy végbe (Csonkáné 2005b). Kutatótársaival bizonyították, hogy a fenyőfélék fotodegradációjában a színváltozás jellege általában a lombos fafajokéhoz hasonló, de a vörösfenyő (*Larix decidua* L.) extrakt tartalma miatt „robinetin típusú” változást mutat (Fabich et al. 1998). Fontosabb kutatási eredményeit doktori értekezésében foglalta össze (Csonkáné 2005b).

Stipta József és munkatársai vizsgálták a különböző tölgyfajok színjellemzőit (Stipta et al. 2005a), a különböző fajok osztályozásának lehetőségét színjellemzőik alapján (Stipta et al. 2005b), a fizikai és kémiai jellemzők szerepét a forgácslapok formaldehid emissziójában (Stipta et al. 2000), és a krómionok és a fény hatását a faanyag színére (Stipta et al. 2002). Németh Károly és Stipta József UV-fénnyel kezelt nyár és akác felületen lejátszódó kémiai folyamatokat vizsgált ammóniás hidrolízis és krómionos kezelés után. A DRIFT-spektrumok elemzésével megállapították, hogy összetett folyamatok zajlanak. A fafajfüggő relatív intenzitásváltozásból a krómionos kezelés hatására következtettek, az IR spektrumok alapján vízzel kioldható kismolekulájú termékek keletkezését bizonyították (Németh & Stipta 2002).

### **Az endogén formaldehid és természetes generátorai, mint a környezeti hatások jelző molekulái**

1999-ben Albert Levente az Erdőmérnöki Kar Kémiai Intézetének igazgatója (1999–2013) és Németh Zsolt István az MTA Növénykutató Intézettel együttműködve kiterjesztette Tyihák Ernő endogén formaldehid elméletét erdei fafajokra. Az elmélet szerint a formaldehid valamennyi biológiai rendszer endogén összetevője. A biológiai rendszerekben elsődleges formaldehid – körfolyamat van, amelyekben a formaldehid nem szabadon fordul elő (mérgező), hanem állandó kötött formában (endogén formaldehid). A biológiai metilezési/formilezési-demetilezési folyamatok formaldehid generátorokon és befogó molekulákon keresztül követhetők, alkalmasak a biológiai rendszerek állapotának jellemzésére.

Németh Zsolt István és munkatársai vizsgálták a formaldehid metabolizmust az európai cser makkok (*Quercus cerris* L.) csírázásának kezdeti szakaszában (Varga, Albert & Németh 1997); a hidegsokk hatását a kocsányos tölgyre (*Quercus robur* L.) az ontogenezis korai szakaszában (Albert et al. 1997); kimutatták az endogén formaldehid jelenlétét különböző biológiai mintákban mátrix-asszisztált lézeres adszorpciós-ionizációs tömegspektrométer (MALDI-MS) technikával (Németh & Albert 1997); mérték az endogén formaldehid koncentrációjának változását a csertölgy (*Quercus cerris* L.) fejlődésének korai szakaszában (Albert et al. 1998a); kutatták a hősokk hatását a formaldehid körforgására a csertölgy csírázó makkjában (Albert et al. 1998b); mérték a csertölgy csírázó makkjaiban az endogén formaldehid és potenciális prekursor- és generátor vegyületeinek változását alacsony hőmérsékleti stressz körülmények között (Németh et al. 1998); tanulmányozták a kémiai sokk hatását a formaldehidszintre a csertölgy ontogenezisének korai szakaszában (Németh, Albert & Varga 2000). Németh Zsolt István megállapította, hogy a csírázó makk tömege és sűrűsége lineárisan korrelál, és a relatív tömeg és sűrűség korrelációját jellemző regressziós egyenesek meredeksége makk egyedektől független állandó fajspecifikus tulajdonság. Kimutatta, hogy a korreláció lehetővé teszi, hogy az egyedfejlődés kezdeti szakaszát az eddigi gyakorlattól eltérő finomabb felbontású állapotokra osszák; az azonos relatív tömegű és sűrűségű makk egyedek azonos fejlődési állapotúaknak tekinthetők; a fizikai paraméterek, a relatív tömeg és a sűrűség közötti összefügg-

gés alkalmazható a csermakk csírázásának indikátorfüggvényeként (Németh, Albert & Varga 2004). Németh Zsolt István az endogén formaldehidet és természetes generátorait alkalmazta a környezeti hatások jelző molekuláiként a csertölgy korai ontogenezisében. Kutatási eredményeit doktori értekezésében foglalta össze (Németh 2002). Állapotfüggő korrelációt állapított meg a növények biokémiai folyamatai között (Németh et al. 2009).

Albert Levente és Németh Zsolt István az MTA Növénykutató Intézettel együttműködve növényi szövettenyészetet használt modellként a formaldehidkötés különböző formáinak tanulmányozására (László et al. 1998). Kísérleti eredményeik alapján feltételezték, hogy a transz-rezveratrol egy természetes koncentrációfüggő formaldehid bekötő molekula, amellyel az ellenőrizetlen formaldehid eltávolítható. Első lépésben szívvédő hatást válthat ki, a reakciótermékei (második lépés) kemoprevenációs faktorként működhetnek a rák ellen (Tyihák et al. 1998). Átfogó szakcikket közöltek a formaldehid ciklusról, a természetes formaldehid generátorokról és rögzítőkről.

Pozsgainé Harsányi Mónika kocsányos tölgy (*Quercus robur* L.) és csertölgy (*Quercus cerris* L.) magvainak egyedfejlődését követve megállapította, hogy azok teljesen analóg módon zajlanak. Bizonyította, hogy az egységnyi relatív tömegnövekedésre eső sűrűségcsökkenés a csírázó tölgyemakk általános biológiai tulajdonsága. Kimutatta, hogy az ontogenezis kezdeti szakaszában az endogén formaldehidtartalom értékeiben bekövetkező determinisztikus változások tendenciaszerűen azonos útvonal mentén zajlanak mindkét faj esetében. Bizonyította, hogy a tölgyemakk hidegsokkra adott stresszválaszában jelentkező oszcilláló endogén formaldehidtartalom a transzmetilezési folyamatok egyensúlyának felborulását tükrözi vissza, ami indirekt módon a növények stressztűrő képességéről nyújthat információt. Szignifikáns különbségeket mutatott ki a különböző származási helyekről begyűjtött makktételek hideg- és fényhiánystressz hatásra adott válaszaiban, az azonos származási körzetű magvaknál azonos eredményeket talált. A peroxidáz és polifenol-oxidáz enzimek aktivitásának összehangolt szabályozását korrelációs vizsgálat nyomán kapott lineáris egyenesek kiértékelésével követve megállapította, hogy enzimkorrelációs vizsgálattal a stresszre adott válasz nyomon követhető (Pozsgainé et al. 2005). Fontosabb kutatási eredményeit doktori értekezésben foglalta össze (Pozsgainé 2008).

## A fák savassága

A fák savassága fajfüggő, elsődleges szereppel bír a szöveti közeg redoxi tulajdonságainak kialakításában, befolyásolja az enzimyományokat. A biotikus károsítókkal szembeni védelem egyik alapvető eszközét is a különböző, karboxilcsoportot (is) tartalmazó szerves vegyületek képezik. A savasság különböző paraméterek (savtartalom, pH, pufferkapacitás) meghatározásával számszerűen is kifejezhető. A faanyag pH-ját a présnedvek, vagy a vizes extraktumok pH-jaként definiálják, a pH-t megőrző képesség a pufferkapacitás. A faanyagból a kis molekulatömegű karbonsavak (hangyasav, ecetsav) hideg vagy meleg vízzel kioldhatók, ezeket szabad savaknak nevezzük. A faanyag savasságához a poliózokhoz kapcsolódó acetilcsoportok, az észterezett szerves savak (formil-, propionil-, aromás karbonsav stb.) és a szabad karboxilcsoportokat tartalmazó nagy molekulájú fa-

komponensek is hozzájárulnak. Ezek oldószerekkel nem vonhatók ki, a faanyag kötött savtartalmát képezik. A faanyag összessav tartalma a szabad és kötött savtartalom összege (Subramanian et al. 1983; Choon et al. 1990; Balaban et al. 1999, 2003).

Rétfalvi Tamás három magyarországi fafaj: fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.), bükk (*Fagus sylvatica* L.) és kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* L.) pH-ja alapján megállapította, hogy a legmagasabb pH-értékkel a bükk rendelkezik, ezt követi az akác, majd a kocsánytalan tölgy. Kimutatta, hogy a geszt extraktum pH-értéke minden fafaj esetében alacsonyabb, mint a szíjácsé, a legnagyobb különbséget a kocsánytalan tölgy esetében mérte. Azonos élőhelyről származó és közel azonos korú faegyedek vizsgálata során megállapította, hogy fafajtól függetlenül magas a pH relatív szórásának értéke. A legnagyobb eltéréseket az akácnál figyelte meg. A jelenség értelmezése végett összehasonlította azonos termőhelyről származó magról ültetett és sarjrol nőtt akác faanyagok összes savtartalmát és szignifikáns különbségeket talált, ami magyarázza a szórást. Kimutatta, hogy a fenolkarbonsavak befolyásoló szerepe az akác szíjácsának savasságában nagyobb mértékű, mint a geszt savasságában, a kocsánytalan tölgnél pedig kisebb (Rétfalvi et al. 2005). Vizsgálta a kocsányos tölgy összessav és fenolkarbonsav tartalmának radiális változását és megállapította, hogy a szíjácsban megfigyelhető alacsony értékek a szíjács-geszt határon öt-hatszorosan megemelkednek, majd értékük a béliig állandósul. Megállapította, hogy a savtartalmak nyáron és ősszel alacsonyabbak, a téli nyugalmi időszak alatt magasabbak (a különbség nem bizonyult minden esetben szignifikánsnak). Száradás során az összes- és a szabad savtartalom – a kezdeti emelkedést követően – csökkent. Kimutatta, hogy a kocsánytalan tölgy esetében jó megbízhatósággal lehet következtetni a szabad és az összes savtartalomra a vizes szűrlet pH-értékei alapján (Rétfalvi et al. 2002). A Zürichi Műszaki Főiskolával (ETHZ, Peter Niemz) együtt 13 trópusi fafaj savasságát vizsgálták. Megállapították, hogy szabad savtartalmuk nagymértékben különbözik, legmagasabb értéket az *Intsia* sp., legalacsonyabbat a *Cordia* sp. extraktumban mérték. Nagy különbségeket határoztak meg az összes savtartalmakra is: legmagasabbat a *Gonystylus bancanus* (Miq. Kurz) és legalacsonyabbat az *Intsia* sp. esetében (nem publikált adatok). Rétfalvi Tamás korrelációs kapcsolatokat vizsgált különböző faminták összes- és szabad savtartalma, ill. a vizes extraktumok pH értéke között. Megállapította, hogy az összessav-tartalom és a vizes extraktumok pH értéke között erősebb korreláció figyelhető meg, mint a szabadsav tartalom és a pH érték között, ami arra utal, hogy a kötött savaknak jelentősebb hatása van a pH értékére, mint a kioldott alifás karbonsavaknak. Ez magyarázza az összessav-tartalom meghatározásának jobb megbízhatóságát is (Albert et al. 2002, Rétfalvi et al. 2003, 2004). Módszert fejlesztett, amellyel a szabad és az összes savtartalom mellett a fenolkarbonsav tartalom is meghatározható (Rétfalvi et al. 2005).

### A bükk (*Fagus sylvatica* L.) álgesztesedésének kémiája

1997-ben Albert Levente új kutatásokat kezdeményezett az erdei fák élettani folyamatainak molekuláris szintű vizsgálatára. Kezdetben a bükk (*Fagus sylvatica* L.) álgesztesedését tanulmányozták, céljuk a lignocellulóz rendszerben bekövetkezett kémiai vál-

tozások leírása, a biokémiai folyamatok résztvevőinek és mechanizmusának felderítése volt. Hosszútávú kutatás kezdődött, amelyben a mérési eredményeket az álgesztmentes bükk azonos anatómiai helyeiről nyert adatokkal hasonlították össze. Az erdei fák színes fahibáinak kutatását később más fafajokra is kiterjesztették.

Az álgeszt a bükk legfontosabb szerkezeti és szín anomáliája, amely jelentős gazdasági veszteségeket okoz. Kialakulását rendkívül sok paraméter segíti elő, ezeket Schwarz három csoportba sorolta: a faegyed jellegzetességei, erdészeti beavatkozások és környezeti paraméterek (Schwarz 1998). Sachsse javaslata nyomán négy álgeszt típust különböztetünk meg: vörös-, csillagos-, seb- és abnormális, vagy patológiás geszt (Sachsse 1991).

Az álgeszt képződés vizsgálata interdiszciplináris megközelítést igényel, ezért a kutatásokba bekapcsolódtak az Erdőművelési Tanszék oktatói is. Egyes résztermék kutatása külföldi kutatókkal együttműködésben valósult meg. Több éven át vizsgáltak Magyarország hét reprezentatív körzetéből származó (Eger, Kaposvár, Keszthely, Miskolc, Nagykánizsa, Pécs, Veszprém), megközelítően azonos életkorú álgesztes és álgesztmentes bükk törzseket (összesen 38-at), biztosítva a termőhelyi, klimatikus és genetikai változatosságot. A fák életkora 90–148 év között változott. Kezdetben mellmagasságból vett koronagokban a kéregtől a bél irányába mérték az álgesztesedésben résztvevő kémiai anyagokat és paramétereket, később kiterjesztették a kutatásokat vertikális irányba is. Sugárirányú mintavételi helyek álgesztes bükkből: külső szíjács, belső szíjács, határzóna, külső geszt, belső geszt; álgesztmentes bükkből: külső szíjács, belső szíjács, átmeneti zóna, külső érett fa, belső érett fa. (Az „átmeneti zóna”, „határzóna”, vagy „tranzicionális zóna” vékony, néhány évgyűrű szélességű faszövet a szíjács-geszt határon).

## **Makromolekuláris komponensek, makro- és mikroelem tartalom**

Albert Levente és kutatótársai a vörös geszt és a szíjács lignintartalmában (Klason) nem találtak szignifikáns különbségeket, de a vörös gesztben szignifikánsan kevesebb cellulózt (Kürschner-Hoffer) mértek, mint a szíjácsban. A mérési eredmények az „egészséges” bükknél meghatározott szakirodalmi adatok határértékei közé estek. Megállapították, hogy a vörös geszt hamutartalma nagyobb, mint a szíjácsé. A vörös gesztből és a szíjácsból kinyert ligninek FTIR spektrométerrel vizsgálva azonosnak bizonyultak. Nem találtak különbséget a vörös geszt és a szíjács K, Mg, Al, Fe, Mn, Mo, Zn, Cu, S, N- tartalmában sem, de a vörös gesztben magasabb kalcium és alacsonyabb foszfor koncentrációt mértek (Albert et al. 1998c).

## **Savtartalom, pH, pufferkapacitás**

A pH fontos kémiai jellemzője a fafajoknak, a pH-n keresztül a fa vitalitása is jellemezhető (Fengel 1989). A geszt pH-értéke a legtöbb fafaj esetében alacsonyabb, mint a szíjácsé (Sandermann & Rothkamm 1995). Albert és kutatótársai megállapították, hogy ez a tendencia az álgesztmentes bükkre is jellemző, de az álgesztes bükkben a geszt pH-ja magasabb, mint a szíjácsé. A sugárirányú változásokat követve kimutatták, hogy a

külső szíjácsban a pH csökken, a színhatárig emelkedik, értéke a színhatáron jellemzően 6–6,8, utána tovább emelkedik (Albert et al. 1998d, 1999, 2002). Hofmann Tamás a pH sugárirányú változásának hasonló tendenciáját mutatta ki a vegetációs időszak különböző időpontjaiban (március, október) is (Hofmann 2006). A színhatár után mért pH emelkedés ellentétben áll a kötelezően színesen gesztesedő fajajoknál tapasztalt pH csökkenéssel (Sandermann és Rothkamm 1959). Albert és kutatótársai megállapították, hogy a szíjács és a vörös geszt présnedvének pufferkapacitása nagyságrendileg hasonló, az álgesztes bükkben a pufferkapacitás sugárirányú változása a pH változás tükörképe (Albert et al. 1998d, 1999, 2002). Az álgesztes bükkben a szabad-, kötött- és összesav-tartalom a külső szíjácstól a színhatárig emelkedik, a színhatár után szignifikánsan csökken. A vörös geszt kevesebb szabad- és kötöttsavat tartalmaz, mint az álgesztmentes bükk érett fája (Albert et al. 2002b; Rétfalvi et al. 2004). Hofmann Tamás kimutatta, hogy a savak túlnyomó része mind az álgesztes, mind az álgesztmentes bükkben kötött (Hofmann 2006).

### **Kioldható szénhidrátok az álgesztes és álgesztmentes bükkben**

A kioldható (nem szerkezetalkotó) szénhidrátok mind a primer, mind a szekunder anyagcsere fontos képviselői, összekapcsolják a két metabolizmust. Visiné Rajzci Eszter témafelelős munkatársaival vizsgálta a kioldható szénhidrátok radiális és vertikális megoszlását álgesztes és álgesztmentes bükk (*Fagus sylvatica* L.) szövetekben. Megállapították, hogy a kéregtől az álgeszt-, illetve a színhatárig mindkettő ugyanazokat a kioldható monoszacharidokat tartalmazza: szacharózt, glükózt, fruktózt, raffinózt, sztachiózt és maltózt, legnagyobb mennyiségben szacharózt, glükózt és fruktózt. Az álgeszt is tartalmaz kis mennyiségű kioldható szénhidrátot (Visiné et al. 2003). Eredményeik összhangban vannak a szakirodalmi adatokkal (Magel et al. 1993). Vizsgálták a kioldható szénhidrátok vertikális megoszlását két azonos termőhelyről származó és közel azonos korú álgesztes és álgesztmentes bükk több magassági szintjén. A vertikális megoszlásra az álgesztes törzs 17 és az álgesztmentes 12 magassági szintjén mért sugárirányú megoszlásokból következtek. Kimutatták, hogy a kioldható szénhidrátok megoszlása mind az egészséges, mind az álgesztes törzsben magasságfüggő. Az álgesztes törzsben a sugárirányú koncentráció megoszlás 9 szinten a szakirodalmi adatokkal (Albert et al. 2002) megegyező volt (emelkedés a színhatár előtt, drámai csökkenés utána), a többi szinten a tranzicionális zónáig ettől különböző mértékben eltérő. Arra következtek, hogy az álgesztesedésnek nem kötelező feltétele a kioldható szénhidrátok koncentrációjának megemelkedése a tranzicionális zóna előtt, de a csökkenése a tranzicionális zóna után minden esetben bekövetkezik. A sugár irányban vett minták összegzett kioldható szénhidrát tartalma a magasság függvényében jelentősen különbözött, 6 m-en volt a legalacsonyabb és 12 m-en a legmagasabb. Jelentős eltérések voltak a kéreg közeli szövetek kioldható szénhidrát tartalmában is: alacsony értékeket mértek 6 m-en és 9 m-en, magasakat 0,04 m-en és 1 m-en.



A szakirodalom szerint az álgesztmentes bükk mellmagasságból vett mintáiban a szíjács szövetek magas kioldható szénhidrát tartalma sugár irányban folyamatosan csökken, de a csökkenés az érett fában nem válik nagymértékűvé (Visi-Rajczi et al. 2002, 2003, Albert et al. 2002). A vizsgált álgesztmentes törzs öt magassági szintjén a koncentrációk sugárirányú eloszlása összhangban volt a szakirodalmi adatokkal, hét magassági szinten eltértek tőle, de az érett fában ezeken a szinteken sem csökkent jelentős mértékben a koncentráció. A sugár irányban összesített kioldható szénhidrát tartalom magas volt a törzs alsó és felső szakaszában és alacsony a középső szakaszban. A legalacsonyabb összesített koncentrációt 8 m-en, a legmagasabbat 0,05 m-en mérték.

### Fenoloidok az álgesztes és álgesztmentes bükkben

Albert Levente és munkatársai megállapították, hogy a totálfenol tartalom az álgesztes bükkben a szíjácstól a színhatárig nő, a színhatár után drámaian csökken. A nagymértékű mennyiségi változás kémiai úton jelzi a színhatárt. Kimutatták, hogy egyes törzsekben, hasonlóan a *Juglans*-típusú gesztesedéshez, a koncentráció növekedés ugrásszerű, amiből a színhatár előtti szövetekben *in situ* fenolszintézisre következtettek. Kimutatták, hogy a totálfenol tartalom az álgesztmentes bükkben is monoton nő a külső szíjácstól a belső érettfá szövetekig, de a belső érettfában nincs éles koncentráció csökkenés (Albert et al. 1998c, 1999, 2003). Hofmann Tamás és munkatársai vizsgálták a (-)-epikatechin és (+)-katechin sugárirányú eloszlását álgesztes és álgesztmentes bükkben. Megállapították, hogy eloszlásuk tendenciája az összfenol tartalom eloszlásával azonos, és a (-)-epikatechin lényegesen kisebb mennyiségben van jelen mint a (+)-katechin (Hofmann et al. 2004a,b, 2022b). Nagy hatékonyságú folyadékkromatográfiát/tandem tömegspektrometriát (HPLC-PDA-ESI-MS/MS) és mátrix-asszisztált lézer deszorpció/ionizációs repülési idő tömegspektrometriát (MALDI-TOF) alkalmaztak az álgesztes bükk polifenolok szerkezetének és eloszlásának mélyreható vizsgálatára a szíjácsban, a szíjács/álgeszt határon (színhatár) és az álgeszt belsejében. Összesen 125 vegyületet mutattak ki MS<sup>n</sup>-spektrum alapján, 71-et azonosítottak, ezek közül többet elsőként. Megállapították, hogy több polifenol koncentrációja megemelkedik a színhatáron, ahol a vizsgált törzsekben egyértelmű az *in situ* polifenol szintézis és metabolizmus. A legtöbb vegyület koncentrációja a színhatár után erősen csökken, ami megerősíti a polifenolok részvételét az álgesztesedésben. Eredményeik alapján két elképzelést fogalmaztak meg a geszt vörös színének kialakulására vonatkozóan: (1) egyes polifenol származékok hidrolizálnak és szabad aglikonként, vagy azok metabolitjaiként halmozódnak fel a vörös gesztben; (2) nem extrahálható színes polifenolok kötődnek a sejtfal szerkezetéhez. Ez utóbbi hipotézist kutatási eredményeik nem igazolták, valószínűsíthető, de további vizsgálatokat igényel (Hofmann et al. 2022).

## A peroxidáz (POD EC 1.11.1.7) és polifenol-oxidáz (PPO EC 1.10.3.1) aktivitása az álgesztes és álgesztmentes bükkben

Hofmann Tamás elsőként bizonyította, hogy az oxidoreduktáz enzimeknek, a peroxidáznak (POD) és polifenol-oxidáznak (PPO) kiemelkedő szerepe van az álgesztesezés élettani folyamataiban. Vizsgálta a két enzim aktivitásának pH szerinti változását és kimutatta, hogy az álgesztes faanyag pH értékein a PPO fajlagosan aktívabb, mint a POD. Mérté a két enzim pH-függését és megállapította, hogy a POD aktivitása maximum-platóval rendelkezik a 4,9 és 5,6-es pH értékek között, a PPO-nak két aktivitás-maximuma van 6,2-es és a 8,6-es pH értéknél (Hofmann 2006). Albert Levente és kutatótársai vizsgálták az álgesztes bükk faszöveiteiben a két enzim aktivitásának sugárirányú változását és megállapították, hogy a kéregtől a színhatárig nincs jelentős változás, az aktivitás a színhatár előtt ugrásszerűen megemelkedik, utána csökken. A tranzicionális zónában a pH értéke is növekedik (ld. „Savtartalom, pH és pufferkapacitás”), ami az enzimek nagyobb aktivitásának feltétele. A vörös szövetekben is kimutattak enzim aktivitást, ellentétben a hagyományos színes gesztesedéssel (Albert et al. 2002a, b, 2005).

A kutatási előzmények (pH jellemző értéke, a katechinek és az oxidoreduktáz enzimek szerepe) ismeretében Hofmann Tamás bükk enzim kivonattal megismételte *in vitro* a bükkálgeszt kromofór anyagainak képződését, és a keletkező színes vegyületeket összehasonlította a vörös álgeszt színhordozó anyagaival (Hofmann 2008c).

*Megjegyzés: a Soproni Egyetem és a jogelőd intézmények Faipari Mérnöki Karának doktori iskolájában a kutatók több igen értékes PhD értekezést védtek meg sikeresen a bükkálgeszt témakörben. A Kar oktatói és diákjai számos tudományos előadást tartottak és több szakcikket közöltek a bükk álgesztjével kapcsolatos kutatási eredményeikről hazai és nemzetközi szakfolyóiratokban. Ezeket a tanulmánykötet más fejezetei tárgyalják.*

## A kocsányos tölgy (*Quercus robur* L.) „gyűrűs” elszíneződése

A kocsányos tölgy (*Quercus robur* L.) geszthibájának, a „gyűrűs” elszíneződésnek a kémiáját tanulmányozva Hofmann Tamás és kutatótársai megállapították, hogy a határzónában csökken a szöveti pH, a totálfenol tartalom a színhatár belső oldalán jelentősen megemelkedik, majd csökkenés után mennyiségi állandóságot mutat a bél irányába. Jellemző a galluszsav és származékainak jelentős koncentráció változása a gesztesedés során. A kisebb mennyiségben kimutatható flavonoidok koncentrációjában tendencia jellegű változást a gesztesedő szövetekben nem mutattak ki, a geszt belsejében nem mértek oxidoreduktáz enzimek aktivitást. Szignifikáns különbség találtak a gyűrűsen elszíneződött minták és a kontroll minták kioldható összecukor- és totálfenol-tartalma, valamint galluszsav koncentrációja között. A galluszsav színreakciója alapján a fahiba kimutatható (Hofmann et al. 2008a, b, 2010).



*Az Erdőmérnöki Kar Kémiai Intézetének munkaközössége. Felső sor balról jobbra: Rétfalvi Tamás, Hofmann Tamás, Németh Zsolt István, Stipta József. Előttük: Visiné Rajczi Eszter, Rákosa Rita, Pozsgainé Harsányi Mónika, Molnárné Kiss Irén, Börcsök Eszter. Előttük: Majsza Zoltánné, Bujtás Csabáné, Dankó Tiborné, Szurok Lászlóné. Első sor: Németh Károly, Molnárné Hamvas Lívია, Albert Levente. (Fotó: Anon., 2002)*

### **Erdészeti melléktermékek hasznosítása. Antioxidánsok fakéregben, levelekben és tobozokban**

A mezőgazdasági és erdészeti melléktermékek hasznosítása a 21. század első éveitől az egyik legfontosabb kutatási témává vált. A fakéreg, a levél, a toboz és a fűrészpor kémiai hasznosításának lehetőségét növeli, hogy nagy mennyiségben állnak rendelkezésre és jelentős kémiai potenciállal rendelkeznek. Csak fakéregből éves szinten 300–400 millió köbméter keletkezik, ebből 0,5–0,6 millió köbméter Magyarországon (Tálos-Nebehaj et al. 2019). A fakéregből, levélből és tobozból kivonható antioxidánsok (polifenolok) kutatását – hasznosításuk érdekében – Hofmann Tamás vezette. Makk Ádámmal új, innovatív eljárást dolgoztak ki (+)-katechin kivonására és tisztítására Magyarországon előforduló tölgyfajok kérgéből (Makk et al. 2013). Tálos-Nebehaj Esztellával felmérték és kiértékeltek a Magyarországon előforduló főbb erdei fafajok kérgének antioxidáns tartalmát (Hofmann et al. 2015b, Tálos-Nebehaj et al. 2019), vizsgálták a levelek antioxidáns tartalmának szezonális változását (Tálos-Nebehaj et al. 2017), összehasonlították 6 tűlevelű taxon tobozainak antioxidáns tartalmát (Hofmann et al. 2020a). A toboz kutatásokat később kiterjesztették 17 taxonra (Hofmann et al. 2022a). Hofmann Tamás nagynyomású folyadékkromatográf/hármas kvadrupól tömegspektrométerrel

(HPLC-PDA-ESI-MS/MS) elsőként azonosította a csertölgy (*Quercus cerris* L.), a kocsányos tölgy (*Quercus robur* L.), a bükk (*Fagus sylvatica* L.) és a közönséges gyertyán (*Carpinus betulus* L.) levelének, a lucfenyő (*Picea abies* L.) és kanadai hemlokfenyő (*Tsuga canadensis* L.) tobozának és a bükk kérgének polifenol készletét (Hofmann et al. 2015a, 2016, 2017a, 2020b, 2022a). Munkatársaival új értékelési módszert dolgoztak ki növényi kivonatokban található polifenolos vegyületek „antioxidáns hatékonyságának” meghatározása (Hofmann et al. 2017b, Hofmann 2019, Tólos-Nebehaj et al. 2019). Az általa vezetett kutatócsoport nemzetközi együttműködés keretében (Mendel Egyetem, Brno, Csehország) vizsgálta a kéreg és a toboz kivonatok antibakteriális hatását és élelmiszeripari alkalmazhatóságát (Agarwal et al. 2020, 2021; Hofmann et al. 2021). Hofmann Tamás és Visiné Rajczi Eszter munkatársaival vizsgálta a lucfenyő (*Picea abies* H. Karst.) és hemlokfenyő (*Tsuga canadensis* (L.) Carrière) toboz kivonatainak polifenolos összetételét, antioxidáns és antibakteriális hatását. A kivonatok erős antibakteriális hatást mutattak a *Staphylococcus aureus* és az *Escherichia coli* baktériummal szemben (Hofmann et al. 2021; Visiné et al. 2022). Hofmann Tamás és Visiné Rajczi Eszter a Soproni Egyetem Faipari és Műszaki Intézetével közösen (Bak Miklós) kutatta a kéreg kivonatok alkalmazhatóságának lehetőségeit fém és fém-oxid nanoszemcsék előállítására (OTKA FK142527).

### A bükk akklimációjának kémiai indikátorai

A bükk levelek polifenoltartalmának azonosítása, antioxidáns kapacitásuk meghatározása, valamint a polifenol-oxidáz és peroxidáz enzimek aktivitásának mérése (Hofmann et al. 2017a; Visi-Rajczi et al. 2018a) lehetőséget kínált a klímaváltozás bükk fafajra gyakorolt hatásának kutatására a kémia eszköztárával is. Visiné Rajczi Eszter és Hofmann Tamás a Mátyás Csaba által vezetett bucsutai – ismert származású bükk populációkkal létrehozott – származási kísérletsorozat keretében olyan vegyületeket mutatott ki a bükk levelek enzimés és nem enzimés antioxidáns rendszerében, amelyek aktivitása, illetve mennyisége az egyes származások klímaindexével és növekedési paramétereivel szoros összefüggésben áll. Ezáltal azonosították a különböző származások szimulált klímaváltozásra adott válaszreakcióinak, klímaterancijának, az akklimáció mértékének kémiai indikátorait. A kémiai indikátorok alkalmazása hozzájárul a jobb klímaterancijú, a klímarezisztens újraerdősítésre alkalmas szaporítóanyag kiválasztásához (Visi-Rajczi et al. 2018b, 2021).

### A faanyag illékony szerves komponensei

A faanyag illékony szerves komponensein (Volatile Organic Compounds, VOC) keresztül is kölcsönhatásban áll a környezetével. Jelentős az élő faanyagból – elsősorban a respiráció során – az atmoszférába kibocsátott terpének szerepe, amelyek a légkörben fotokémiai reakciók során oxidálódnak és a szmog kialakulásában is fontos szerepet játszanak. A vegyületek jelentős része élettani hatással bír.

Rétfalvi Tamás az Erdőművelési és Erdővédelmi Intézet munkatársaival együttműködve mérte két azonos termőterületről (Fábiánsebestyén, Csongrád megye) származó 35–38 éves szlavón- és egy azonos korú kocsányos tölgy alak VOC készletét. Kis molekulatömegű fenolszármazékokat, zsírsavakat és azok származékait, valamint szterolváz vegyületeket mutatott ki. A VOC készlet minőségi és mennyiségi spektrumában a két szlavón tölgy között kisebb, a szlavon tölgyek és a kocsányos tölgy között nagyobb eltéréseket tapasztalt (Rétfalvi et al. 2007).

Tömegspektrométer detektálású gázkromatográffal (GC-MS) vizsgálta a különböző erdei fafajok illékony szerves komponens frakcióinak összetételét, és a beazonosított illékony szerves komponenseket anyagcsoportokba sorolta. Lombos fák (bükk, akác, különböző tölgyfajok és alakok) szíjács, geszt és kéreg szöveteiben nagy mennyiségű és különböző minőségű illékony aldehid (C<sub>5</sub>-C<sub>9</sub>) mellett karbonsavakat, terpéneket, ketonokat és aromás vegyületeket mutatott ki. A fenyőfélék faanyagában monoterpének (C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>), oxigén tartalmú származékai (C<sub>10</sub>H<sub>18</sub>O) és szeszkviterpének (C<sub>15</sub>H<sub>24</sub>) mellett alkoholoikat is azonosított. A vizsgált fafajok szövetei közül minden esetben a kéreg tartalmazta a legtöbb illékony szerves komponenszt, ezt követte a geszt, majd a szíjács. Vizsgálta az akác faanyag szárítása során felszabaduló illékony szerves anyagokat is (Rétfalvi et al. 2008, 2009).

### **Fosszilis faanyagok geokémiai jellemzése**

A faanyagkémia speciális területe a fosszilis és történelmi faanyagok kémiai vizsgálata. A Kémiai Intézet és az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) kutatói közösen vettek részt a bükkábrányi mocsári ciprus fossziliák állapotának felmérésében. A lelet jól megőrzött és világszinten is egyedülálló (Hámor-Vidó et al. 2010). Hofmann Tamás és Visiné Rajczi Eszter együttműködött a hannoveri „Federal Institute for Geosciences and Natural Resources” intézettel a miocén korból származó fafossziliák kutatásában a cellulóz tartalmak mérésével (Kus et al. 2019). Hofmann Tamás a Soproni Egyetem Faipari és Műszaki Intézetével (Bak Miklós), a Brnoi Mendel Egyetem (Csehország) és a Jászvásári “Alexandru Ioan Cuza” Egyetem (Románia) kutatóival együttműködésben kémiai bevizsgálást végzett régészeti és szubfosszilis faanyagokon (Baar et al. 2020; Ghavidel et al. 2020, 2021).

### **Hőkezeléssel és acetilezéssel modifikált faanyagok és a kondenzvíz kémiai vizsgálata**

A Kémiai Intézetben Hofmann Tamás vezetésével a 2007. évtől kezdődően vizsgálták a hőkezeléssel és acetilezéssel modifikált faanyagok kémiai összetételét külföldi ipari és felsőoktatási intézmények részvételével (ETH Zürich, Svájc; Georg-August Egyetem, Göttingen, Németország). Megállapították, hogy a modifikált faanyagok molekuláris összetételében bekövetkezett változás a technológiai paraméterek függvénye, a termék kémiai összetétele összefüggésben áll a modifikált faanyag technológiai, mechanikai

tulajdonságaival (Niemz et al. 2010; Hofmann et al. 2008, 2013; Fodor et al. 2018; Wentzel et al. 2018).

Rétfalvi Tamás vizsgálta a faipari technológiák környezetszennyező anyagait. Megállapította, hogy a keletkezett melléktermékek (pl. kondenzvizek, illékony szerves anyagok) minősége és mennyisége technológia és fafaj függő és szennyvízkezelési, valamint toxikológia szempontból kiemelt fontosságú (Rétfalvi et al. 2009). Munkatársaival vizsgálta a bükk (*Fagus sylvatica* L.) és a fehér akác (*Robinia pseudoacacia* L.) gőzölése során keletkező kondenzvizeket. Megállapították, hogy a hazai és az osztrák ipari kondenzvizek pH értéke 4,32–4,69 között változik, az ecetsav mellett jelentős mennyiségű észtert (etil-acetát, metil-acetát, etil-butanát, metil-benzoát) és alkoholokat (2-metil-propanol, 3-metil-1-butanol,  $\alpha$ -terpinol) tartalmaznak (Rétfalvi et al. 2003). Vizsgálták a kondenzvizek újrahasznosításának (Rétfalvi et al. 2006, 2007a) és a gázkromatográfia alkalmazásának lehetőségeit a faipari technológiák környezetszennyező anyagainak analízisében (Rétfalvi et al. 2007b, 2009).

### Szabvány a vasúti talpfák kreozot tartalmának meghatározására

Visiné Rajczi Eszter és Rétfalvi Tamás GC-MS technikával vizsgálta a vasúti talpfák kreozot tartalmát. A telítőanyag benzo(a)pirén tartalmának meghatározására saját szabványt dolgoztak ki (MSZ-MKL-01:2012).

### Irodalom

- Agarwal C., Hofmann T., Visi-Rajczi T. & Pásztory Z. 2020: Low-frequency, green sonoextraction of antioxidants from tree barks of Hungarian woodlands for potential food applications. Chemical Engineering and Processing, Paper 108221.
- Agarwal C., Hofmann T., Vršanská M., Schlosserová N., Visi-Rajczi Eszter., Voběrková S. & Pásztory Z. 2021: In vitro antioxidant and antibacterial activities with polyphenolic profiling of wild cherry, the European larch and sweet chestnut tree bark. European Food Research and Technology 247: 2355–2370.
- Albert L. 1999: A vörösgeszt bükk (*Fagus sylvatica* L.) faanyagának kémiai vizsgálata. Habilitációs értekezés, Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron.
- Albert L. 2000: Bencze Gergely (1854–1925) élete és munkássága. Erdésznyagyjaink arcképcsarnoka: 15. Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, 31 o.
- Albert L. 2008: Kémia. In: Albert (szerk.b.e.) 2008: Az erdészeti felsőoktatás 200 éve. Emlékkönyv Selmecbánya 1808–Sopron 2008. Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar, Sopron, 2: 201–227.
- Albert L., Hofmann T., Németh Zs. I., Rétfalvi T., Koloszar J., Varga Sz. & Csepregi I. 2003: Radial variation of total phenol content in Beech (*Fagus sylvatica* L.) wood with and without red heartwood. Holz als Roh- und Werkstoff (61): 227–230.
- Albert L., Hofmann T., Rétfalvi T., Bányai É., Visiné Rajczi E., Böröcsök E., Németh Zs. I., Varga Sz. & Csepregi I. 2002a: A peroxidáz és polifenol-oxidáz enzimek aktivitásának sugárirányú

- vizsgálata álgesztes bükkben (*Fagus sylvatica* L.). In: Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, A Kémiai Intézet tudományos ülése, Intézeti Kiadvány, Sopron, 102–106 o.
- Albert L., Hofmann T., Rétfalvi T., Németh Zs. I., Koloszar J., Varga Sz. & Csepregi I. 2005: A fenoloidok, a polifenol-oxidáz és a peroxidáz szerepe a bükkálgeszt kialakulásában. In: Solymos Rezső (szerk.): Erdő- és fagazdaságunk időszerű kérdései. MTA Erdészeti Bizottságának Kiadványa, Budapest, 161–176 o.
- Albert L., Hofmann T., Visi-Rajczi E., Rétfalvi T., Németh Zs. I., Koloszar J., Varga Sz. & Csepregi I. 2002b: Relationships among total phenol and soluble carbohydrate contents and activities of peroxidase and polyphenol oxidase in red-heartwooded beech (*Fagus sylvatica* L.). 7th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp, Turku, Finland, 26–29 August, 253–256.
- Albert L., Németh Zs. I., Barna T., Varga Sz. & Tyihák, E. 1998a: Measurement of Endogenous Formaldehyde in the Early Development Stages of European Turkey Oak (*Quercus cerris* L.). *Phytochemical Analysis* 9: 227–231.
- Albert L., Németh Zs. I. & Sz. Varga 1998b: The Effect of Heat Shock on the Formaldehyde Cycle in Germinating Acorns of European Turkey Oak. *Acta Biologica Hungarica*, 49 (2-4): 363–368.
- Albert L., Németh Zs. I., Halász G., Bidló A., Koloszar J., Varga Sz. & Takács L. 1998c: Elterések a vörös gesztű bükk (*Fagus sylvatica* L.) faanyagának kémiai paramétereiben. *Faipar* 46(1): 36–37.
- Albert L., Németh Zs. I., Halász G., Koloszar J., Varga Sz. & Takács L. 1999: Radial variation of pH and buffer capacity in the red-heartwooded beech (*Fagus sylvatica* L.) wood. *Holz als Roh- und Werkstoff* 57(1): 75–76.
- Albert L., Németh Zs. I., Halász G., Koloszar J., Varga Sz. & Takács L. 1998d: A szabad és kötött savtartalom sugárirányú változása a vörös gesztű bükk (*Fagus sylvatica* L.) faanyagában. *Faipar* 46 (2): 23–24.
- Albert L., Rétfalvi T., Hofmann T., Visi-Rajczi E., Németh Zs. I., Börcsök E., Koloszar J., Varga Sz. & Csepregi I. 2002: The radial and vertical alteration of the pH and acidity in the red-heartwooded beech (*Fagus sylvatica* L.). Water, Environment and Health EASA conference. Arad, Romania. October 18–19.
- Albert L., Németh Zs. I., Varga Sz. & Barna T. 1997: The cold shock in the early stage of European turkey oak (*Quercus cerris* L.). In: Volum Abstracts of „Stress of Life” Congress, Stress and Adaptation from Molecules to Man, Budapest, 180 o.
- Baar J., Paschová Z., Hofmann T., Kolář T., Koch G., Saake B. & Rademacher P. 2020: Natural durability of subfossil oak: wood chemical composition changes through the ages. *Holz-forschung* 74(1): 47–59.
- Balaban M. & Uçar G. 2003: Estimation of volatile acids in wood and bark. *Holz als Roh- und Werkstoff* 61(6): 465–468.
- Balaban M., Uçar G. & U ur E. 1999: Acidity of important Quercus- and Beech species. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 23(5): 1149–1154.
- Bedő A. 1878: A kocsányos és kocsánytalan tölgy kérgének csertartalma. *Erdészeti Lapok* 17: 119–120.
- Bencze G. 1893: Az akácz fahamuról, mint trágyaszerről. *Erdészeti Lapok* 32: 400–411.
- Bencze G. 1900: A különféle fafajok hőhatásának megítélésére szolgáló analitikai adatok. 1. Az ép és reves bükkfa hőhatásának összeállítása. *Erdészeti Lapok* 2(1-6): 102–104.
- Bencze G. 1901: A különféle fafajok hőhatásának megítélésére szolgáló analitikai adatok. 2. Az ép és reves gyertyánfa hőhatásának összeállítása. *Erdészeti Lapok* 3: 19–26.

- Choon K. K. & Roffael E. 1990: The acidity of five hardwood species. *Holzforschung* 44 (1): 53–58.
- Csanády E. 1987: Einige computertechnische Probleme von holzchemischen Untersuchungen. *Acta Facultatis Ligniensis* 39–63.
- Csiszár E. 2008: *Cellulose Chemistry and Technology* 42(9–10): 577–581.
- Csonkáné R. R. 2005a: A flavonoidok szerepe a faanyag hőhatás okozta átalakulásaiban. *Faipar* 53 (2): 23–27.
- Csonkáné R. R. 2005b: A flavonolok és a faanyag termikus átalakulása. Doktori (PhD) értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Sopron, 83 o.
- Csonkáné R. R. & Németh K. 1998: Thermal behaviour of hardwood polyphenols. In: *Proceedings of the 5<sup>th</sup> European Workshop on Lignocellulosic and Pulp (EWLP)*, Aveiro, Portugal, August 30 - Sept. 2., 333–336.
- Diószeghy D. 1941: A fa hőértéke és eltüzelési tulajdonságai. *Technika, Élet Irodalmi és Nyomda Rt.*, Budapest, 4: 1–6.
- Fabich E., Csonka-Rákosa R., Varga V. & Németh K. 1998: The character of softwoods colour change by photodegradation. *Proceedings of 5th EWLP*, Aveiro, Portugal, August 30 – Sept. 2., 330–332.
- Faix O. 2008: *Chemie des Holzes*. In: Wagenführ A., Scholz F. (2008): *Taschenbuch der Holztechnik*. Fachbuchverlag, Leipzig, 47–74.
- Faix O. & Németh K. 1988: Monitoring of wood photodegradation by DRIFT- spectroscopy. *Holz als Roh- und Werkstoff* 46(3): 112.
- Fengel D. & Wegener G. 1989: *Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. 2nd ed., Walter de Gruyter, Berlin, 613 o.
- Fodor F., Németh R., Lankveld C. & Hofmann T. 2018: Effect of acetylation on the chemical composition of hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in relation with the physical and mechanical properties. *Wood Material Science and Engineering* 13(5): 271–278.
- Ghavidel A., Bak M., Hofmann T., Vasilache V. & Sandu I. 2021: Evaluation of some wood-water relations and chemometric characteristics of recent oak and archaeological oak wood (*Quercus robur*) with archaeometric value. *Journal of Cultural Heritage* 51: 21–28.
- Ghavidel A., Hofmann T., Bak M., Sandu I. & Vasilache V. 2020: Comparative archaeometric characterization of recent and historical oak (*Quercus* spp.) wood. *Wood Science and Technology* 54(5): 1121–1137.
- Hámor-Vidó M., Hofmann T. & Albert L. 2010: In situ preservation and paleoenvironmental assessment of Taxodiaceae fossil trees in the Bukkalja Lignite Formation, Bukkabány open cast mine, Hungary. *International Journal of Coal Geology* 81: 203–210.
- Hofmann T. 2006: A kémiai paraméterek szerepe a bükk (*Fagus sylvatica* L.) álgesztésében. Doktori (PhD) értekezés. Sopron, Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar.
- Hofmann T. 2019: Structure and Antioxidant Efficiency of Beech (*Fagus sylvatica* L.) Bark Polyphenols Unraveled by High-Performance Liquid Chromatography/Photodiode Array Detection/Multistage Electrospray Mass Spectrometry and Chemometrics: Chapter 6. In: *Watson, Ronald Ross Polyphenols in Plants: Isolation, Purification and Extract Preparation* Cambridge (MA), United States of America, Elsevier, 83–109.
- Hofmann T., Albert L. & Rétfalvi T. 2004a: Quantitative TLC Analysis of (+)-Catechin and (-)-Epicatechin from *Fagus sylvatica* L. with and without Red Heartwood. *Planar Chromatography*, Visegrád, Hungary, May 23-25, 379–387.



- Hofmann T., Albert L. & Rétfalvi T. 2004b: Quantitative TLC analysis of (+)-catechin and (-)-epicatechin from *Fagus sylvatica* (L.) with and without red heartwood. *Journal of Planar Chromatography* 17(7): 350–354.
- Hofmann T., Albert L., Bocz B., Bocz D. & Visi-Rajczi E. 2022a: Cones of coniferous taxa as a potential source of bioactive polyphenols. *Current Bioactive Compounds* 18(6): e301221199686.
- Hofmann T., Albert L., Fehér S. & Rétfalvi T. 2008a: HPTLC analysis of wood discolorations. Comparative investigation of the red heartwood of beech (*Fagus sylvatica* L.) and the ring-like discoloration of pedunculate oak (*Quercus robur* L.). 27th International Symposium on Chromatography, September 21-25, Münster, Germany.
- Hofmann T., Albert L., Németh L., Vršanská M., Schlosserová N., Voběrková S. & Visi-Rajczi E. 2021: Antioxidant and Antibacterial Properties of Norway Spruce (*Picea abies* H. Karst.) and Eastern Hemlock (*Tsuga canadensis* (L.) Carrière) Cone Extracts. *Forests* 12(9): 1189–1211.
- Hofmann T., Albert L., Rétfalvi T. & Fehér S. 2008b: The molecular characteristics of typical colored wood defects in beech and pedunculate oak. International Scientific Conference on Forest, Wildlife and Wood Sciences for Society Development, April 16-18 2008, Praha, Czech Republic.
- Hofmann T., Albert L., Rétfalvi T. & Fehér S. 2010: HPTLC Investigation of a Ring-Like Discoloration of Pedunculate Oak (*Quercus robur* L.) Heartwood. *JPC –Journal of Planar Chromatography - Modern TLC* 23(5): 315–319.
- Hofmann T., Albert L., Rétfalvi T., Visi-Rajczi E. & Brolly G. 2008c: TLC analysis of the in vitro reaction of Beech (*Fagus sylvatica* L.) Wood Enzyme Extract With Catechins. *Journal of Planar Chromatography* 21(2): 83–88.
- Hofmann T., Guran R., Zitka O., Visi-Rajczi E. & Albert L. 2022b: Liquid Chromatographic/Mass Spectrometric Study on the Role of Beech (*Fagus sylvatica* L.) Wood Polyphenols in Red Heartwood Formation. *Forests* 13(1): 10.
- Hofmann T., Nebehaj E. & Albert L. 2015a: The high-performance liquid chromatography/multistage electrospray mass spectrometric investigation and extraction optimization of beech (*Fagus sylvatica* L.) bark polyphenols. *Journal of Chromatography A* 1393: 96–105.
- Hofmann T., Nebehaj E. & Albert L. 2016: Antioxidant properties and detailed polyphenol profiling of European hornbeam (*Carpinus betulus* L.) leaves by multiple antioxidant capacity assays and high-performance liquid chromatography/multistage electrospray mass spectrometry. *Industrial Crops and Products* 87: 340–349.
- Hofmann T., Nebehaj E., Stefanovits-Bányai É. & Albert L. 2015b: Antioxidant capacity and total phenol content of beech (*Fagus sylvatica* L.) bark extracts. *Industrial Crops and Products* 77: 375–381.
- Hofmann T., Rétfalvi T., Albert L. & Niemz P. 2008: Investigation of the chemical changes in the structure of wood thermally modified within a nitrogen atmosphere autoclave. *Wood Research* 53(3): 85–98.
- Hofmann T., Tálos-Nebehaj E. & Albert L. 2017a: Leaf polyphenols as indicators of climatic adaptation of Beech (*Fagus sylvatica* L.) – an HPLC-MS/MS via MRM approach. *International Labmate* 42(3): 12–14.
- Hofmann T., Tálos-Nebehaj E., Albert L. & Németh L. 2017b: Antioxidant efficiency of Beech (*Fagus sylvatica* L.) bark polyphenols assessed by chemometric methods. *Industrial Crops and Products* 108: 26–35.

- Hofmann T., Visi-Rajczi E. & Albert L. 2020a: Antioxidant properties assessment of the cones of conifers through the combined evaluation of multiple antioxidant assays. *Industrial Crops and Products* 145: 111935.
- Hofmann T., Visi-Rajczi E., Bocz B., Bocz D. & Albert L. 2020b: Antioxidant Capacity and Tentative Identification of Polyphenolic Compounds of Cones of Selected Coniferous Species. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 16(2): 79–94.
- Hofmann T., Wetzig M., Rétfalvi T., Sieverts T., Bergemann H. & Niemz P. 2013: Heat-treatment with the vacuum-press dewatering method: chemical properties of the manufactured wood and the condensation water. *European Journal of Wood and Wood Products* 71(1): 121–127.
- Jakes J.E., Arzola X., Bergman R., Ciesielski P., Hunt C.G., Rahbar N., Tshabalala M., Wiedenhoef A.C. & Zelinka S.L. 2016: Not just lumber—Using wood in the sustainable future of materials, chemicals, and fuels. *JOM* 68: 2395–2404.
- Juhász M.-né 1978: Az akác és a gyertyán levélkataláz-aktivitásának változása Trifenoxin 100 hatására. *Az Erdő* 27 (11): 515–516.
- Juhász M.-né 1982: A gyomirtó szerek és néhány levélkórokozó hatása főbb állományalkotó fafajaink levélkataláz aktivitására. Doktori (dr. tech.) értekezés, Erdészeti és Faipari Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron, 86 o.
- Juhász M.-né 1987: Die Veränderung der Aktivität des Katalasenzym in baumartigen Pflanzen. *Acta Facultatis Ligniensis* 65–77.
- Keszei I.-né 1980: Cserfakéreg savas hidrolízisének vizsgálata. Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei 1: 25–32.
- Keszei I.-né 1984: Kéreg hasznosítása furfúrol gyártás céljára. Doktori (e. doktor) értekezés, Kosuth Lajos Tudományegyetem, Debrecen.
- Keszei I.-né 1987: Die Kinetische Untersuchung der Hydrolyse von Zerreibenrinde. *Acta Facultatis Ligniensis* 79–115.
- Kiss József 1955: Beszámoló az Erdőmérnöki Főiskola Kémiai Tanszékének oktatási és kutatási munkájáról az 1955. július-november közötti időszakban. Sopron, november 28.
- Kovács I. 1979: Faanyagismerettan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 382 o.
- Kubel H. & Pizzi A. 1982: The chemistry and kinetic behaviour of Cu-Cr-As/B wood preservatives –P5. Reactions of CCB with cellulose, lignin and their simple model compounds. *Holzforschung und Holzverwertung* 34(4): 75–83.
- Kus J., Dolezych M., Schneider W., Hofmann T. & Visiné R. E. 2019: Coal petrological and xylotomical characterization of Miocene lignites and in-situ fossil tree stumps and trunks from Lusatia region, Germany: Palaeoenvironment and taphonomy assessment. *International Journal of Coal Geology* 217: 10328.
- Lambuth A. L. 1967: Procedure for determining the pH and buffering capacity. LabTest Method No. 142. Monsanto Company Seattle USA.
- László I., Szőke É., Németh Zs. I. & Albert L. 1998: Plant Tissue Culture as a Model for Study of Diversity in formaldehyde Bounding. *Acta Biologica Hungarica* 49 (2-4): 247–252.
- Lichner J. 2004: Az „Alma Mater” kálváriás útja Selmechányától Sopronig, illetve szétdarabolásáig. *Erdészettörténeti Közlemények* 5–39.
- Magel E. A. & Höll W. 1993: Storage carbohydrates and adenine nucleotides in trunks of *Fagus sylvatica* in relation to discoloured wood. *Holzforschung* 47: 19–25.
- Mai C., Schmitt U. & Niemz P. 2021: A brief overview on the development of wood research. *Holzforschung* 76(2): 102–119.

- Makk Á. N., Hofmann T. & Rétfalvi T. 2013: A (+)-catechin kinyerése tölgyek kérgéből. *Faipar* 61(2): 16–26.
- Molnár S., Alpár Tibor., Hofmann T. & Albert L. 2011: Új utak és lehetőségek a fa mechanikai és kémiai feldolgozásában. *Erdők éve – új kihívások a XXI. században*, Tudományos ülés a Magyar Tudományos Akadémián, 2011. 05. 31.
- Molnár-Hamvas L., Csonka-Rákosa R., Stipta J. & Németh K. 2002: Interaction of metal ions and flavonol components of wood extractives. *Proceedings of 7th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp*, Turku, Finland, August 26-29, 249–252.
- Molnárné H. L. 1994: Króm(III), króm(VI) és réz(II) kioldásának vizsgálata favédőszerrel kezelt bükk- és fenyőmintákból. *Kutatási jelentés a Faipari Kutatóintézet részére*. Sopron, június 7.
- Molnárné H. L. 1997: Flavon-származékok komplexkémiai sajátosságai I. A quercetin-alumínium egyensúly vizsgálata. XXXII. *Komplexkémiai Kollokvium*, Kecskemét, június 4–6.
- Molnárné H. L. 2000: A flavonoidok szerepe a faanyag-fémion kölcsönhatásban. *A kvercetin mint komplexképző ligandum*. Nyugat-magyarországi Egyetem, az Erdőmérnöki Kar Tudományos Konferenciájának Előadásai, Sopron, december 15, 155–160 o.
- Molnárné H. L. 2002: Flavon-származékok komplexkémiai sajátosságai II. *Kvercetin-fémionok vizsgálata*. XXXVII *Komplexkémiai Kollokvium*, Program és előadás kivonatok, Mátraháza, május 29–30, 38 o.
- Molnárné H. L. 2003: A faextraktanyag-fémion kölcsönhatás vizsgálata. *Doktori (PhD) értekezés*, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, Sopron, 180 o.
- Molnárné H. L. & Németh K. 2002: Ultraibolyafény hatása a flavon-származékok-fémionok kölcsönhatásaira. VIII. *Nemzetközi Vegyészkonferencia*, Erdélyi Magyar Tudományos Társaság Kiadványa, Kolozsvár, november 15-17, 203–218 o.
- Molnárné H. L. & Németh K. 2003: A flavonoid-króm kölcsönhatás vizsgálata. *Az Erdőmérnöki Kar Tudományos Konferenciájának Előadásai*, Kémiai Intézet Kiadványa, Sopron, december 15, 83–87 o.
- Molnárné H. L., Börscsök E. & Németh K. 2002: Flavon-származékok-fémionok kölcsönhatásainak vizsgálata. VIII. *Nemzetközi Vegyészkonferencia*, Erdélyi Magyar Tudományos Társaság Kiadványa, Kolozsvár, november 15-17, 219–223 o.
- Molnárné H. L., Stipta J. & Németh K. 2004: A faanyag és fémionok kölcsönhatása II. rész: krómionokkal kezelt faanyag látható és UV spektruma. *Faipar* 52(1): 20–24.
- Moór A., Roxer E., Szendrey I., Szodfridt I., Gencsi Z. & Várhelyi I. 1983: Az Erdőmérnöki Kar tanszékeinek történelmi alakulása. *Az Erdő* 32(7): 311–321.
- Móra L. 1971: Zemplén Géza a hazai tudományos szerves kémia megalapítója (1883-1956). *Budapesti Műszaki Egyetem Központi Könyvtára, Műszaki Történeti Kiadványok*, Budapest 222 o.
- Móra L., Próder I. & Gazda I. 2015: A magyar kémia és vegyipar kronológiája 1800–1950. *A Magyar Tudománytörténeti Intézet tudományos közleményei* (51). Magyar Tudománytörténeti Intézet, Budapest, 128 o.
- Németh I. 2004: A Selmecbányai Bányatisztképzőből lett Soproni Erdészeti és Faipari Egyetem. *Limes* 4: 113–124.
- Németh K. 1973: A fa és telítetlen poliészter-sztirol rendszerek egymásra hatásának vizsgálata. *Kandidátusi értekezés*, Sopron, 244 o.
- Németh K. 1976: A fa és telítetlen poliészter-sztirol kombinációjának gombaállósága. *Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei* 79–84.

- Németh K. 1978: A faanyag degradációja. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 101 o.
- Németh K. 1981a: Színmérés a faiparban I. A természetes fa színmeghatározása. *Faipar* 31(9): 257–261.
- Németh K. 1981b: Színmérés a faiparban II. Felületkezelés hatása a fa színére. *Faipar* 31(9): 261–264.
- Németh K. 1981c: Színmérés a faiparban III. Pácolás hatása a fa színére. *Faipar* 31(12): 370–373.
- Németh K. 1982: A fa színének értékelése a CIELAB-rendszerben. *Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei* 2: 125–135.
- Németh K. 1983: Színmérés a faiparban IV. A CIELAB színíngermérő rendszer alkalmazása. *Faipar* 33(5): 156–159.
- Németh K. 1985: Der Zusammenhang zwischen der Oberflächenergie und Farbe des Holzes. *Acta Facultatis Forestalis* 63–71.
- Németh K. 1986: Rolle des Feuchtigkeitsgehaltes der Holze in der Hygroskopizität von Polyurethan-Holz Kompositen. *Acta Facultatis Ligniensis* 1:55–64.
- Németh K. 1987a: Auswirkungen des feuchten Ammoniakgases auf die Farbänderung des Holzes. *Acta Facultatis Ligniensis* 5–19.
- Németh K. 1987b: Der wasserlosliche und gebundene Sauregehalt des Holzstoffes. *Acta Facultatis Ligniensis* 21–37.
- Németh K. 1989a: A faanyagok fotodegradációja. *Faipar* 39(11): 330–332.
- Németh K. 1989b: A faanyag abiotikus degradációja. Akadémiai doktori értekezés, Sopron, 151 o.
- Németh K. 1990: Die abiotische Degradation des Holzes. *Acta Facultatis Ligniensis* 2:5–10.
- Németh K. 1997: Faanyagkémia. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 123 o.
- Németh K. & Faix O. 1988: Farbmessung zur Beobachtung der Photodegradation des Holzes. *Holz als Roh- und Werkstoff* 46(12): 472. *Kurz Originalia*.
- Németh K. & Faix O. 1992: Untersuchungen zur Anwendung der DRIFT-spektroskopie verfolgter der Photodegradation des Holzes. *Acta Facultatis Ligniensis* 1:5–14.
- Németh K. & Faix O. 1994: Beobachtung der Photodegradation des Holzes durch quantitative DRIFT- Spektroskopie. *Holz als Roh und Werkstoff* 52: 261–266.
- Németh K. & Stipta J. 2002: Összetett reakciók a krómionnal kezelt faanyag fotodegradációjában. *Faipar* 50(2): 7–10.
- Németh K. & Szendrey I. 1973: A közönséges nyírfa és kémiai alkotórészeinek derivatográfiás vizsgálata. *Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei* 3: 117–127.
- Németh K. & Vanó V. 1995: Colour as the complex feature of photochemical changes of wood. *Proceedings of 8th. International Symposium on Wood and Pulping Chemistry, June 6-9, Helsinki, Finland, 3: 1–4.*
- Németh K., Faix O. & Vanó V. 1992: The effect of extractives on the photodegradation of wood. *Proceedings of 2 th. European Workshop on Lignocellulosics and Pulp (EWLP), Grenoble, France, September 2-4, 191–192.*
- Németh K., Molnárné H. L. & Stipta J. 2003: Kinetic interpretation of processes in wood at mild-temperature. in *Proceedings of the International Conference "Chemical Technology of Wood, Pulp and Paper"*, Bratislava, Slovakia, September 17–19, 305–308.
- Németh K., Varga V. & Albert L. 1998: Differences between the modification of flavonols caused by stress and abiotical effects. *Proceedings of the 5th. European Workshop on Lignocellulosic and Pulp (EWLP), Aveiro, Portugal, August 30 – September 2, 341–345.*

- Németh R., Tolvaj L., Molnár S., Rétfalvi T. & Albert L. 2007a: Steaming of beech wood. Colour homogenization and the management of waste water. *ProLigno*. ISSN 1841-4737, 3(3): 59–68.
- Németh Zs. I. & Albert L. 1997: Identification of Endogenous Formaldehyde in Different Biological Samples by MALDI-MS. „Stress of Life” Congress, Stress and Adaptation from Molecules to Man, Budapest, July 1-5, Volume of Abstracts, 186. o.
- Németh Zs. I., Albert L. & Varga Sz. 2000: Relationship between Dimedone Schock and Formaldehyde Level in the Germinating Acorns of European Tukey Oak. 5th. International, Jubilee Conference on Role of Formaldehyde in Biological Systems Methylation and Demethylation Processes, 56. o.
- Németh Zs. I., Albert L. & Varga Sz. 2004: Characterization of germination with physical parameters: correlation of relative mass and density as an indicator function of the germination of European Turkey oak acorn. *Journal of Theoretical Biology* 231 (2): 167–174.
- Németh Zs. I., Albert L. & Varga, Sz. 1998: Change of Formaldehyde and Some Betaines in the Germinating Acorns of *Quercus Cerris* L. at Low Temperature Stress Conditions. *Acta Biologica Hungarica* 49 (2-4): 369–374.
- Németh Zs. I., Sárdi É. & Stefanovits-Bányai É. 2009: State dependent correlations of biochemical variables in plants. *Journal of Chemometrics* 23 (3-4): 197–210.
- Németh Zs. I. 2002: A formaldehid és természetes generátorai, mint környezeti hatások jelző molekulái a csertölgy korai ontogenezisében. Doktori (PhD) értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron, 101 o.
- Niemz P., Hofmann T. & Retfalvi T. 2010. Investigation of chemical changes in the structure of thermally modified wood. *Maderas - Ciencia y Tecnologia* 12(2): 69–78.
- Patocskai G. 1989: Szekunder papírok színezése. Doktori (e. doktor) értekezés. Műszaki Egyetem, Budapest.
- Patocskai G. 1992: Fatartalmú papírok színezési tulajdonságainak vizsgálata. Doktori (PhD) értekezés. Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron, 120 o.
- Poszgai-Harsányi M., Németh Zs. I., Gálos B., Albert L. & Varga Sz. 2005: Comparison of the alarm phases induced by cold shock in case of germinating acorns of *Quercus cerris* L. and *Quercus robur* L. International Conference on Nonlinear Processes in Life Sciences, Lublin, Poland, Poszter 107.
- Poszgainé Harsányi M. 2008: Abiotikus hatások kémiai vizsgálata a kocsányos tölgy (*Quercus robur* L.) makk tárolása és korai ontogenezise folyamán. Doktori (PhD) értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Sopron, 149 o.
- Prosz J. 1938: A Selmeci Bányászati Akadémia, mint a kémiai tudományos kutatás bölcsője hazánkban. Bányászati, kohászati és erdészeti felsőoktatásunk története 1735-1935. 3. füzet. M. Kir. József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Bánya-, Kohó- és Erdőmérnöki Karának Könyvkiadó Alapja, Sopron, 42 o.
- Rétfalvi T. 2008: Erdei fajok illékony szerves komponenseinek GC-MS meghatározása. III. Regionális Természettudományi Konferencia, Szombathely, 2008. január 31.
- Rétfalvi T., Albert L. & Hofmann T. 2005: Az akác és a tölgy savasságának vizsgálata. MTA Természetes Polimerek Munkabizottsága ülése. Budapest, november 24. (Szóbeli előadás).
- Rétfalvi T., Albert L., Tolvaj L. & Szócs É. 2003: Analysis of the acidity of the waste water originating at steaming of beech and black locust woods. *WPP Chemical Technology of*

- Wood, Pulp and Paper. Proceedings of the International Conference „Chemical Technology of Wood, Pulp and Paper”, Bratislava, Slovak Republic, September 17–19, 321–325.
- Rétfalvi T., Hofmann T., Albert L. & Niemz P. 2009: The environmental chemical features of the waste water originated from the thermal treatment of wood. *Wood Research* 54 (4):13–22.
- Rétfalvi T., Hofmann T., Visi-Rajczi E., Takács P., Albert L. & Markó G. 2004: The acidity of red-heartwooded beech and its effects on the mechanical features of the chipboard. Proceedings of the 8th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp, Riga, Latvia, 547–550.
- Rétfalvi T., Horváth Zs., Csepregi I. & Albert L. 2007: Erdei fafajok illékony szervesanyag komponenseinek GC-MS meghatározása. NYME Erdőmérnöki Kar Tudományos Ülése, Sopron, 2007. december. 11.
- Rétfalvi T., Németh R. 2006: Recycling of acidic waste water resulting from steaming. Innobech CRART Project-meeting 30. 11. – 01. 12, AIDIMA, Valencia, Spain.
- Rétfalvi T., Németh R., Dénes L., Gerencsér K., Albert L. & Molnár S. 2007b: A gázkromatográfia alkalmazása a faipari technológiák környezetszennyező anyagainak analizálásában. Magyar Kémikusok Egyesülete Centenárium Ülésszakának Összefoglalója, Sopron, 2007. május 29–június 1, 171 o.
- Rétfalvi T., Németh R., Hofmann T. & Albert L. 2009: Akác faanyag szárítása során felszabaduló illékony szerves anyagok vizsgálata. IX. Környezetvédelmi analitikai és technológiai konferencia, Sopron, 2009. október 7–9. (Poszter).
- Rétfalvi T., Albert L., Tolvaj L. & Szőcs É. 2003: Analysis of the acidity of the waste water originating at steaming of beech and black locust woods. WPP Chemical Technology of Wood, Pulp and Paper. Proceedings of the International Conference „Chemical Technology of Wood, Pulp and Paper” September 17-19, Bratislava, Slovak Republic. p. 321–325.
- Rétfalvi T., Hofmann T., Visi-Rajczi E., Takács P., Albert L. & Markó G. 2004: The acidity of red-heartwooded beech and its effects on the mechanical features of the chipboard. Proceedings of the 8th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp Riga, Latvia. p. 547–550.
- Romwalter A. 1953: A fa kémiai technológiája (kézirat). Mezőgazdasági Fordító Iroda, Budapest, 223 o.
- Sachsse H. 1991: Kerntypen der Rotbuche. *Forstarchiv* 62 (6): 238–242.
- Sandermann W. & Rothkamm M. 1959: The determination of pH value of commercial woods and its practical importance. *Holz als Roh- und Werkstoff* 17: 433–440.
- Schelle R. & Bencze G. 1916: A Selmechányai m. kir. Bányászati és Erdészeti főiskola Chemiai Intézete. *Bányászati és Kohászati Lapok* 20: 79.
- Schwarz C. 1998: Stand der Buchenrotkernforschung und Käuferansprüche an Buchenrundholz bei Auftreten von Rotkern. Diplomarbeit, Institut für Forstbenutzung und Forstliche Arbeitswissenschaft, Universität Freiburg.
- Scopoli J. A. 1788: Untersuchungen einiger Holzarten aus der Gattung der Fichte, des Terpentins, der Kienöhls, des schwarzen der Schffpech des Harzes. Schemnitz.
- Stipta J. & Németh K. 2000: Fizikai-kémiai faanyagjellemzők szerepe a forgácslapok formaldehid emissziójában. A Nyugat-Magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar Tudományos Konferenciájának Kiadványa, Sopron, 2000. december 15, 161–166 o.
- Stipta J., Németh K. & Molnárné Hamvas L. 2002. A faanyag és fémionok kölcsönhatása. I. rész: A krómionok és a fény hatása a faanyag színére. *Faipar* 50(4): 18–23.
- Stipta J., Pavlekovic A., Rácz I., Csóka L. & Németh K. 2005b: Possibilities of classification according to color properties. Proceedings of 2nd European Conference on Hardwood, Sopron, Hungary, 6. September, 143–149.

- Stipta J., Pavlekovics A., Rác I., Kovácsvölgyi G. & Németh K. 2005a: Investigation of color characteristics of oak species. Proceedings of 2<sup>nd</sup> European Conference on Hardwood, Sopron, Hungary, September 6, 138–142.
- Subramanian R.V., Somasekharan K. N. & Johns W. E. 1983: Acidity of wood. *Holzforschung* 37(3): 117–120.
- Szabadváry F. & Szőkefalvi Nagy Z. 1972: A kémia története Magyarországon. Akadémiai Kiadó, Budapest, 365 o.
- Szendrey I. 1967: A kémiai tudományok szerepe a belterjes erdőgazdaságban. *Az Erdő* 16(6): 246–250.
- Szendrey I. 1968: A radioaktív foszfor vándorlása egészséges és kéregfekélyes nyárfák törzsében. *Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei* 2: 97–104.
- Szendrey I. 1972: A vékonyfa és a levélananyag hasznosításának lehetőségei. *Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei* 2: 89–97.
- Szendrey I. 1975: A ligninprobléma és annak gyakorlati kihatásai. *Az Erdő* 24(2): 49–54.
- Szendrey I. 1978: Arboricidok inaktiválódásának vizsgálata az előfában radioaktív nyomjelzéssel. *Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei*, 5–9.
- Szendrey I. 1982: Vegyipari intermedierek erdei biomasszából. *MTA. Agrártudományi Közlemények* 41(3-4): 820–824.
- Szendrey I. 1988: Az erdészeti kémiai kutatások újabb eredményei. *Az Erdő* 37(9): 392–394.
- Szendrey I. & Csanádi E. 1972: A Trifenoxin 100 arboricid alkalmazásának biokémiai vizsgálata akácokon. *Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei* 3: 7–14.
- Szendrey I. & Németh K. 1966: Fa-poliészter rendszerek kölcsönhatásának és izolálásának vizsgálata. *Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei* (1-2): 79–87.
- Szendrey I. & Juhász M.-né 1969: Az akác, a hárs és az olasznyár levélkataláz-aktivitásának évszakos változása. *Erdészeti és Faipari Egyetem Tudományos Közleményei* 1: 103–112.
- Szodfridt I. 1995: Nagy elődök nyomában. Bencze Gergely (1854–1925). *Erdészeti Lapok* 80(9): 286–287.
- Tálos-Nebehaj E., Albert L., Visi-Rajczi E. & Hofmann T. 2019: Combined Multiassay Evaluation of the Antioxidant Properties of Tree Bark. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 15(2): 85–97.
- Tálos-Nebehaj E., Hofmann T. & Albert L. 2017: Seasonal changes of natural antioxidant content in the leaves of Hungarian forest trees. *Industrial Crops and Products* 98: 53–59.
- Tuzson J. 1903: A bükkfa korhadása és konzerválása. A m. kir. földmivelésügyi minister kiadványai, Budapest, Pallas Részvénytársaság Nyomdája, 1904. 17. szám, 106 o.
- Tyihák E., Albert L., Németh Zs. I., Kátay Gy. & Király-Véghelyi Zs. 1998: Natural Formaldehyde Generators and Capturers. *Acta Biologica Hungarica* 49 (2-4): 225–238.
- Tyihák E., Albert L., Németh Zs. I., Kátay Gy., Király-Véghelyi Zs. & Szende B. 1998: Formaldehyde Cycle and the Natural Formaldehyde Generators and Capturers. *Acta Biologica Hungarica* 49: 225–238.
- Vadas J. 1896: A selmeczbányai M. Kir. Erdőakadémia története és ismertetője. Pátria, Budapest, 383 o.
- Vanó V. & Németh K. 1996: The application of spectro-colorimetry of hardwood flavonoids for the interpretation of colour changes of wood. Proceedings of 4th. European Workshop on Lignocellulosics and Pulp (EWLP), Stresa, Italy, September 9-11, 157–161.
- Varga Sz., Albert L. & Németh Zs. I. 1997: A formaldehid metabolizmus vizsgálata a csermakk csírázásának kezdeti szakaszában. *Erdő-, vad- és fagazdálkodás* 79–86.

- Varga V. 1997: Belső és külső tényezők szerepe az akác faanyagának fotodegradációjában. Kandidátusi értekezés, Budapest, 102 o.
- Visiné R. E., Albert L., Koloszá J., Varga Sz., Csepregi I. & Sárdi É. 2002: Az álgesztes bükk (*Fagus sylvatica* L.) kioldható szénhidrát-tartalmának vizsgálata. In: A Kémiai Intézet Tudományos Ülése, Konferencia kiadvány, Sopron, 2002 november 7., 97–101 o.
- Visiné R. E., Albert L., Németh L., Schlosserová N., Voběrková S. & Hofmann T. 2022: Lucfenyő (*Picea abies* H. Karst.) és kanadai homlokfenyő (*Tsuga canadensis* (L.) carrière) toboz extraktumok antioxidáns és antibakteriális hatása. In: Magyar Kémikusok Egyesülete (szerk.), Vegyészkonferencia 2022, p.109.
- Visiné R. E., Hofmann T. & Albert L. 2018a: Peroxidáz és polifenol-oxidáz enzim aktivitás és az összfehérje-tartalom, mint a bükk (*Fagus sylvatica* L.) klimatikus adaptációjának lehetséges indikátorai. In: Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar VI. Kari Tudományos Konferencia 260–263 o.
- Visiné Rajczi E., Hofmann T., Albert L. & Mátyás Cs. 2018b: Az antioxidáns rendszer, mint a bükk (*Fagus sylvatica* L.) klimatikus alkalmazkodóképességének lehetséges indikátora. Erdészettudományi Közlemények 8(2): 25–35.
- Visi-Rajczi E., Albert L., Hofmann T., Sárdi É., Koloszá J., Varga Sz. & Csepregi I. 2003: Storage and accumulation of nonstructural carbohydrates in trunks of *Fagus sylvatica* L. in relation to discoloured wood. Proceedings of the International Conference on Chemical Technology of Wood, Pulp and Paper, Bratislava, Slovak Republic, September 17-19, 17–19.
- Visi-Rajczi E., Hofmann T., Albert L. & Mátyás Cs. 2021. Tracing the acclimation of european beech (*Fagus sylvatica* L.) populations to climatic stress by analyzing the antioxidant system. IForest-Biogeosciences and Forestry 14(2): 95–103.
- Wentzel M., Fleckenstein M., Hofmann T. & Militz H. 2018: Relation of chemical and mechanical properties of *Eucalyptus nitens* wood thermally modified in open and closed systems. Wood Material Science and Engineering 14(3): 165–173.
- Zemplén G. 1907a: A káliumpermanganát hatása celluloséra. Matematikai és Természettudományi Értesítő 25: 396–401.
- Zemplén G. 1907b: A káliumpermanganát hatása a cellulózra. Erdészeti Kísérletek 9: 113–117.
- Zemplén G. 1908: Erdei fák leveleinek nitrogén-tartalmáról. Matematikai és Természettudományi Értesítő 26: 513–519.
- Zemplén G. 1909: A túlhevített vízgőzzel végzett falepárlás. Vegyészeti Lapok 4: 399–403.
- Zemplén G. 1910a: Hogyan lehet a fát gázok és gőzök hatására értékesebbé tenni? Vegyészeti Lapok 5: 321–322.
- Zemplén G. 1910b: A parafára vonatkozó kémiai ismereteink. Vegyészeti Lapok 5: 274–276.
- Zemplén G. 1913a: Adatok a parafa kémiai ismeretéhez. Erdészeti Kísérletek 15: 28–33.
- Zemplén G. 1913b: Adatok a cellulóz részleges hidrolíziséhez. Erdészeti Kísérletek 15: 52–60.
- Zemplén G. 1913c: Adatok a cellulóz részleges hidrolíziséhez. Matematikai és Természettudományi Értesítő 31: 626–637.
- Zemplén G. 1913d: Beitrage zur partiellen Hydrolyse der Cellulose. Zeitschrift für Physiologische Chemie 85: 180–191.



## **Chapters from the History of Wood Chemistry in Hungary**

The history of science remains indebted to the summary of the history of wood chemistry in Hungary. This study pays off that debt. Due to space limitations, it could not be comprehensive, focusing only on selected chapters, as indicated in the title. We have chosen to detail the history of wood chemistry research in Selmecbánya and Sopron, with an outlook on the chemistry of living tree and the forest. Research areas of wood engineering sciences that are related to wood chemistry, but are the subject of other chapters of this book, have been left out or were only referenced. There are overlaps in the subject areas of wood color, photo- and thermal degradation, and we discussed the research aimed at detecting chemical changes. The rapid development of instrumentation, the constantly renewing needs of industry and practice have broadened the research of the chemistry of wood to include the examination of wood as a complex system with the tools of chemistry, which is indicated by the term “wood chemistry”. Both terms were used in the study. We have discussed in more detail the history of research that presents wood chemistry in a broader spectrum. The chemical interpretation of wood material’s responses to abiotic effects, color and color changes, photo- and thermal degradation is useful in various fields of wood science and in the wood industry. The results of research on the acidity of wood, soluble carbohydrates, flavonoids and enzymes lead to the field of tree physiology, plant biochemistry, the formation processes of colored wood defects, plant stress and the adaptation of forest trees. By discovering their chemical background, wood chemistry contributes to their scientific interpretation. The extraction, separation and identification of antioxidants from bark, cones and leaves, which are considered forestry waste, paves the way for their complex utilization. Wood chemistry provides an opportunity to compare the chemical structure of living and fossil wood, and also leads to the world of paleobotany. In this regard, wood chemistry research can also be considered as oriented basic research.

# FAANYAGVÉDELEM

Horváth Norbert

## Bevezető

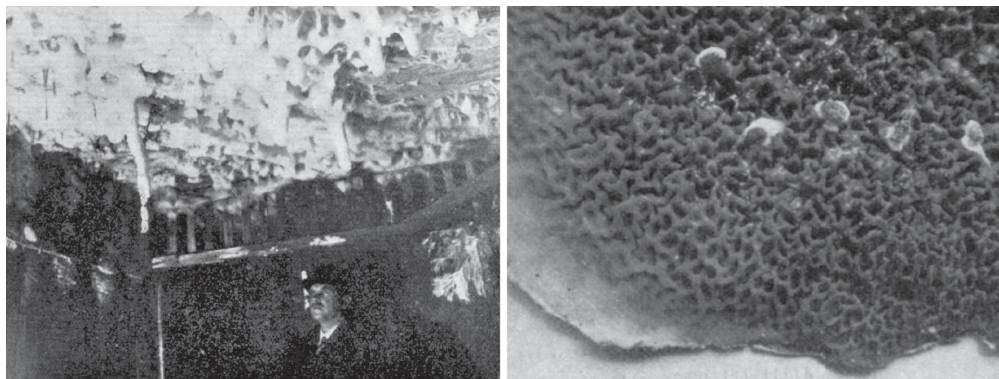
A faanyagtudomány a fatestnek, mint a fa- és építőipar megújuló alapanyagának életútját hivatott szolgálni úgy, hogy a tudomány és a technika állásának megfelelő ismeretanyagokkal, eljárásokkal növelje a felhasználás hatékonyságát és a beépített faanyagok élettartamát. A tudományághoz kapcsolódóan az ipari faanyagok, fa- és faalapú termékek, szerkezetek károsodásaival, károsító hatásaival, tartóssága-, ill. élettartama növelésének alapvető kérdéseivel a faanyagvédelem szakterülete foglalkozik. Az alkalmazott faanyagvédelem tárgykörébe tartozó intézkedések sora rönk állapotban, azaz a „lábon álló” fa kidöntésével kezdődik. A döntést megelőző időszakban az élő fák károsodási, fertőzési mechanizmusai és ezekkel kapcsolatos védelmi intézkedések a növényvédelem és ezen belül is különösen az erdővédelem szakterületének kompetenciájába sorolandók. Az élő fa sajátosságaiból adódóan a faanyag- és erdővédelem szakterületek az eltérő hatásköreik ellenére és a közös történelmi szálakon kívül is mind a mai napig szoros kapcsolatban állnak egymással. A szakszerű erdővédelem révén juthat az ipar minél több károsodásmentes, minőségi hengeres fához, a faanyagvédelem pedig biztosítja, hogy e nemes alapanyagunk akár évszázadokig is funkcionális eszközök, építmények méltó alapanyagául szolgálhasson. Kiemelhető azonban, hogy a faanyagvédelem a faépítészeti vonatkozásából is adódóan túlmutat a faanyagtudomány keretein. Mi sem mutatja legjobban a szakterület multidiszciplináris jellegét, mint az, hogy a tárgykörben kutatók között megtalálhatók biológusok, botanikusok, építészek, kertész-, erdő-, vegyész- és faipari mérnökök egyaránt.

Ezen bevezetőt követően az alábbi rövid publikáció célja, hogy a teljesség igénye nélkül betekintést nyújtson a faanyagvédelem egyéb szakterületekkel közös múltjába, alakuló jelenébe és várható jövőjébe a fellelhető hazai kutatási anyagok, publikációk alapján. Ugyan e cikk írásakor a hazai jogszabályok alapján a fából készült építmények lángmentesítése már a tűzvédelem hatáskörébe tartozik, ennek ellenére a fejezetben néhány fellelhető releváns kutatás is megemlítsre kerül.

## A hazai faanyagvédelmi kutatások kezdeti eredményei

A hazai faanyagvédelmi kutatások kezdetének pontos időpontja nehezen, vagy egyáltalán nem határozható meg mivel önálló szakterületről lényegében az intézményesített faanyagvédelmi kutatások megkezdését követően beszélhetünk. Ennek ellenére már a XIX. századi természettudományi vonatkozású feljegyzésekben találhatunk a faanyagok természetes tartósságára, vagy az egyes biológiai károsítókra vonatkozó tudományos ada-

tokat. Istvánffy (1893) például a házi- vagy futógombával, azaz a könnyező házigombával kapcsolatban kiemeli, hogy „A padlódeszkák főleg akkor pusztulnak el hamar, ha padlómáz, olajos festék s más légmentesítő réteg borítja színöket”. Ezen kívül az épületek gomba-mentesítési technológiájával kapcsolatban is lényeges, részben máig is aktuális intézkedési javaslatokat tesz: „A futógomba kipusztításakor az elkorhadt fát azonnal a helyszínen el kell égetni. Igen helytelenül cselekszik az, ki a szokáshoz tartja magát és a szegények közt osztja ki az ilyen inficziált fát, mert ezek azután továbbviszik a futógomba csíráit”. A századfordulót követően Moesz (1934) az épületek elgombásodásával kapcsolatban részletes betekintést nyújt többek között az épületszerkezetekben leggyakoribb gombakárosítók biológiájába, továbbá az ellenük történő védekezés lehetőségeiről. Kutatási adatai elsősorban saját és kortárs szakértők helyszíni vizsgálati megfigyeléseinek és eredményeinek alapulnak. Külön megemlíthető, hogy a kiadványban Pénzes Antal felvételeinek köszönhetően háziasodott gombák képleteiről, kártételükről jó minőségű és értékes képanyagot is publikált.



Moesz Gusztáv egy könnyező házigomba micéliumokkal és kötegekkel beszótt mennyezetű helyiségben (bal), könnyező házigomba fiatal termőtest (Fotó: Pénzes Antal, 1934)

### Az intézményesített faanyagvédelmi kutatások megkezdésétől számított jelentősebb eredmények

A szakma múlt századi fejlődését a soproni felsőoktatással összefüggésben eleinte a főiskolai, majd később az egyetemi kutatások, továbbá a magánszakértői és vállalati vizsgálatok is fémjelzik. Ennek ellenére az intézményesített faanyagvédelmi kutatások megkezdésének dátuma az 1949-ben megalapított Faanyagvizsgáló és Fagazdasági Intézethez köthető, mely 1951 novemberétől Faipari Kutató Intézet (FKI) néven folytatta tevékenységét. Ennek megfelelően az alábbiakban a teljesség igénye nélkül a napjainkig tartó időszakban fellelhető legfontosabb intézményi, vállalati és magánszakértői kutatási eredmények kerültek összefoglalásra.

Bálint (1953) az egykori FKI kutatójaként a korabeli alkalmazott mykológiai kutatások faanyagvédelemben alkalmazható eredményeiről publikált. A farontó gombák meg-

telepedésének igazolására szolgáló mikroszkópos metszetek esetén a gombafonalak jelenlétének és elterjedésének láthatóvá tételére Bismark-barna, safranin vagy pikrin-anilinkék alkalmazásával történő festési eljárást javasol. Közleményében kiemeli, hogy festést követő negatív eredmény esetén a további vizsgálatokat a sejtfalakol lévő mikroszkopikus furatok és az oxálsavas mészkristályok esetleges jelenlétére kell fókuszálni. Gombafonalak fellelése esetén hangsúlyozza azok elágazásainál található kapcsok, csatok képződési jellegzetességeinek diagnosztikai fontosságát.

Bálint (1954) publikációjában a beépítendő faanyagok megelőző védelmével, továbbá a könnyező házigomba kártételével és megszüntetésével kapcsolatos ismeretanyagokat tárgyal. Megfogalmazza az épület gombamentesítési, szanálási technológiáinak alapvető lépéseit, melynél pl. a csonkolás biztonsági zónáját a jelenlegi szigorúbb követelményektől eltérően csupán 20 cm-ben határozza meg. Külön kiemeli a fődémfeltöltő anyagok (salak, homok stb.) égetettmész porral történő keverésének fontosságát, melyet korlátozottan ugyan, de napjainkban is alkalmaznak a pH-érték farontó gombáknak kedvezőtlen (lúgos) tartományba történő eltolására.

Bálint (1955) többek között az épületek elgombásodása kapcsán a Faipari Kutató Intézetben beazonosított gombafajok eloszlásáról is publikált. A korabeli, budapesti mintavételezések és az azt követő laborvizsgálatok alapján az épületekben leggyakrabban (59%) a *Coniophora cerebella* – majd ezt követően a *Merulius lacrymans* – (24%), harmadik helyen pedig a *Poria vaporaria* (10%) megtelepedése igazolódott.

Igmándy Zoltán, aki a hazai faipari mérnök képzés beindulásakor kidolgozta az „Ipari faanyagvédelem tan” tantárgyat (Varga, 2010), minden bizonnyal a hazai faanyagvédelmi oktatás és kutatás egyik legkiemelkedőbb alakja is volt. Az egykori Erdőmérnöki Főiskola Erdővédelemtani Tanszékén beható vizsgálatokat folytatott a csertölgy, mint élő fa gombakárosítóival, fagyrepedése általi károkkal, továbbá faanyagának természetes tartósságával és ipari felhasználásával kapcsolatban. Megállapításai szerint a csertölgy gesztjénél jól elkülöníthető vöröses tónusú változat esetében tulajdonképpen álgesztésztről beszélhetünk, melynek repedésre való hajlama, nehéz telíthetősége miatt ipari felhasználása kevésbé alkalmas. A feldolgozott, beépített tölgysztről legádázabb gesztbontójával a labirintustaplóval (*Daedalaea quercina*) folytatott kísérletei nyomán leírja, hogy a cser gesztét nem bontja, mely jelenséget az alacsonyabb cseresavtartalomnak tulajdonítja. Többek között a nemestölgyek gesztjét kevésbé károsító borostás réteggomba (*Stereum hirsutum*), valamint a lepketapló (*Coriolus versicolor*) bontásával kapcsolatban pedig kiemeli, hogy csertölgy gesztje kevésbé ellenálló (Igmándy, 1959).

Igmándy és Pagony (1962) a hazánkban akkoriban egyre gyakrabban és egyre intenzívebben előforduló szíjácsbogár (*Lictus linearis*) károsítások kapcsán publikáltak. Kutatásaik fókuszában hazánk területéről 1959-ben beszállított, fertőzött faanyagokból kirepült egyedek és azok károsító hatása állt. Alapvető érvényű megállapításokat tettek a rovar életmódjával, morfológiai és károsítási tulajdonságaival kapcsolatban. Az aktívan károsított faminták 18–20°C közötti inkubációja mellett a rovarok tömeges kirepülését a márciustól júniusig tartó időszakon belül április hónapban figyelték meg. Az így kitevésztett szíjácsbogarakat friss vágásból származó, 12–16% nettó fanedvességű, rovarfer-

tőzéstől mentes natúr, valamint Neopol és Mikrosol rovarirtószerekkel kezelt fakockákra helyezték. Míg a kezelt famintákon nem tudott a rovar megtelepedni, addig természetes állapotú cser szíjács minták közel 80%-án megfigyelhető volt a károsítása. Kísérleti eredményeik rámutattak, hogy a cser faanyagon nevelkedett kísérleti egyedek laborkörülmények között a nemestölgy szíjácsot nem preferálják. A szerzők megállapításai alapján a közönséges szíjácsbogár elleni megelőző védekezés vagy az edények nyílásainak eltömítésével (firnisz, lenolaj, paraffin stb.) vagy rovarmérgekkel oldható meg.

Bálint (1964) közönséges szíjácsbogárral (*Lyctus linearis*) folytatott kísérletei kapcsán a rovar megjelenéséről, kártételéről, faanyagvédelmi jelenőségéről publikált. Az épületszerkezetekben fellépő rovarkárosítások megjelenését a következő okokra vezeti vissza: aktívan károsított faanyag beépítése, vagy aktívan károsított faanyagból készült tűzifa, ill. bútor behurcolása az épületbe. A rovar kártétele csökkentésének fő lehetőségét a megfelelő hőmérsékletű és időtartamú faanyagszárításban és a beépítés, felhasználás előtti anyagtárolásban látja.



Igmándy Zoltán a faanyagvédelmi felsőoktatás és kutatás kiválósága (Fotó: Anon.)

Gyarmati és Igmándy (1964) az egykori MÁV Fatelítő Ü.V. és az Erdészeti és Faipari Egyetem Erdővédelemtani és Fatechnológiai Tanszéke együttműködésében arra az alapvető kérdésre keresték a választ, hogy védőszeres kezeléssel megszüntethető-e a faanyagok aktív gombakárosítása. Trendelenburg (1940) nyomán vizsgálataikat 1,2×1,2×15 cm-es lucfenyő pálcákon, továbbá Kolle-lombikban előnevelt pincegomba (*Coniophora cerebel-la*) tenyésztettel végezték. A két- és négyhetes inkubációt követően a próbatestek egy részét nátrium-fluorid és nátrium-bikromát hatóanyagú védőszerkeverék 2%-os oldatával telítették, majd azt követően a próbatesteket három csoportra osztották. Az első csoport elemein a telítés előtt tömegcsökkenési-, majd a telítést követően ütó-hajlító vizsgálatot végeztek. Míg az egyik csoport elemeit a vizsgálati gombának kedvező 90–100%-os re-

latív páratartalmú, és 22 °C hőmérsékletű légtérben tárolták, addig a második csoporté pincegomba tenyésztésre kerültek visszahelyezésre. A telített próbatestek, továbbá a gombatenyésztésnek 6 hétig kitett kontroll próbatestek vizsgálatai egyidőben folytak. A gombabontás mértékét nem csak tömegméréssel, hanem a pálcák ütő-hajlító szilárdságának meghatározásával is nyomon követték. A kutatásuk eredményeként igazolódott, hogy az ütő-hajlító szilárdság csökkenése a tömegcsökkenéshez képest markánsabb a hosszabb ideig korhasztott próbatesteknél, így azt a gombabontás jellemzésére alkalmasabbnak ítélték. Megállapítást nyert továbbá, hogy az alkalmazott védőszerrel történő telítéssel nem csak az aktív gombakárosítás szüntethető meg, hanem a pincegomba későbbi megtelepedése is megelőzhető. A kutatók az ipari méretű és beépített jellegű épületfák kezelésére vonatkozóan megjegyezték, hogy a laborvizsgálatokhoz hasonló eredményesség elsősorban a választék fajájától, méreteitől, az alkalmazni kívánt védőszerrel, és a károsítónak a faanyagban való elterjedésétől függ. Kiemelték továbbá, hogy a nagy keresztmetszetű választékoknál előreláthatólag csak a magas nyomású ipari eljárásoktól, beépített faanyagoknál pedig a fűrt lyukon történő helyi telítéstől lehet hasonló eredményeket várni.

Erdélyi (1966) nyomán a cserfa komplex felhasználása kapcsán a Faipari Kutató Intézet 1963-ban kezdte meg a kutatásokat. A tartósság megállapítására irányuló vizsgálatok eredményei szerint a cserfa szabadban, vagy nedves helyeken beépítve, lényegesen kisebb élettartamú, mint a tölgy, ezért védőkezelés nélküli, ilyen jellegű felhasználását kerülni javasolt. Kiemeli, hogy a tartósságra vonatkozó megállapítások szem előtt tartása mellett a nedvesség hatásának kitett helyeken hasznosítandó anyagot telíteni szükséges. A telíthetőséggel kapcsolatban rámutat, hogy a cser faanyag permeabilitási tulajdonságai kedvezőek, s ebből a szempontból gyakorlatilag egyenértékű a tölgygel.

A növekvő mennyiségben létesített faépületekre vonatkozó korszerű követelményeknek megfelelő tűzrendészeti előírások kidolgozásához az egykori Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztérium, a BM Tűzrendészeti Országos Parancsnokság egyetértésével, az 1971–1974-es időszakra tűzrendészeti kutatásokat és kísérleteket irányoztak elő fa- és faalapú épületeknél (Fábián 1972). A szerző megállapításai szerint a faanyagok ellenállása égéskésleltető szerrel történő kezeléssel növelhető, azonban éghetetlen faanyag gazdaságosan nem állítható elő. Égési tulajdonságok alapján a fa- és építőiparban akkoriban használt fafajok közül a legkedvezőbbnek a fehér akác-, a tűz hatásának pedig legkevésbé ellenállónak a nyárfélék természetes faanyagát nevezte meg. Kültéri kitettségek esetén felhasználható, időálló, biotikus károsítókkal szemben is védő, kombinált hatású, valamint az esztétikai követelményeket is kielégítő védőszerek kidolgozását szorgalmazta.

Szarka (1972) nyomán az előre gyártott fa- és faalapanyagú épületszerkezetek által biztosított előnyös építési mód a hazai, korabeli faházgyártás volumenének növekedését vonta maga után. A háztípusok bővülése szükségszerűvé tette többek között a faházakkal kapcsolatos gyártási-, telepítési- és faanyagvédelmi előírások egységesítését. A faanyagvédelmi (tűz-, gomba- és rovarvédelmi) kérdésekben az ország jelentősebb faháztermelőinél a gyártástechnológia során alkalmazott faanyagvédő szerekre és épületszerkezetekre vonatkozó, 1971. évi felmérés rámutatott, hogy az építészeti és esztétikai követelmények mellett előtérbe kerültek a faépületek – eddig jórészt megoldatlan – faanyagvédelmi kér-

dései is. Megállapítást nyert továbbá, hogy a vizsgálatkor hatályos előírásoknál részletesebb faanyagvédelmi szabályzat összeállítása és annak maradéktalan betartása, illetve betartatása szükséges a faépületek tartósságának növelése érdekében.

Siklósi (1972) által vezetett kutatás a természetes faanyagok, továbbá egyes lemezipari termékek komplex faanyagvédelmi eljárásainak kidolgozására fókuszált. Az egyre bővülő építőipari alkalmazás, továbbá az egyéb faalapanyagú lapokhoz hasonló kezelhetőség alapján az égéskésleltető technológia kidolgozására a forgácslapok szolgáltak. A kutatási téma keretében elvégzett vizsgálatok igazolták a vizsgálatba vont égéskésleltető készítmények éghetőséget késleltető, éghetőséget csökkentő hatását. Természetes faanyagok vonatkozásában mind a felületkezelő szerek, mind a telítő szerek vizsgálata során kimutatható volt a nagyobb mértékű fel nem bomlott próbatesthossz, az alacsonyabb füstgázhőmérséklet és az égetés következtében bekövetkező tömegveszteség csökkenése. A vizsgálati eredmények jól értékelhető különbséget igazoltak a telítő eljárással védett válaszfalak javára, ennek ellenére a vizsgálatba vont valamennyi égéskésleltető készítménnyel és kezeléssel biztosítható volt a kezelt változatok „nehezen éghető” besorolása. Míg a szervesetlen anyagú felületi réteggel ellátott, égéskésleltetett faforgácslapok tűzben való viselkedése kedvezőnek bizonyult, addig a zománclakkal kezelt változatok az égés során felszabaduló füstgázok határértéket meghaladó hőmérséklete miatt nem voltak megfelelően égéskésleltetettnek tekinthetők. A szervesetlen anyagú felületi égéskésleltető réteggel ellátott változatok esetében bizonyítható volt a „nehezen éghető” besorolás.

Siklósi (1973) nyomán az egy- és kétszintes ERDÉRT típusú faházak, valamint FORFA típusú faépületek valós méretű tűzvizsgálati eredményei alapján megállapítást nyert, hogy az égéskésleltető szerek alkalmazása csak a szerkezetek meggyulladását és az égés kialakulását késleltetik, de nem eredményeznek tűzvédelmi szempontból figyelembe vehető tűzállósági határértéket. Az elvégzett vizsgálatok eredménye behatárolta az ilyen jellegű épületek rendeltetését és méretét is. A vizsgálatok eredményei beépültek a korábban hatályos, a könnyűszerkezetes épületek tervezésének, kivitelezésének és karbantartásának tűzvédelmi szabályozására vonatkozó ME 108-74 jelű műszaki előírásba is.

Beretzky (1973) a faanyagvédő szerek gomba elleni hatásának vizsgálati módszereivel kapcsolatban kiemeli, hogy a védőhatás megállapítása mellett a kezelt faanyag felületkezelhetőségére, ragaszthatóságára, továbbá az eljárás környezetszennyező hatásának a vizsgálata is kiemelt fontosságú feladat. A gombavizsgálatok kapcsán rámutat, hogy pontos eredményt a felhasználásra kerülő faanyagból készült, alkalmazásnak megfelelő méretű próbatest védőkezelésével lehet elérni, mely esetében a kitétséget is a felhasználásnak megfelelően kell megválasztani. E vizsgálati módszer hátrányaiként a hosszú vizsgálati időt, továbbá a nagy anyagszükséglet kapcsán pedig a költségességet jelöli meg. A kevesebb idő- és költségárfordítással megvalósítható, kisméretű próbatesteken elvégzett kezelések és laborvizsgálatok eredményei kapcsán viszont hangsúlyozza, hogy azokat fenntartásokkal szabad a gyakorlati faanyagvédelemben felhasználni.

Erdélyi és Wittmann (1974) többek között a nemesnyárak építőipari hasznosításának lehetőségeit vizsgálták 1967–1969 között folytatott kísérleteikben. Eredményeik alapján a Serotina, a Marilandica, Robusta és az I-214 nemesnyárak fateste, a viszonylag ala-

csony szilárdsági tulajdonságai és ugyancsak alacsony természetes tartóssága ellenére, a legtöbb felhasználási területen számításba vehető egyes fenyőfélék helyettesítése céljából. Magasabb szilárdságot és tartósságot igénylő faanyagok esetében rámutatnak a fűrészáru szakszerű szárítására, a védőszerekkel való kezelésének fontosságára.

Vargay (1973) többek között az égéskésleltető anyagokkal kapcsolatos korabeli követelményrendszeréről publikált. A felületi égéskésleltető anyagokkal kapcsolatban elvégzett vizsgálatok alapján rámutatott, hogy a bevonat időállóságára legnagyobb befolyással annak rétegvastagsága, illetve a felhordott fajlagos anyagmennyiség van.

Kiss (1974) a nyári hónapokban, máglyákban betárolt erdeifenyő rönkök fahibáit vizsgálva megállapította, hogy azok kiegészítő védelme elengedhetetlen a biológiai károsítókkal szemben. Értékelési adatai alapján a vízzel történő porlasztásos technológiával a rönkök átmeneti védelme megvalósítható. Az eljárás alkalmazását nem csak a gombaferőtözések, hanem az új rovarfertőzések ellen is kielégítőnek értékeli. Korabeli védőszerek kékfestők elleni vizsgálataiban megállapítja továbbá, hogy a pentaklórfenollal szemben a Xylamon Imprägniergrunddal kezelt rönkök környezetében elhelyezett kezeletlen minták sem kékültek be.

Wittmann (1974) a mélyépítési gyakorlatban alkalmazott erdei- és lucfenyő szádpalók tönkrementele és az akkori fenyőhiány miatt a csertölgy és fehér akác alkalmazási lehetőségeit vizsgálta. Megállapítása szerint mindkét faj fateste alkalmas rövidebb méretben (2–3 m) készülő, úgynevezett bent maradó szádfalak kialakítására. A csertölgy fehér akácnál alacsonyabb természetes tartóssága vonatkozásában kiemeli, hogy az ingadozó talajvíz problémákat okozhat, azonban a nagyobb beépítési mélységek esetében a kérdésnek nincs lényegi jelentősége.

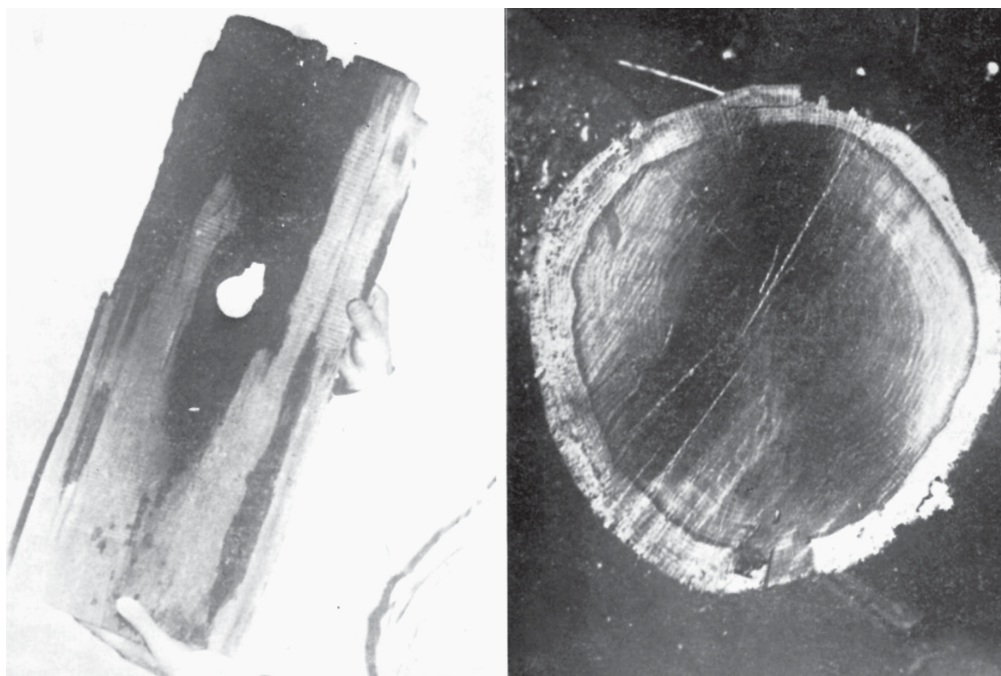
Simon et al. (1976) a fa égéskésleltetésére használt anyagok termikus analízisével kapcsolatban publikáltak. A kutatás keretében gyulladáspont mérés céljára átalakított MOM derivatográffal vizsgálták a természetes állapotú fából készült mintákat, ezek égéskésleltetésére alkalmas égéskésleltető szereket és a választott égéskésleltető szerekkel felületkezelt és telített famintákat is. A kutatáshoz szükséges lombos- és fenyőminták teljes keresztmetszeti telítését az egykori MÁV Faanyagvédelmi és Fatelítő Vállaltnál végezték, mely technológiával kapcsolatban a szerzők megállapítják, hogy az égéskésleltetésre gyakorolt határfok tekintetében a legjobb eljárásnak bizonyult.

Wittmann és Pluzsik (1976) az alacsony természetes tartósságú és faanyagvédőszerezrel nehezen telíthető lucfenyőből készült rétegelt ragasztott tartók kiváltása vonatkozásában hazai lombos fafajokat vizsgált. Kísérleti eredményeik és tapasztalataik alapján megállapítják, hogy a viszonylag nagy tömegben rendelkezésre álló, magasabb sűrűségű és nagyobb szilárdságú óriás-, korai-, kései nyárok, valamint a fehér akác alkalmasak a különféle modern faszerkezetek előállítására. Rámutatnak továbbá, hogy kiemelkedően magas szilárdságú fehérakáccal szemben viszont a nyárfélék kedvezőbb alaki és dimenzionális tulajdonságokkal, adottságokkal rendelkeznek. A Faipari Kutató Intézetben kialakított és elkészített kísérleti épületek (Schosser et al. 2012) azt is bizonyították, hogy nincs akadálya a nagy fesztávú íves szerkezetek hazai lombos faanyagból való gyártásának sem.



Ugyanakkor kiemelték, hogy az említett szerkezetek csak megfelelő szakmai hozzáértéssel és irányítással tervezhetők és kivitelezhetők.

Tóth (1977) az egykori Hévízi Állami Gyógyfürdőkórház területén lévő tófürdő fa cölöpökön nyugvó épületegyüttesének felújítása kapcsán végzett faanyagvédelmi anyagvizsgálatokat. Eredményei igazolták, hogy a nemestölgyből készült hengeres cölöpök víz felszíne feletti része kritikus faanyagvédelmi állapotban volt (bal ábra), viszont a víz alatti cölöpszakaszokon csak a keskeny szíjács károsodott (jobb). Ennek megfelelően a hazánk első ízben korszerű faanyagvédelmet megvalósító rekonstrukciós építkezésénél a cölöpök a szabályozott vízszint alatt 20 cm-re elfűrészelésre kerültek, mivel a mélyebben beépített tölgy faanyagok szilárdsági és tartóssági szempontból továbbra is megfelelőnek bizonyultak.



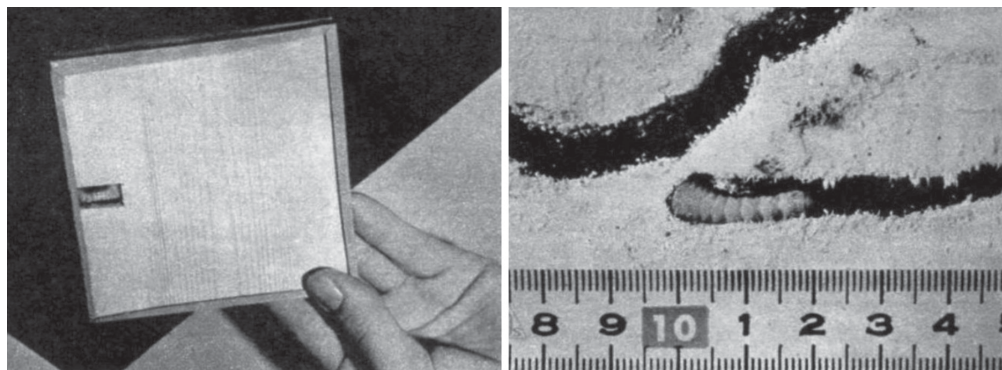
*Egy jelentősen elkorhadt cölöpvég (bal), egy levágott tölgy cölöpvég bütüfelülete ép geszttel  
(Fotó: Tóth Ernő, 1977)*

Babos et al. (1977) szerzői munkássága nyomán átfogó faanyagvédelmi útmutató került kiadásra az egykori Faipari Kutató Intézet gondozásában, mely a faanyag veszélyeztetettségére, fontosabb károsítóira, és a védekezés technikai és kémiai lehetőségeire fókuszált. A kiadvány faanyagvédelem általános problémái mellett részletesebben foglalkozott az elsődleges faipar faanyagvédelmével. Hasonló elgondolással, de már az építőipar számára fogalmaz meg iránymutatást a megelőző faanyagvédelem korabeli anya-

gaival, technológiáival, lehetőségeivel kapcsolatban a FKI második szakmai útmutatója (Babos et al. 1978).

Vargay (1977) nyomán a korabeli hagyományos, lakkozott felületek nem elégítik ki a faanyagvédelem követelményeit. Megállapításai szerint a faanyag természetes mozgása következtében a környezet nedvességviszonyainak változására a felületi bevonat megrepedezik, lepattogzik, rövid időn belül tönkremegy. A zárt filmbevonat további hátránya, hogy a fába jutó nedvesség és különböző fertőzőési hatások következtében a bevonat alatt igen gyakori az elszíneződés, gombásodás. A vizsgált favédő felületkezelő anyagokra általánosan kijelenti, hogy az öregedéssel szembeni ellenállóképességük csekély, így az önálló alkalmazásuk csak zárt térben, minimális kitétséggű körülmények között reális. A transzparens faanyagvédő szerekkel készült bevonatoknál rámutat, hogy szabadtéri alkalmazás esetén a napfény ultraibolya sugarainak hatására a zárt filmekhez hasonlóan öregednek. Kihangsúlyozza, hogy a felületek karbantartását mindig a bevonat tönkremenetele előtt szükséges megvalósítani, mert a már bekövetkezett fertőzést újabb réteg felvitelével csak korlátozni lehet, de megszüntetni már nem.

Tóth (1978) kutatásában üveglapok közé elhelyezett faanyagba telepített házicincér álcák (*Hylotrupes bajulus*) biológiáját vizsgálta. Hazánkban egyedülálló fotósorozatot publikált a rovar fejlődési stádiumairól és a diagnosztikában mind a mai napig alkalmazott jellegzetességeiről. Megállapításai szerint egy álca a kb. 3–4 év kifejlődési ideje alatt kétszáz köbcentiméter faanyagot őröl fel, melynek csak egy részét használja fel táplálékkul.



*Tóth Ernő kezében a kísérlet kezdetén a lucfenyő próbatesttel és az abban elhelyezett házicincér álcával (bal), egy 2cm-t is meghaladó testhosszú házicincér álca (jobb)*

Tóth (1981, 1983) a többek között épületek fából készült szerkezeteinek károsítóiról, károsodásairól és faanyagvédelmi vizsgálatok módszertanáról publikált. A helyszíni szakértői vizsgálatoknál megkülönböztette az ún. szemle szintű, továbbá a részletes faanyagvédelmi vizsgálatot. Kihangsúlyozta, hogy a szemle szintű vizsgálat egyik legfontosabb feladata a döntéshozatal a részletes vizsgálat szükségességéről. Külön kiemelhető, hogy az általa közzétett helyszíni vizsgálati szempontok napjainkig megőrizték aktualitásukat.

Csupor (1985) a bükk faanyag vonatkozásában a gombabontás során fellépő tömegvesztés és a bekövetkező hajlítószilárdság-csökkenés közötti kapcsolatot vizsgálta. Pincegomba (*Coniophora cerebella*) és lepketapló (*Coriolus versicolor*) gombák vonatkozásában megállapítja, hogy már a gombabontás kezdeti szakaszában jelentős szilárdságcsökkenés mutatkozik. Eredményei alapján leszögezi, hogy a bükk faanyagban bekövetkezett értékcsökkenés nagyságáról és jellegéről a hajlítószilárdsági értékek változása teljesebb képet nyújt, mint a napjainkban is alkalmazott súly- azaz tömegcsökkenés mértéke.

Szitányiné (1986) a Magyarországon 1980–1986. között használatos égéskésleltető szerek időállóságával, termoanalitikai vizsgálataival, oxigén-index értékeinek meghatározásával, továbbá a TETOL-FB márkanévű égéskésleltető sókeverék szilárdságot befolyásoló hatásának mechanikai vizsgálataival foglalkozott. A kutatás keretében elvégzett 5 éves természetes öregítési ciklust követően a hő hatására szigetelő habrteget fejlesztő Pirex szuper márkanévű égéskésleltető készítmény hatékonysága megfelelőnek bizonyult. Megállapítást nyert továbbá, hogy a vonatkozó előírásoknak megfelelő módon a TETOL-FB kombinált hatású vízdoldékony sókeverékkel történő telítéssel biztosított védelem az öregítést követően nem szorul felújításra, viszont a felületkezelés útján „nehezen éghető”-vé tett faválaszték teljesítőképességének ellenőrzése a kezeléstől számított 4–5 év múlva ajánlatos. Ugyanezen telítőszer szilárdsági értékeit befolyásoló hatásának vizsgálata lucfenyő, erdeifenyő, fehér akác és nyár faanyagú próbatesteken történt. Az elvégzett vizsgálatok értékelése alapján megállapítást nyert, hogy a szerrel telített faanyagok nedvességtartalomtól függő határfeszültségi értékei a kezeletlen anyagokéval megegyezően vehetők számításba. A vizsgálatok rámutattak, hogy nem csak a fa reológiai tulajdonságaira, hanem a dinamikus igénybevételekkel szembeni ellenállására is hatással van a szerrel történő telítés. Ennek megfelelően, míg a statikus igénybevételeknél a teljes alakváltozás fajtától függetlenül 50%-kal emelkedett, addig pl. az ütő-hajlító igénybevétellel szembeni határfeszültségi értékek várható értéke megközelítőleg a felére csökkent.

Igmándy et al. (1987) az importból származó korabeli fenyő fűrészáru felhasználást hazánkban évente kb. 1,2 millió m<sup>3</sup>-ben határozták meg, melynek kapcsán a faanyagok szállítása, átmeneti tárolása során fellépő minőségromlást a penészedés és kékülés kialakulásában látták. Hangsúlyozzák, hogy a kékülés kialakulásának következtében évente több tízezer m<sup>3</sup>, igényes célokra alkalmas, kifogástalan minőségű faanyag akár 3–4 minőségi osztályt is csökkenve csak építő-áruvá minősülhet a cikk írásakor érvényben lévő szabványok szigorú előírásai alapján. A probléma megoldására az átmeneti, kémiai faanyagvédelem „bemártási” technológiájával kapcsolatban folytattak üzemi és laboratóriumi vizsgálatokat az ERDÉRT V. és az egykori Erdészei és Faipari Egyetem Erdővédelmi Tanszék közreműködésével. Megállapításuk, miszerint a védőoldat megtapadását, behatolását csökkentő szennyeződésektől mentes faanyagok kiegészítő kémiai védelmére május 1-e és október 1-e közötti időszakban lehet feltétlenül szükség amennyiben az időjárási, szállítási és tárolási körülmények azt indokoltá teszik, mind a mai napig helytálló azzal a kiegészítéssel, hogy az utóbbi évtizedekben enyhülő telek következtében a védekezési időintervallum különösen a déli országrészek vonatkozásában jelentősebben is kitolódhat. A kutatásuk érdekessége abban rejlett, hogy az egyre fokozódó egészség- és

környezetvédelmi szempontok érvényesítése céljából a pentaklórfenol-nátrium (NaPKF) hatóanyagát az akkoriban használatos növényvédő szerekkel próbálták helyettesíteni. Erdeifenyőn, *Ceratocystis piceae* kékülést okozó gombafaj spóraszuszpenziójával folytatott laboratóriumi kísérleteik és az azt követő, lucfenyő fűrészárun elvégzett több hónapos üzemi vizsgálataik eredményei rámutattak, hogy a hatásosnak mutatkozó növényvédő szerek közül az Orto-Phaltán kiválóan alkalmas lehet az NaPKF helyettesítésére.

Varga és Csupor (1996) a kitermelt faanyag védelmi problémáival foglalkoztak behatóbban, melynek kapcsán hangsúlyozzák a megfelelő, téli időszakban történő fadöntés fontosságát. Az ún. szíjácskorhadással kapcsolatban kiemelik, hogy főként a tölgy- és cserrönkökön okoz jelentősebb károkat, ahol a károsodás miatti kihozatalveszteség elérheti a 8–10%-ot. A bükk faanyagot feldolgozó fűrésztelepeken és lemezipari üzemekben a fülledés megakadályozását, mint elsődleges faanyagvédelmi problémát jelölik meg, mivel a folyamat előrehaladott stádiumában a füllesztő gombák már korhadást is okoznak a fatestben. Megállapításaik szerint a védekezési lehetőségek között elsősorban a megfelelő tárolás, gyors feldolgozás, vízzel való locsolás, azaz a szakszerű technikai faanyagvédelmi intézkedések nyújthatnak megfelelő eredményt.

Németh (1998) faanyagok, többek között az egykori MÁVFAVÉD Kft. telítőüzemében faanyagvédőszerrel kezelt és natúr vezetékoszlopok vizsgálataival foglalkozott. Kutatásának fókuszában a hangsebesség, csavarállóság, sűrűség, továbbá a statikus és dinamikus rugalmassági modulusz, mint roncsolásmentes faanyagvizsgálati paraméterek és a faanyagszilárdság kapcsolatának meghatározása állt. Eredményeivel igazolta, hogy az általa alkalmazott roncsolásmentes vizsgálati módszerrel nem csak a beépített szerkezeti faanyagok, hanem az iparilag védőszerrel telített vezetékoszlopok szilárdságbecslése is 95%-os biztonsággal megvalósítható.

Csupor (2001) hazai faiparban egy széles körben felhasznált réz-króm-bór hatóanyagokat tartalmazó, vízben oldható korabeli faanyagvédőszer kioldódási tulajdonságait és az azokat befolyásoló legfontosabb tényezők hatását vizsgálta. Megállapításai szerint, míg a bórsav kezelési paramétereiktől függetlenül minden esetben és teljes mértékben kioldódott, addig a réz-szulfát, nátrium-dikromát hatóanyagok fixálódása sem volt kielégítő.

Király (2002) vizsgálataiban a beépített homlokzati fa nyílászárók faanyagvédelmi vonatkozásaira fókuszált. Eredményeivel rámutatott, hogy az ablakszerkezeti faanyagok gombakárosítását a helytelenül megválasztott páraáteresztő képességű bevonatok abiotikus hatásokra (pl. UV sugárzás, méretváltozások) visszavezethető degradációja jelentősen elősegíti. Megállapításai szerint a kevésbé páraáteresztő bevonatok mikro repedésein keresztül bejutott víz nehezen tud távozni a fatestből, így a kültéri szerkezeti elemek felületkezelése előtt nem csak a kékfestő-, hanem a farontó gombák elleni megelőző kémiai védelemről is gondoskodni szükséges.

Tóth (2002) épületek felújításával, rekonstrukciójával összefüggésben rámutat, hogy az égetett cserép fedésű tetőszerkezetek cserépléceinek egyik jellemző károsodása a vegyi korrózió. Megállapításai szerint a porózus, máz nélküli cserepekből kioldódó sók nem csak a felületi farétegek bomlását okozzák, hanem a lécek belső anyagszerkezete is törékennyé válik. Ennek megfelelően a kémiai bomlást elősegítő héjazatok alatti átlagos

élettartamot a vizsgálati eredményei alapján 80 évben határozza meg, amennyiben egyéb (pl. biológiai eredetű) károsodás nem lép fel a cserépléceken.

Horváth et al. (2008, 2009) a kevésbé tartós hazai lombos fafajok kísérletbe vonásával jó minőségű, repedésmentes, megfelelő szilárdságú és tartósságú faanyagot eredményező modifikációs eljárás fejlesztésének céljával a Soproni Egyetem egykori Faanyagtudományi Intézetének vezetésével hazai alapanyagbázisra épülő laboratóriumi és félüzemi kísérleteket végeztek az ezredfordulót követően. A vizsgálatok során a faanyag fizikai és mechanikai tulajdonságainak meghatározása mellett különös figyelmet szenteltek a farontó gombákkal szembeni ellenálló képesség változására is. Ezen a területen az átfogó tudományos eredmények hiánya nem csak a hazai ültetvényes fafajok (nyár, akác), hanem a csertölgy és bükk fafajok vizsgálatát is szükségessé tették. A modifikációs eljárások 180 és 200 °C hőmérsékleten, különböző kezelési idők mellett, normál légköri levegőben folytak. Mindkét hőfokon végrehajtott modifikációs kísérletek többségénél megállapították, hogy a növekvő kezelési idő mellett a csertölgy (*Quercus cerris*) gesztjén, valamint szíjácsán a labirintustapló (*Daedalea quercina*) általi gombabontás mértéke szignifikánsan csökkenthető. Rámutattak azonban, hogy a bükk (*Fagus sylvatica*) ellenálló képessége a lepketapló (*Coriolus versicolor*) bontásával szemben kizárólag csak a 200 °C-os kezelésekk mellett mutatott javuló tendenciát.

Király (2010) fából készült rönk-, gerenda-, vázszerkezetes lakóházak biológiai károsodásait vizsgálva a leggyakoribb károsítókról és azok kártételének összefüggéseiről publikált. Eredményei alapján, míg a lakóházak leggyakoribb kivitelezéskori problémáit az alacsonyabb rendű, kékfestő- és a penészgombák megtelepedésében látja, addig a létesítést követő 4–6 évben a főleg a házicincér (*Hylotrupes bajulus*) okozta a legnagyobb károkat. Kiemeli továbbá, hogy a magasabb rendű, korhasztó gombák megjelenésével csak később számolhatunk, azonban az általa vizsgált rovar- és gombakárosítások építéskori hibákra vezethetők vissza.

Király (2013) a Budai Várban található Várkert Bazár épületegyüttes esetében a könnyező házigomba (*Serpula lacrimans*) biológiáját és megtelepedésének okait vizsgálta. Eredményeivel igazolta a korábbi megállapításokat, miszerint a barna pincegombával (*Coniophora puteana*) történő együttes megjelenés esetén a könnyező házigomba virulensebb és jelentősebb károsítást okoz az érintett épületrészekben. Megállapította továbbá, hogy optimális körülmények között a könnyező házigomba vakolt téglafalazatok üregeiben akár 5–6 m-re is képes a micéliumait kiterjeszteni anélkül, hogy eközben további beépített faanyagokra lelne.

Németh et al. (2015) többek között a faanyagok tartósságának javítását célozva a telítéssel alapuló modifikációs eljárások közül a különböző viaszokat alkalmazó kezelésekkel folytattak kísérleteket. Eredményeik alapján a fatest sejtüregei méhviasz és paraffin alkalmazásával hatékonyan eltömíthetők, így a pára és vízfelvételi tulajdonságok megváltozásával a farontó gombák megtelepedési esélye is jelentősen mérsékelhető.

Bak és Németh (2018) a biológiai tartósságot is növelő nanorészecskékkel folytattak kísérleteket. Kedvező eredményeket értek el a faanyagok méretstabilitásának, UV-állóságának és biológiai tartósságának növelésével kapcsolatban. A kutatások továbbá rámutat-

tak arra is, hogy a kimosódással szemben a legtöbb esetben nem ellenálló az így kezelt faanyagok, mely jelenség azonban szilícium alapú gélek, vagy biopolimerek együttes alkalmazásával jelentősen javíthatók.

Fodor et al. (2017, 2022) a kémiai modifikációs eljárások közé sorolandó acetilezésel jelentősen sikerült megnövelni a farontó gombákkal szembeni ellenálló képességet. Adataik alapján a gyertyán tartósságát a szabvány szerinti „nem tartós” (5. osztály) besorolásból a „tartós” (1. osztály) kategóriába sikerült emelni. Megállapításaik szerint az acetilezés, a hőkezeléshez hasonlóan nem csak a fa felületén, hanem annak teljes keresztmetszetben és hosszában lezajló folyamat, melynél a hatóanyag kioldódás veszélye nem áll fenn, valamint a módosított faanyag környezetbarát és újrahasznosítható. Kiemelik továbbá, hogy kiváló tartóssága és alacsony karbantartási igénye lehetővé teszi, hogy felvegye a versenyt a trópusi fafajokkal, WPC-vel, PVC-vel, vagy akár az alumíniummal is.

Kovács és Horváth (2020) juharlevelű platán (*Platanus acerifolia*) fatestének bázidiumos gombákkal szembeni ellenálló képességét vizsgálták. A natúr, továbbá 180 és 200 °C-on hőkezelt faminták MSZ EN 113 szabvány szerinti tömegcsökkenését barna pincegomba (*Coniophora puteana*) és lepketapló (*Coriolus versicolor*) tenyészetten határozták meg. Eredményeikkel igazolták, hogy a normál légköri nyomáson végrehajtott száraz termikus hőkezeléssel fokozható a fatest korhasztó gombákkal szembeni tartóssága úgy, hogy a 180 °C-on elvégzett modifikációk védőhatása csak a pincegomba enzimatikus bontásával szemben volt igazolható.

## A hazai faanyagvédelmi kutatások jelenje és jövője

Az intézményesített faanyagvédelmi kutatások napjainkban főként a Soproni Egyetem keretein belül folynak. Az Uniós törekvéseknek megfelelően a környezetterhelés mérséklése érdekében a vizsgálatok fókuszpontja áthelyeződni látszik.

Papp és Horváth (2020) ennek megfelelően a technikai faanyagvédelem tárgykörébe tartozóan a mikrohullámú eljárás alkalmazási lehetőségeivel kapcsolatban indítottak kutatásokat a faanyagokban már jelenlévő aktív biotikus károsítók megszüntetésére. Az előzetes kísérletek során a normál klímán kondicionált, és egymásra helyezett erdefenyő szíjács lamellák felmelegedését vizsgálták egy MWG-1000-A-1 típusú mikrohullámú berendezéssel történő, 15 másodperces besugárzást követően. Nem csak a hőkamerával elvégzett mérési eredményeik, hanem a lamellák furataiban elhelyezett élő légylárvák halálozási aránya is rámutatott arra, hogy a sugárzófejtől való távolság növekedésével a biológiai károsítók túlélési esélye is jelentősen növekszik. Megállapítható azonban, hogy a mikrohullámú kezelés kizárólag az aktív biotikus károsítás megszüntetésére alkalmazható védőszermentes eljárás, mely a fatest megelőző védelmére azonban nem alkalmas.

A környezettudatosság jelentőségének növekedésével a faanyagvédőszerek, mint biocid hatóanyagokat tartalmazó keverékek felhasználásának mérséklése a faanyagvédelemben is fontos szemponttá vált. Ennek megfelelően felmerül a kérdés, hogy a napjainkban

alkalmazott faanyagvédő szerek mennyiségének csökkentése mellett megtartható-e az előírt, biotikus károsító szervezetekkel szembeni megelőző hatásosság. Kovács és Horváth (2022) kutatásaikban natúr és rétegelt-ragasztott szerkezeti faanyagok vonatkozásában a védőszerfelvétel csökkentés és optimalizálás célzatával folytatnak ezirányú kísérleteket napjainkban. Hipotézisük szerint a hazai építőiparban az import lucfenyő fűrészárú és rétegelt-ragasztott tartók részleges kiváltására a hazai ültetvényes Pannónia nyár (*Populus × euramericana* cv. Pannónia) lehet a megoldás. Ennek megfelelően az előkísérleteikben Pannónia nyár lamellákon, és ezekből képzett háromrétegű ragasztott mintákon, réz – szulfát oldattal vákuum-atmoszférikus nyomású kezeléseket hajtottak végre. A lamellák egyesítésére Jowat 686.60 egykomponensű poliuretán szerkezeti ragasztóanyagot használtak a műszaki adatlap szerinti minimális (150 g/m<sup>2</sup>) és maximális (230 g/m<sup>2</sup>) felhordási mennyiségek mellett. Megállapították, hogy a felhordott ragasztóanyag mennyiségnek nincs szignifikáns hatása a védőszerfelvételre. A legkisebb védőszer-beszívódási mélységek tekintetében a referencia lamellák és rétegelt-ragasztott próbatestek között ugyan nem tapasztaltak különbséget, azonban kiemelik, hogy a ragasztófuga szigetelő hatása miatt a lamella állapotában történő védőszeres kezelés egyenletesebb faanyagvédőszer eloszlást és magasabb védőszerfelvételt biztosíthat. Kezdeti eredményeik rámutattak, hogy a Pannónia nyár impregnálhatósága a hasonló szilárdsági kategóriájú lucfenyővel szemben kedvezőbbnek ígérkezik, ezáltal a védőszer bejuttatása a fatestbe könnyebben megvalósítható.

A jelenleg is folyó, továbbá a jövőben várható hazai kutatások között a nanovegyületek fixálási lehetőségei említendők meg Bak és Németh (2018) kutatási részeredményeihez kapcsolódóan. Kiemelhető azonban, hogy a nanovegyületek alkalmazott faanyagvédelemben történő elterjedésére kiterjedt hatásvizsgálatok is szükségesek lesznek, így az ezirányú kísérletek számának megemelkedése is prognosztizálható.

Haustein et al. (2019) németországi vizsgálataik alapján kijelenthető, hogy a jövőbeli kutatások között minden bizonnyal a megszüntető biológiai módszerek is jelentősen előtérbe kerülnek majd. Publikációjukban rámutatnak, hogy a közönséges kopogóbogár (*Anobium punctatum*) károsításának visszaszorítására sem biocidokra, sem pedig költséges berendezésekre nem lesz szükségünk a közeljövőben, ugyanis a ragadozó rovarok, mint pl. a hosszúsőrű törpeszúfarkas (*Korynetes caeruleus*) tenyésztésével és bevetésével biztató eredmények mutatkoznak. A Soproni Egyetemen vendégelőadóként is többször megforduló Tilo és Vera Haustein házaspár elmondása alapján a ragadozó rovarok tenyésztése olyan előrehaladott szinten történik Németországban, hogy akár egy hazai megszüntető faanyagvédelmi kivitelezéshez is rendelhetők már rovarok. Ragadozó rovarok sikeres bevetése főként a műemlékvédelem területén várható, melyel nem csak a folyékony, de a gáz halmazállapotú faanyagvédőszer felhasználása is mérsékelhető.

## Irodalom

- Babos K., Beretzky A., Kiss Gyné., Nagy B., Vargyay K. 1977: Útmutató a gyakorlati faanyagvédelem megvalósításához az elsődleges faiparban, Kézirat. Faipari Kutató Intézet Budapest, 1977. 1–46.
- Babos K., Beretzky A., Kiss Gyné., Vargyay K. 1978: Útmutató a gyakorlati megelőző faanyagvédelemhez, Kézirat. Faipari Kutató Intézet Budapest, 1979.1 – 52.
- Bak M., Németh R. 2018: Effect of different nanoparticle treatments on the decay resistance of wood. *Bioresources* 13(4): 7886–7899.
- Bálint Gy. 1953: Az alkalmazott mykológia újabb eredményei a faanyagvédelem területén, *Faipar* 1953. III. évf. 11. sz. 251–253.
- Bálint Gy. 1954: Épületszerkezeti faanyagok védelme, *Faipar* 1954. IV. évf. 5. sz. 143–145.
- Bálint Gy. 1955: Az épületekben fellépő egyes fapusztítógombák és rovarkártevők, valamint azok hatásának vizsgálati eredményei, *Faipar* 1955. V. évf. 8. sz. 210–213.
- Bálint Gy. 1964: Untersuchungen über ein zunehmendes Auftreten des Splintholzkäfers *Lyctus linearis* Goeze in Ungarn, *Holzforschung und Holzverwertung* (1964) Heft 3, 49–51.
- Beretzky A. 1973: Faanyagvédő szerek gomba elleni hatásának vizsgálati módszerei, FAIPARI KUTATÁSOK –1972, Faipari Kutató Intézet Budapest, 1973. 119–126.
- Csupor K. 1985: Gombabontott faanyag szilárdságcsökkentésének vizsgálata FAIPAR 1985. 35/1 23–26.
- Csupor K. 2001: Vízben oldható faanyagvédőszer kioldódási tulajdonságai, doktori (Ph.D.) értekezés, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron, 2001.
- Erdélyi Gy. 1966: A cserfa (*Quercus Cerris*) komplex felhasználása. in FAIPARI KUTATÁSOK – 1966 II., Budapest 3–76.
- Erdélyi Gy., Wittmann Gy. 1974: A hazai termesztésű nemesnyárak ipari hasznosíthatósága, in FAIPARI KUTATÁSOK – 1973, Faipari Kutató Intézet Budapest, 1974. 109–123.
- Fábián T. 1972: A fa- és faalapanyagú épületekkel kapcsolatos tűzvédelmi vizsgálatok, FAIPARI KUTATÁSOK – 1971, Faipari Kutató Intézet, Budapest, 1972. 267–291.
- Fodor F., Lankveld C., Németh R. 2017: Testing common hornbeam (*Carpinus betulus* L.) acetylated with the Accoya method under industrial conditions. *iForest-Biogeosciences and Forestry* 10: 948–954.
- Fodor F., Bak M., Bidló A., Bolodár-Varga B., Németh R. 2022: Biological Durability of Acetylated Hornbeam Wood with Soil Contact in Hungary. *Forests* 13(7): Paper: 1003
- Gyarmati B., Igmándy Z. 1964: Vizsgálatok gombafertőzött faanyag védőkezelésének lehetőségivel kapcsolatban, *Faipar*, XIV. évf. 1964./5., 149–150.
- Haustein T., Busweiler S., Haustein V., Laar C., Plarre R. 2019: Laboratory breeding of *Korynetes caeruleus* (Coleoptera: Cleridae) for the biological control of *Anobium punctatum* (Coleoptera: Ptinidae), *Eur. J. Entomol.* 116: 362–371, 2019.
- Horváth N. 2008: A termikus kezelés hatása a faanyag tulajdonságaira, különös tekintettel a gombaállóságra, Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, 2008.
- Horváth N., Csupor K., Molnár S. 2009: A hőkezelés hatása a faanyagok tulajdonságaira I. rész: A hőkezelt bükk és csertölgy gombaállósága *Faipar*, LVII. évf. 2009./3.-4., 20–26.
- Igmándy Z. 1959: A cser gombakárosítói és azok hatása a fa minőségére, *Faipar*, IX. évf. 1959./11., 343–346.



- Igmándy Z., Pagony H. 1962: Adatok a szíjácsbogár (*Lyctus linearis* Goeze) életmódjához, Faipar, XXII. évf. 1962./6., 190–192.
- Igmándy Z., Várallyay Cs., Gyarmati B., Varga F. 1987: A fenyő fűrészáru tárolás alatti minőségvédelme, Faipar, XXXVII. évf. 1987./11., 328–331.
- Istvánffy Gy. 1893: A házi vagy futógombáról, Természettudományi közlöny, Királyi Magyar Természettudományi Társulat, Budapest, 1893. 541–545.
- Király B. 2002: Faanyagvédelem az asztalosiparban, Magyar Asztalos és Faipar 2002./3 4–5.
- Király B. 2010: Könnyűszerkezetes épületek faanyagvédelme I-III. cikksorozat, Magyar Asztalos, rendre 2010./7 70-72.; 2010./8 94-95. és 2010./11 26–29.
- Király B. 2013: A budai Várkert Bazár faszerkezetei, Magyar Építéstechnika 2013./4–5. 3–6.
- Kiss Gyné 1974: Rönkanyag átmeneti védelmét szolgáló technológia és védőszer kutatása, különös tekintettel a kékesítő gombákra, FAIPARI KUTATÁSOK, Faipari Kutató Intézet Budapest, 1973, 225–231.
- Kovács L., Horváth N. 2020: Evaluation of dry heat treatment of *Platanus acerifolia* timber with special emphasis on the resistance to fungal decay In: Róbert, Németh; Christian, Hansmann; Peter, Rademacher; Miklós, Bak; Mátyás, Báder (szerk.) 9TH HARDWOOD CONFERENCE PROCEEDINGS – PART 1: WITH SPECIAL FOCUS ON “AN UNDERUTILIZED RESOURCE: HARDWOOD ORIENTED RESEARCH”. Sopron, Magyarország: Soproni Egyetemi Kiadó (2020.) 138–140.
- Kovács L., Horváth N. 2022: Impregnability tests of experimental Pannonia poplar based glued-laminated timber In: Róbert, Németh; Christian, Hansmann; Peter, Rademacher; Miklós, Bak; Mátyás, Báder (szerk.) 10TH HARDWOOD CONFERENCE PROCEEDINGS : Sopron, Hungary, 12-14 October 2022. Sopron, Magyarország: Soproni Egyetemi Kiadó (2022.) 310–315.
- Moesz G. 1934: A házigomba és az épületek elgombásodása, Királyi Magyar Természettudományi Társulat, Budapest, 1934.
- Németh L. 1998: A roncsolásmentes faanyagvizsgálatok gyakorlati alkalmazásának lehetőségei, PhD értekezés, Soproni Egyetem, 1998.
- Németh R., Tsalagkas D., Bak M. 2015: Effect of soil contact on the modulus of elasticity of beeswax-impregnated wood. *Bioresources* 10(1): 1574–1586.
- Papp L., Horváth N. 2020: Preliminary researching the heating intensity of wood as an effect of microwave radiation, in: Németh R., Rademacher P., Christian H., Bak M., Báder M. (szerk.) 9TH HARDWOOD PROCEEDINGS PT. I. AN UNDERUTILIZED RESOURCE: HARDWOOD ORIENTED RESEARCH, Universiti of Sopron Press (2020) 211–213.
- Siklói M. 1972: Fa- és műfaanyagok korszerű égéskésleltető eljárásainak kidolgozása, kutatási jelentés az egykori ÉVM Műszaki Fejlesztési Főosztály – Könnyűszerkezetes Programiroda megbízásából, Építésügyi Minőségellenőrző Intézet, 1972.
- Siklói M. 1973: Natúr és Pirex szuper márkanevű égéskésleltető szerrel kezelt egy- és kétszintes ERDÉRT típusú faházak, valamint FORFA típusú faépületek valós méretű tűzvizsgálata, kutatási jelentés az egykori Faipari kutató Intézet és a BM TOP – közreműködésével, Építésügyi Minőségellenőrző Intézet, 1973.
- Simon J., Kozma T. G. 1976: A fa és a fa égéskésleltetésére használt anyagok termikus analízise, Faipar 1976. február XXVI. évf. 37–47.
- Schlosser M., Horváth N., Bejő L. 2012: RR-tartók hazai alapanyagokból, In: Tolvaj, L; Horváthné, Hoszpodár K (szerk.) Hallgatói tudományos konferencia 2012: Tanulmánykötet

- a „Talentum program” hallgatói kutatásainak eredményeiről, előadásanyagairól: Fafizika, Fakémia, Új kompozit anyagok, Megújuló energia, Nanotechnológia, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, 2012. 162–171.
- Szarka A. 1973: A fa és fa alapanyagú épületek épületszerkezeteinek és azok faanyagvédelmi kezelésével kapcsolatos problémák rövid ismertetése FAIPARI KUTATÁSOK – 1972, Faipari Kutató Intézet Budapest, 1973. 139–147.
- Szitányiné S. M. 1986: Égéskezelhető szerek időállóságának vizsgálata, kutatási jelentés, BM Tűzoltóság Országos Parancsnokság 1986.
- Tóth E. 1977: A faanyagvédelem jelentősége és megvalósítása a tófürdő rekonstrukciójánál, in: Dr. Gyirmóthy Dénes (szerk.) 1977: A harmadik Hévízi Orvosi Archivum, Hévízi Állami Gyógyfürdőkórház, Hévíz, 1977, 313–334.
- Tóth E. 1978: Házicincér a szarufában, *Az élet és tudomány kalendáriuma*, 1978. 270–272.
- Tóth E. 1981: Faanyagú épületszerkezetek diagnosztikája in: Kelemen Lajos (szerk.) 1981: Épületdiagnosztikai vizsgálatok, Építésügyi Tájékoztatási Központ, Budapest, 1981. 70–88.
- Tóth E. 1983: A faanyag vizsgálata, in: Dr. Zádor Mihály (szerk.) 1983: Műemlékek konzerválásának új módszerei, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1983. 63–73.
- Tóth E. 2002: A tetőlécezés károsodása in Dr. Tóth Elek (szerk.) *Épületfelújítási kézikönyv*, Dashöfer Szakkiaó Kft. 2002., 5. rész. 2.4. fejezet 1. oldal és 5.2./01. ábra
- Trendelenburg R. 1940: Über die Abkürzung der Zeitdauer von Pilzversuchen an Holz mit Hilfe der Schlagbiegeprüfung, *Holz als Roh- und Werkstoff* 1940. 3. Jahrgang 12. Heft 397–407.
- Varga F., Csupor K. 1996: A kitermelt faanyag védelmi problémái, *MAGYAR ASZTALOS- ÉS FAIPAR* 1996./06 100–101.
- Varga Sz. 2010: Erdész nagyjaink arcképcsarnoka 24. kötet, Igmándy Zoltán (1925–2000) Élete és munkássága, Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, 2010.
- Vargay K. 1973: Fontosabb égéskezelhető anyag típusok és tulajdonságaik, különös tekintettel az időállóságra, *FAIPARI KUTATÁSOK –1972*, Faipari Kutató Intézet Budapest, 1973. 95–101.
- Vargay K. 1977: Faanyagok kezelése transzparens faanyagvédő szerekkel, *FAIPARI KUTATÁSOK – 1976*, Faipari Kutató Intézet Budapest, 1977. 89–96.
- Wittmann Gy. 1974: Az akác és a cser felhasználási lehetőségei a mélyépítésben, in *FAIPARI KUTATÁSOK –1973*, Faipari Kutató Intézet Budapest, 1974. 135–146.
- Wittman Gy., Pluzsik A. 1976: A faanyagú rétegelt ragasztott tartószerkezetek hazai alkalmazásának új eredményei, in *FAIPARI KUTATÁSOK – 1975*, Faipari Kutató Intézet Budapest, 1976. 61–70.

## **Wood Protection**

The aim of the presented chapter is to provide an insight into the past, evolving present and expected future of wood protection through the most significant Hungarian publications and preliminary research results. The measures that fall under the scope of applied wood protection begins in the forests with the harvesting of trees. Therefore, the results of forest protection researches are not discussed in this publication. Even though at the time of writing this chapter the fire retardation of wooden structures already falls under the jurisdiction of fire protection, nevertheless some relevant researches are also

mentioned. However, it can be emphasized that wood preservation goes beyond the scope of wood science due to its aspect of wood architecture. Nothing demonstrates the multidisciplinary of the field better than the fact that researchers include biologists, botanists and engineers from different fields. Scientific data on the durability of wood materials or biological damages can already be found in natural scientific publications from the 19th century, but the beginning of institutionalized wood protection research can still be linked to the activities of the Institute for Wood Research (Faipari Kutatóintézet – FAKI). The research works in the last century focused mainly on the natural durability of wood and wood based products and their chemical protection. The environmentally friendly wood modification processes, the possibilities of applied physical and biological wood protection became more important after the turn of the millennium in Hungary. It is also mentioned, that the domestic institutionalized research works in wood protection are mainly carried out within the framework of the University of Sopron nowadays. With the growing importance of environmental awareness, reducing the use of wood preservatives has also become an important aspect of wood protection. Therefore, the primary question of the domestic tests is how to achieve the appropriate preventive effectiveness while reducing the amount of wood preservatives used. Initial results of domestic studies show that the Pannónia poplar (*Populus × euramericana* cv. Pannónia ) can be impregnated easier than the spruce (*Picea abies*), therefore greater penetration can be achieved with using the same amount of wood preservatives.

## A KÖTET SZERZŐI

**Albert Levente**

*Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet*

**Alpár Tibor László**

*Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Faipari és Műszaki Intézet*

**Andor Krisztián**

*Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Faipari és Műszaki Intézet*

**Bartha Dénes**

*Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet*

**Bak Miklós**

*Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Faipari és Műszaki Intézet*

**Bejó László**

*Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Faipari és Műszaki Intézet*

**Bellovics Bertalan**

*Sopron, Okleveles Faipari Mérnök, Okleveles Építőmérnök*

**Börcsök Zoltán**

*Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Faipari és Műszaki Intézet*

**Csanády Etele**

*Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Faipari és Műszaki Intézet*

**Csiha Csilla**

*Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Faipari és Műszaki Intézet*

**Fehér Sándor**

*Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Faipari és Műszaki Intézet*

**Hofmann Tamás**

*Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet*

**Horváth Norbert**

*Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet*

**Kánnár Antal**

*Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Faipari és Műszaki Intézet*

**Kocsis Zoltán**

*Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Faipari és Műszaki Intézet*

**Komán Szabolcs**

*Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Faipari és Műszaki Intézet*

**Magoss Endre**

*Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Faipari és Műszaki Intézet*

**Németh Gábor**

*Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Faipari és Műszaki Intézet*

**Németh Róbert**

*Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Faipari és Műszaki Intézet*

**Preklet Edina**

*Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Faipari és Műszaki Intézet*

**Rétfalvi Tamás**

*Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet*

**Tolvaj László**

*Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Faipari és Műszaki Intézet*

**Visiné Rajczi Eszter**

*Soproni Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Környezet- és Természetvédelmi Intézet*

A kötet célja, hogy összefoglalja a faanyagtudományhoz köthető kiválasztott szakterületek múltbéli kutatási eredményeit. Igyekeztünk bemutatni az egyes területeken munkálkodó kutatókat, kutatócsoportokat, tanszékeket, intézeteket. Hazánkban a korábbi Faipari Kutató Intézet, majd pedig a Sopronban működő egyetem adott infrastrukturális és szellemi alapot a faanyagtudományi kutatásokhoz. Több területen inkább a jelenkorban keletkeztek eredmények, így sajátos módon a múlt néhány évtizedre tekint csak vissza. A szerzői kollektíva legjobb tudása szerint igyekezett előrejelzést is adni az egyes szakterületek jövőbeli kutatási célkitűzéseit illetően.

A kötet nem vállalkozhatott arra, hogy a faanyagtudomány valamennyi részterületének teljes, részletes keresztmetszetét adja. Ugyanakkor igyekeztünk olyan művet letenni az olvasó elé, amit hasznosan forgathat az elődök kutatómunkájának megismerésére. A szerzők bíznak abban, hogy diákok is érdeklőnek majd a kötetben bemutatott tudománytörténeti írások iránt, továbbá, hogy gyakorló szakemberek is hasznosnak tartják a közölt adatokat, valamint a jövőre vonatkozó megfogalmazásainkat.

*A szerkesztő*

