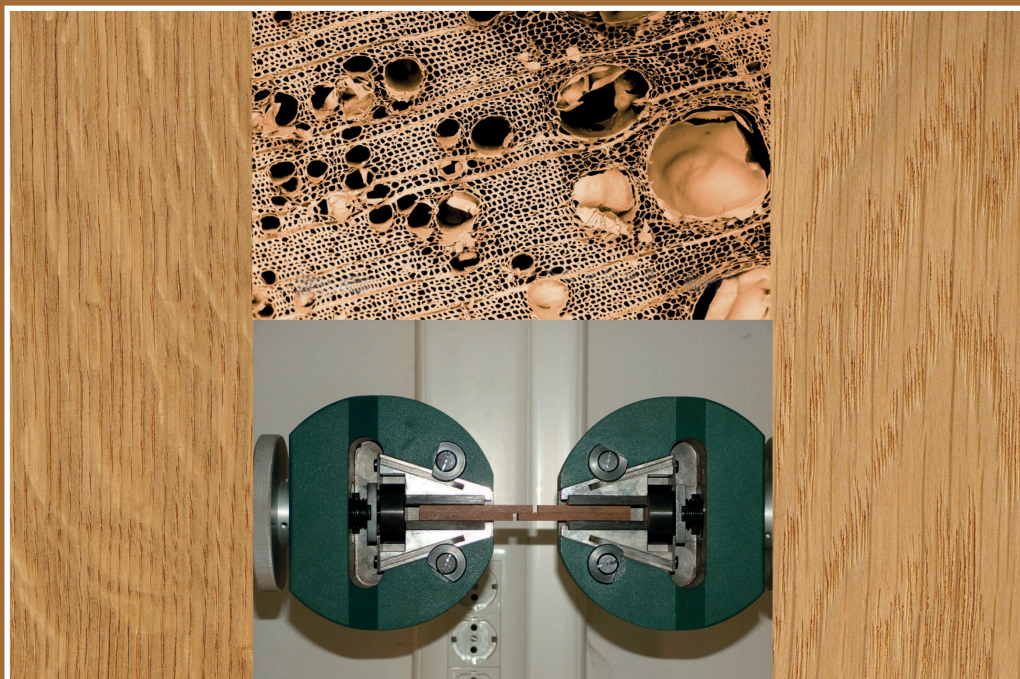


A faanyagtudományok története Magyarországon



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. Fábíán 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

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

FEJEZETEK A FAKÉMIA MAGYARORSZÁGI TÖRTÉNETÉBŐL

Albert Levente, Visiné Rajczy 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 β -D-glükóz egységekből felépülő, redukáló jellegű lineáris homopolimer, amelyben a monoszacharid egységek β (1 \rightarrow 4) glikozidos-kötéssel kapcsolódnak egymáshoz. Polimerizációs foka eredetfüggő, a facellulózé 7000–10 000 közé tehető. Nagyon részben (50–90%) rendezett, kristályos szerkezetű. Évente kb. $7,5 \cdot 10^{10}$ t cellulóz keletkezik (Csiszár 2008). Kristálytani szempontból fontos az α -, β - és γ -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 faanyagban. 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 beleágyazódott 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 lúgokkal 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 elemzései 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 enzimeinek 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 enzimeinek 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 enzimek aktivitásának változásairól (Juhászné 1987). A gyomirtószeres 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 színjellemezőre 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 színjellemezője 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 ultraibolya 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 abszorpcióját 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 nyáré 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 színjellemezőit (Stipta et al. 2005a), a különböző fajok osztályozásának lehetőségét színjellemezőik 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 összefüggés

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 maktételek 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 MSⁿ-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 gesztesezéssel (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 gesztesezés során. A kisebb mennyiségben kimutatható flavonoidok koncentrációjában tendencia jellegű változást a gesztesező 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, Táros-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, klímaterancijájának, az akklimáció mértékének kémiai indikátorait. A kémiai indikátorok alkalmazása hozzájárul a jobb klímaterancijájú, 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 (C₅-C₉) mellett karbonsavakat, terpéneket, ketonokat és aromás vegyületeket mutatott ki. A fenyőfélék faanyagában monoterpének (C₁₀H₁₆), oxigén tartalmú származékok (C₁₀H₁₈O) és szeszkviterpének (C₁₅H₂₄) mellett alkoholoikat is azonosított. A vizsgált fafajok szövetei közül minden esetben a kéreg tartalmazta a legtöbb illékony szerves komponens, 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, α -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 vöröseszt 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 5th 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., Wiedenhoeft 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 furfurol 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 favédőszerekkel kezelt bükk- és fenyőmintákból. *Kutatási jelentés a Faipari Kutatóintézet részére*. Sopron, június 7.
- Molnárné H. L. 1997: Flavon-származékok komplexkémiái sajátosságai I. A quercetin-alumínium egyensúly vizsgálata. XXXII. *Komplexkémiái 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 komplexkémiái sajátosságai II. Kvercetin-fémionok vizsgálata. XXXVII *Komplexkémiái 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 Selmezbányai 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 Ammoniagases 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.
- Poszsgai-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.
- Poszsgainé 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 analízisében. 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 Z., Kovácsvölgyi G. & Németh K. 2005a: Investigation of color characteristics of oak species. Proceedings of 2nd 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., Koloszar 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., Koloszar 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 cellulóséra. 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.