

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Papp Éva Annamária

**FAFELÜLETEK ATTRIBÚTUMAINAK ELEMZÉSE A NEDVESÍTHETŐSÉG VONATKOZÁSÁBAN,
KÜLÖNBÖZŐ FAFAJOKON**

Soproni Egyetem

Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola

Fafeldolgozási Technológiák és Kreatív Tervezés Program

SOPRON

2017

FAFELÜLETEK ATTRIBÚTUMAINAK ELEMZÉSE A NEDVESÍTHETŐSÉG VONATKOZÁSÁBAN,
KÜLÖNBÖZŐ FAFAJOKON

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

Írta: Papp Éva Annamária

a Soproni Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola
Fafeldolgozási Technológiák és Kreatív Tervezés alprogramja keretében

Konzulensek:

Dr. habil Csiha Csilla

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

.....

aláírás

Prof. Dr. Csóka Levente DSc.

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

.....

aláírás

A jelölt a doktori szigorlaton% -ot ért el,
Sopron,

.....

a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen / nem)

Első bíráló (Dr.) igen / nem

.....

aláírás

Második bíráló (Dr.) igen / nem

.....

aláírás

(Harmadik bíráló (Dr.) igen / nem)

.....

aláírás

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján%-ot ért el.

Sopron,

.....

a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése:

.....

Az EDT elnöke

NYILATKOZAT

Alulírott *Papp Éva Annamária*, jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a „*Fafelületek attribútumainak elemzése a nedvesíthetőség vonatkozásában, különböző fajokon*” című PhD értekezésem önálló munkám, az értekezés készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény¹ szabályait, valamint a *Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola* által előírt, a doktori értekezés készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.

Kijelentem továbbá, hogy az értekezés készítése során az önálló kutatómunka kitétel tekintetében témavezetőimet, illetve a programvezetőt nem tévesztettem meg.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy az értekezést nem magam készítettem, vagy az értekezéssel kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a *Soproni Egyetem* megtagadja az értekezés befogadását.

Az értekezés befogadásának megtagadása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Sopron, 2017.

.....
doktorjelölt

¹ **1999. évi LXXVI. tv.** 34. § (1) A mű részletét – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti.
36. § (1) Nyilvánosan tartott előadások és más hasonló művek részletei, valamint politikai beszédek tájékoztatás céljára – a cél által indokolt terjedelemben – szabadon felhasználhatók. Ilyen felhasználás esetén a forrást – a szerző nevével együtt – fel kell tüntetni, hacsak ez lehetetlennek nem bizonyul.

„A szám csak egy a matematikai minőségek hatalmas sokaságából, amelyek segítenek megérteni és leírni a természetet. Soha nem fogjuk megérteni egy fa növekedését vagy a dűnéket a sivatagban, ha megpróbáljuk a természet szabadságát numerikus sémákra egyszerűsíteni.”

Ian Nicholas Stewart

Tartalom

Ábrajegyzék	10
Táblázatjegyzék	11
Kivonat	12
Abstract	13
1. Bevezetés	14
2. Célkitűzés	15
3. Szakirodalmi összefoglaló	16
3.1. Különböző fafajok természetes öregedése és mesterséges öregítése	16
3.1.1. A fafelületek korának befolyásoló hatása	16
3.1.2. A fafelületek természetes öregedésének imitálása	17
3.1.3. A mesterséges fényforrások természetes öregedés imitálására való alkalmasságának kérdése	17
3.1.4. Az UV és a látható fény penetrációs mélysége	18
3.2. A faanyag felületi energiájának vizsgálatára irányuló kutatások	20
3.2.1. A felületi energia vizsgálata nyugvó csepp módszerrel	22
3.2.2. Különböző faanyagok felületi energiájának változása a faanyag felületi megmunkálásától számított korának függvényében	26
3.2.3. A nedvesíthetőség változása fotodegradáción átesett faanyagok esetében	26
3.2.4. A nedvességtartalom befolyásoló hatása faanyagok nedvesíthetőségére	27
3.2.5. A vágásirány és a felületi érdesség felületi energiára gyakorolt hatása	27
3.2.6. Faanyagok kémiai összetételének hatása a felületi energiára	30
3.3. Különböző fafelületek infravörös spektroszkópiás vizsgálata	32
3.3.1. Az Fourier transzformációs infravörös spektroszkópia (FTIR) alkalmazási lehetőségei faanyagok esetében	32
3.3.2. Faanyagok FTIR vizsgálatai, különös tekintettel a fotodegradáció hatására bekövetkező változásokra	35
3.4. Faanyagok fenol és cukor tartalom vizsgálatai, különös tekintettel degradációs hatásokra, mint lehetséges befolyásoló tényezőkre	41
3.4.1. Totál-fenol tartalom vizsgálatok alkalmazása faanyagok esetében	41
3.4.2. Összes kioldható szénhidrát tartalom vizsgálatok faanyagok esetében	42
4. Vizsgálati anyagok és módszerek	43
4.1. A vizsgálatok során alkalmazott faanyagok, illetve azok tulajdonságai	43

4.2. Különböző érdességű faanyagok vizsgálata, különös tekintettel a nedvesíthetőségre	44
4.2.1. A fafelületek megmunkálása	44
4.2.2. Az érdességmérés kivitelezése, az alkalmazott eszköz és paraméterei	44
4.2.3. A peremszög mérés kivitelezése, az alkalmazott eszköz és paraméterei	45
4.2.4. A pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvételek elkészítése	47
4.3. A mesterségesen öregített faanyagok vizsgálata, kiemelt figyelemmel a nedvesíthetőségre	47
4.3.1. A mesterséges öregítésnek alávetett mintatestek kialakítása	47
4.3.2. A mesterséges öregítés technológiai háttere és a vizsgálati időpontok meghatározása	48
4.3.3. A peremszög mérések kivitelezése mesterségesen öregített mintatestek esetén	49
4.3.4. A nedvességtartalom meghatározása a mesterséges öregítés során	49
4.3.5. A totál-fenol és összes kioldható szénhidrát tartalom meghatározása	50
4.3.6. Az FTIR vizsgálatok kivitelezése	52
4.4. Természetes beltéri öregítésnek kitett faanyagok vizsgálata, kiemelt tekintettel a nedvesíthetőségre	53
4.4.1. A mintatestek kialakítása	53
4.4.2. A természetes öregítés kivitelezése, illetve a mérési ciklusok meghatározása	54
5. A kutatómunka eredményei	57
5.1. A peremszög változása különböző fafajokon a felületi érdesség függvényében	57
5.1.1. Különböző szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt faanyagok felületi érdességméréseinek eredményei	57
5.1.2. A peremszög változása a felületi érdesség függvényében	59
5.1.3. Desztillált víz peremszögének érdességfüggése különböző fafajok esetében	60
5.1.4. A peremszög és érdességmérések összefüggéseinek kritikai értékelése	64
5.2. Különböző folyadékok peremszögének, a felületek polaritásának és felületi energiájának változása természetes és mesterséges öregítés hatására, különböző fafajok esetében	66
5.2.1. Hosszú időtartamú mesterséges öregítés hatása különböző folyadékok peremszögére, illetve a vizsgált fafelületek felületi energiájára	66

5.2.2.	Faanyagok felületén mesterséges öregítés hatására bekövetkező felületi energia változások kritikai értékelése	75
5.2.3.	Természetes öregítés hatására lezajló peremszög változások értékelése....	76
5.2.4.	A természetes és mesterséges öregítés hatására bekövetkező változások összehasonlítása, különös tekintettel a hidrofobicitásra, illetve hidrofilitásra	79
5.3.	A totál-fenol és az összes kioldható szénhidrát tartalom vizsgálatok eredményeinek értékelése.....	81
5.3.1.	A totál-fenol tartalom vizsgálatok eredményeinek értékelése	81
5.3.2.	A totál-fenol tartalom vizsgálatok kritikai értékelése	83
5.3.3.	Az összes kioldható szénhidrát tartalom vizsgálatok eredményeinek értékelése	84
5.3.4.	A totál-fenol és összes kioldható szénhidrát tartalom vizsgálatok eredményeinek összesített értékelése.....	86
5.4.	Mesterségesen öregített fafelületek FTIR vizsgálatai	87
5.4.1.	Bükk faanyagon végzett FTIR vizsgálatok értékelése	87
5.4.2.	Lucfenyő faanyagon végzett FTIR vizsgálatok értékelése	90
5.4.3.	Nyír faanyagon végzett FTIR vizsgálatok értékelése	92
5.4.4.	Kocsánytalan tölgy faanyagon végzett FTIR vizsgálatok értékelése	95
5.4.5.	Az FTIR vizsgálatok összesített és kritikai értékelése	99
6.	Összefoglalás.....	101
7.	Tézisek.....	103
8.	Javaslattevél további kutatási feladatokra.....	105
	Irodalomjegyzék.....	106
	A kutatási témában megjelent saját publikációk	122
	Köszönetnyilvánítás	123
	MELLÉKLETEK	124

Ábrajegyzék

Sorszám	Cím	Oldalszám
1	A ragasztott kötésben fellépő erők	19
2	A peremszög értékének besorolása nedvesítési fokozatok szerint	21
3	A folyadékcsepp peremszögének csökkenése fafelületen	28
4	Az R_z tényező meghatározása	44
5	PG-X goniométer használata, felépítése	45
6	A mesterséges öregítő berendezés	47
7	Állvány mintatestek elhelyezéséhez természetes öregítés során	53
8	Különböző fafajok felületi érdessége (R_z) [μm] a szemcsefinomság függvényében	57
9	Csiszolt fafelületeken mért átlagos peremszög értékek, az átlagos egyenetlenség magasság (R_z) és szemcsefinomság függvényében	59
10	Csiszolt fafelületek átlagos peremszög értékei a szemcsefinomság függvényében	60
11	Pasztázó elektronmikroszkópos felvételek a meghatározott érdesség tartományokhoz tartozó jellemző csiszolószemcse finomságú csiszolópapírral csiszolt felületeken	62
12	Desztillált víz és dijódmétán peremszögének változása mesterséges öregítés során	68
13	A teljes felületi energia változása a poláris összetevő és a mesterséges öregítés függvényében	69
14	A felületi polaritás változása faanyagok mesterséges öregítése során	71
15	A felületi energia változása faanyagok mesterséges öregítése (0-240h) során	73
16	Desztillált víz peremszögének változása természetes öregítés (0-240h) során	76
17	Desztillált víz peremszögének változása természetes és mesterséges öregítés (0-240h) során, különböző faanyagok esetében	79
18	A totál-fenol tartalom változása különböző fafajok esetében, mesterséges öregítés hatására	81
19	Az összes oldható szénhidrát tartalom változása különböző fafajok esetében, mesterséges öregítés hatására	84
20	Bükk faanyag különbségi színeképei 1, 8, 96 és 240h idejű mesterséges öregítés hatására (ujjlenyomat tartomány, $1900-900\text{ cm}^{-1}$)	87
21	Lucfenyő faanyag különbségi színeképei 1, 8, 96 és 240h idejű mesterséges öregítés hatására (ujjlenyomat tartomány, $1900-900\text{ cm}^{-1}$)	90
22	Nyír faanyag különbségi színeképei 1, 8, 96 és 240h idejű mesterséges öregítés hatására (ujjlenyomat tartomány, $1900-900\text{ cm}^{-1}$)	93
23	Kocsánytalan tölgy faanyag különbségi színeképei 1, 8, 96 és 240h idejű mesterséges öregítés hatására (ujjlenyomat tartomány, $1900-900\text{ cm}^{-1}$)	95
24	Kocsánytalan tölgy faanyag különbségi színeképei 1, 8, 96 és 240h idejű mesterséges öregítés hatására, 1105 és 1205 cm^{-1} hullámszám tartományon	97

Táblázatjegyzék

Sorszám	Cím	Oldalszám
1	A faanyag esetén tapasztalható fotodegradáció mélysége a hullámhossz függvényében	18
2	Különböző IR sávok elhelyezkedése különböző fafajok esetében	33
3/1	A faanyag színekében azonosított sávok, illetve kémiai csoportok	38
3/2	A faanyag színekében azonosított sávok, illetve kémiai csoportok	39
4	Az érdességmérés eredményei a szemcsefinomság függvényében	56
5	A peremszög mérés eredményei a szemcsefinomság függvényében	58
6	A meghatározott egyenlet konstans tagjai és determinációs együtthatói fafajonként, a vizsgált érdesség tartományok esetében	61
7	Különböző csiszolószemcse finomságú csiszolópapírral csiszolt faanyagok nedvességtartalma	64
8	Desztillált víz átlagos peremszög értékei a mesterséges öregítés vizsgálati időpontjaiban	66
9	Dijódmétán átlagos peremszög értékei a mesterséges öregítés vizsgálati időpontjaiban	67
10	Különböző faanyagok felületi energiájának változása hosszú idejű mesterséges öregítés során	72
11	Desztillált víz peremszög értéke a beltéri öregítés vizsgálati időpontjaiban	77

Kivonat

Jelen disszertáció, folyadékok peremszögének változását vizsgálja lucfenyő (*Picea abies*), bükk (*Fagus sylvatica* L.), nyír (*Betula pendula*) és kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) faanyagok felületén, csiszolás, illetve természetes és mesterséges öregítés hatására.

A felületi érdesség nedvesíthetőségre gyakorolt hatásának vizsgálatára, desztillált víz peremszögének vizsgálatával került sor. Öregítés hatására bekövetkező, a faanyag felületi rétegében fellépő változások tanulmányozására a peremszög vizsgálatokon túl, kémiai és FTIR vizsgálatokkal került sor.

A vizsgált érdesség tartományban (csiszolószemcse finomság: 60-600) végzett kutatás alapján, peremszög változás tekintetében három jól elkülöníthető érdesség tartomány határozható meg, minden vizsgált fafaj esetében.

A természetes és mesterséges öregítés peremszögre gyakorolt hatásainak vizsgálatai alapján a mesterséges öregítés hatására bekövetkező felületi módosulások nagyobb mértékű változást okoznak különböző folyadékok (desztillált víz (poláris és diszperzív) és dijódmétán (diszperzív)) peremszögének és a faanyag felületi energiájának tekintetében, a természetes öregítéshez viszonyítva. A felületi réteg kémiai összetételének változása miatt, fafajtól és járulékos anyag tartalomtól függetlenül, a fafelületek polaritása megváltozik. A bekövetkező felületi kémiai változások poláris és diszperzív folyadékok peremszögében nagyobb mértékű változást okoznak, diszperzív folyadék peremszög változásához viszonyítva. 240 h időtartamú mesterséges öregítés hatására, a felületen mérhető peremszög (desztillált víz) a kezdeti, frissen megmunkált faanyagon mérhető érték alá csökken. A felületi réteg kémiai változásait a faanyag fő összetevőinek (cellulóz, hemicellulózok és lignin) degradációja befolyásolja, amely változás totál-fenol és összes oldható szénhidrát tartalom, valamint FTIR vizsgálatokkal megfelelően nyomonkövethető.

Abstract

In this study, the influence of machining (sanding) and natural and artificial ageing on contact angle of different liquids of spruce (*Picea abies*), beech (*Fagus sylvatica* L.), birch (*Betula pendula*) and sessile oak (*Quercus petraea*) wood species were investigated.

Monitoring of wettability change due to surface roughness variability was performed by using contact angle measurements of distilled water. Chemical changes in the surface layer caused by ageing were analyzed with chemical investigations and FTIR measurements also.

In the investigated surface roughness region (grit sizes: 60-600) there are three well distinguishable portions of surface roughness in case of all investigated wood species.

According to the examination of the effect of natural and artificial ageing on contact angle of polar and dispersive (distilled water) and dispersive (diiodomethane) liquids, artificial ageing causes more significant surface chemistry modification compared to natural ageing, in case of contact angle and surface energy. Changes in the chemical composition of wood surface layer – independently of species and wood extract content – affects the contact angle of liquids through the change of wood surface polarity. The occurred surface chemistry modification causes more significant change in the contact angle of polar and dispersive liquid, relative to the change of dispersive liquid contact angle. During the artificial ageing of 240 hours, the contact angle value of (distilled water) liquid decreases below the contact angle value measured on freshly prepared wood surface. Chemical changes of the wood surface layer are influenced by the degradation of the main wood components (cellulose, hemicelluloses and lignin) which can be properly monitored by total phenolic and total soluble carbohydrate content measurements and FTIR examinations.

1. Bevezetés

A faanyag olyan megújuló alapanyagforrás, amely környezetünkben, bár eltérő mennyiségben és minőségben, de mindig jelen van. A különböző fafajok faanyaga földrészenként, éghajlati övenként, de még országrészenként is, nagymértékben eltérő tulajdonságokkal rendelkezik. Ilyen eltérések lehetnek a növekedési habitus, színváltozat vagy a faanyag felhasználás kori jellemzői. Különbözőségei miatt a faanyag, mint szerkezeti alapanyag azon tulajdonságai, amelyek a feldolgozóipar számára hasznos információt hordoznak, illetve e tulajdonságok változásai még napjainkban is számos nyitott kérdést tartalmaznak. A faanyag felületkezelése és ragasztása során, elsősorban a fafajból, a feldolgozott faanyag előéletéből, a megmunkálásból és annak módjából, valamint a faanyag tárolásából származó eltérések okozhatnak problémát. A létrejövő hibák kiküszöbölésének céljából teendő elsődleges feladat, azok okainak feltérképezése. A faanyagok ragasztásakor és felületkezelésekor nehézségként adódó, az optimális mértéktől elmaradó adhézió minősége, mint felhasználás során létrejövő igénybevételnek nem megfelelő tulajdonság, a korszerű technológiai háttér ellenére gyakori probléma.

Jelen dolgozat fő témakörei a faanyag, mint gyártás kori alapanyag felületi tulajdonságai köré csoportosulnak, amelyek közül a legfontosabbak a *fafelületek megmunkálásától számított eltelt időre, felületi érdességére és a felületek - folyadékok peremszögét befolyásoló - kémiai összetételére* vonatkoznak.

Az említett témakörökkel kapcsolatos vizsgálatok elvégzése szórt likacsú (bükk (*Fagus sylvatica* L.), nyír (*Betula pendula*)), gyűrűs likacsú (kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*)), valamint fenyő (lucfenyő (*Picea abies*)) fajokon történt.

2. Célkitűzés

A *fafelületek megmunkálása után eltelt időre*, mint felhasználáskori felületi paraméternek vizsgálatára természetes, illetve mesterséges öregítés segítségével kerestük a választ. A vizsgálati eredmények alapján elmondható, hogy a fafelületek megmunkálását követő időszak jelentős befolyással bír a különböző faanyagokon mérhető peremszög értékére, ezzel együtt hatással van a nedvesítésre, amelyen keresztül a faanyagok ragasztási és felületkezelési minőségére is.

A *felületi érdesség*, mint peremszöget befolyásoló tényező, már hosszú ideje vizsgált paraméter. A különböző fafelületek már említett sokrétűsége révén, a korábban, más kutatók által e témában végzett kutatások, többnyire az alkalmazott érdességi skála kisebb periódusainak vizsgálatára összpontosítottak. Jelen disszertációban a vizsgálatoknak alávetett érdességi tartomány – a korábbi vizsgálatokhoz viszonyított – szélesebb körű vizsgálatára törekedtünk annak érdekében, hogy a tartományok határainak meghatározásán túl, a különböző érdességi periódusok folyadékot peremszögére gyakorolt hatásait vizsgálhassuk.

Faanyagok esetében a harmadik, és egyben legösszetettebb hatással bíró, nedvesíthetőséget befolyásoló tényezők, a *faanyagokban jelen lévő kémiai anyagok* (valamint azok mennyisége és minősége). Annak megértésére, hogy a faanyag kémiai összetevőinek módosulásai milyen összefüggésben állnak a faanyagok felületén öregedés, illetve öregítés hatására bekövetkező felületi energia változásokkal, az öregítés vizsgálatokkal párhuzamosan a kémiai összetevők többrétű (FTIR, totál-fenol és összes kioldható szénhidrát tartalom) vizsgálatára is sor került.

A kutatómunka elsődleges célja tehát a peremszög, illetve változásának megismerése különböző faanyagok esetében, olyan más paraméterekkel és azok változásával párhuzamosan, amelyek a faanyag felhasználása során gyakran előtérbe kerülnek, illetve visszatérő problémák generálóiaként tarthatók számon.

3. Szakirodalmi összefoglaló

3.1. Különböző fajok természetes öregedése és mesterséges öregítése

Az öregedés olyan folyamat, amely egy anyag hosszú tárolása vagy használata közben, fizikai és mechanikai tulajdonságaiban bekövetkező irreverzibilis változásokként értelmezhető (Unger et al., 2001). A faanyagot feldolgozása és használata közben számos környezeti tényező mellett, természetes és mesterséges fénysugárzás egyaránt éri, amelyek hatására létrejött változások nem csak esztétikai, hanem a feldolgozás szempontjából is fontos változásokat okoznak.

A Napból származó sugárzás gyakorlatilag változás nélkül jut el a Földre, azonban a Föld felszínére jutó sugárzás (mivel a Föld légköre a bolygóközi térhez képest nagyon sűrű) a légkörben lévő anyagokkal kölcsönhatásba lépve módosul (elnyelődés, szóródás) (Tóth, 2009). A természetes, illetve mesterséges fény és sugárzás hatására a faanyagok felületén bekövetkező változásokhoz számos kémiai folyamat társul. Ezek a folyamatok több tényezőtől függenek, melyek közül az egyik az abszorbeált energia (Papp et al., 2005/a).

A jelen kutatómunka szempontjából releváns, a természetes és mesterséges öregítéssel kapcsolatos kérdéscsoportok alapvetően a következők:

- a természetes és mesterséges fény és sugárzás hatására a faanyagok felületén végbemenő változások (a faanyag fő komponenseinek és járulékos anyagainak degradációja, lehetséges érdesedés) vizsgálata,
- a felületek fény és sugárzás hatására bekövetkező degradációjának hatása a felületi energiára,
- valamint a természetes napsugárzás imitálásának problémái,
- a fény faanyagba történő behatolási mélysége,
- továbbá egyéb lehetséges, a felületi energiát befolyásoló tényezők vizsgálata.

3.1.1. A fafelületek korának befolyásoló hatása

A fafelületek kora (a megmunkálással a minket körülvevő légköri jellemzőkkel való találkozásától eltelt időszak) az egyik legkritikusabb tényező a fafelületek ragasztását és felületkezelését tekintve. Az adhézió szempontjából legoptimálisabb felületek a frissen megmunkált fafelületek. Ennek megfelelően a hosszabb ideje tárolt, vagy öregedett fafelületek felületkezelhetőség és ragaszthatóság szempontjából az idő előrehaladtával egyre gyengébb mutató értékekkel jellemezhetőek, melyről számos kutatás beszámolt.

Emellett az is elfogadott tény, hogy a különböző fafelületek nedvesíthetősége a fafelületek korával megegyezően csökken, amely elsősorban a faanyag felületén jelen lévő extrakt anyagok kémiai átalakulása miatt következik be (Gindl et al., 2004). A fafelületek inaktivitásának időfüggésével foglalkozó kutatások (Herczeg, 1965;

Nussbaum, 1999) eredményei alapján megállapítottá vált, hogy a f felületek néhány napos pihentetést követően már jelentős változást mutatnak felületi energia tekintetében.

3.1.2. A f felületek természetes öregedésének imitálása

A különböző faanyagok természetes napsugárzás hatására bekövetkező fotodegradációja sok szempontot figyelembe vevő vizsgálatokon esett át.

A kérdéskör alapját az képi, hogy a faanyag degradációját befolyásoló hatások a napsugárzás intenzitása mellett, évszakonként, valamint egy nap alatt is folyamatosan változnak, emiatt a faanyagok fotodegradációja reprodukálhatóan, mesterséges fényforrások alkalmazása mellett és reprodukálható körülmények között vizsgálható (Molnár et al., 2013). Azon túl, hogy a napfény, mint elektromágneses sugárzás (UV és látható fény (VIS), illetve IR) intenzitása és időtartama váltakozik, a környezeti tényezők is jelentős befolyásoló hatással bírnak, úgy, mint a molekuláris oxigén, a hó, a víz (Hon, 1983), illetve a szél által a levegőben tartott részecskék (légtöri szennyező anyagok), valamint bizonyos speciális mikroorganizmusok (Evans, 2008).

A természetes napfény hatására a faanyagok felületén végbemenő változások reprodukálhatósága számtalan tényezőtől függ. Bár a f felületek különböző mértékben tartalmaznak kémiai összetevőket (cellulóz, lignin, hemicellulózok, járulékos anyagok), valamint az adott faanyagon belül is található eltérések a kémiai összetételt tekintve, ezektől függetlenül, a faanyag felületén végbemenő változások jól demonstrálják az egész faanyagra jellemző változásokat. Néhány fafaj esetében az extrakt anyagok fénybesugárzás hatására történő változása miatt bekövetkező színváltozást, akár néhány percen belül is olyan folyamatok követik, amelyek erős befolyással vannak a nedvesíthetőségre (Williams et al., 2000).

A felsorolt változások mellett nem szabad megfeledkeznünk arról sem, hogy a napfény okozta fotodegradációhoz természetes körülmények közt termikus degradáció is párosul (Tolvaj, 2005).

3.1.3. A mesterséges fényforrások természetes öregedés imitálására való alkalmasságának kérdése

A természetes öregedés mesterséges módon való imitálásának problémája sokrétűen kutatott témakör. Az e célra alkalmazott mesterséges fényforrások közül a kutatások jelentős része foglalkozik a higanygőz, valamint a xenon izzókkal.

Korábban megállapítást nyert, hogy a higanygőzlámpa olyan hullámhosszokon is sugároz (UV-C tartományban), melyek nem található meg a napsugárzásban, az ekkor kibocsátott fotonok energiája képes felszakítani a faanyagban jelen lévő összes kémiai kötést, ezért a higanygőz lámpa a napfény imitálására teljes mértékben nem alkalmas (Tolvaj, 2005;

Tolvaj et al., 2010). Tolvaj és Mitsui (2005) megállapították, hogy a higanygőz lámpával ellentétesen, a xenon izzó alkalmas a természetes napfény imitálására hosszú időtartamú (> 100h) besugárzási idő esetén. A későbbiekben a fényforrások alkalmasságának vizsgálata számos kutatás központi kérdése volt, melyek a természetes napfény és a mesterséges fényforrások által előidézett színváltozást – mint a fotodegradáció hatására létrejövő legszembetűnőbb változást – vizsgálták. Ezen témakörben végzett vizsgálataik alapján Tolvaj és Persze (2011) megállapították, hogy rövid idejű (<50h) kezelés esetében a xenonlámpa szignifikánsan nagyobb mértékű sárgulást okoz, mint a természetes napsugárzás.

Annak ellenére, hogy a xenon izzóval ellátott mesterséges öregítő berendezések segítséget nyújtanak a fotodegradáció hatásainak megismerésére, néhány problémával szükséges foglalkozni ilyen eszközök alkalmazásakor. Ilyen problémát vetnek fel korábbi (Tolvaj et al., 2011; Tolvaj, 2013) kutatási eredmények, amelyek a magas (> 60°C, vagy akár $\geq 90^\circ\text{C}$) hőmérséklet során bekövetkező felületi kémiai változások lehetőségéről számoltak be (nagyobb számú kémiai kötésfelszakadás). Egy másik, mesterséges öregítéskor jelentkező problémáról számoltak be Baar és társai (2015), miszerint adott esetben a mintatestek (ezzel együtt természetesen a fafelületek) nedvességtartalmában is tapasztalhatók változások. Ezzel összefüggésben, a hirtelen, esetenként fellépő nedvességtartalom változás miatt, mesterséges öregítés hatására, a faanyagok felületi érdessége mérhető változásokon megy át. Molnár és társai (2013) hat fafajon (lucfenyő (*Picea abies* Karst.), erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.), kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* Liebl.), akác (*Robinia pseudoacacia* L.), rezgőnyár (*Populus tremula* L.) és bükk (*Fagus sylvatica* L.)) vizsgálták a mesterséges öregítés hatására bekövetkező felületérdesedést. Vizsgálataik alapján bizonyították, hogy a faanyagok felületén a fotodegradáció hatására bekövetkező érdesség növekedés fafajonként különböző mértékű. Az alkalmazott faanyagok közül bükk esetében találták a legnagyobb mértékű érdesség növekedést, melynek legfőbb okaként a felületi repedések létrejöttét jelölték meg.

3.1.4. Az UV és a látható fény penetrációs mélysége

A faanyagba történő UV és látható fény penetrációval kapcsolatban meg kell jegyeznünk, hogy a fény behatolási mélysége nem egyezik meg a fotodegradáció mélységével. Williams (2005) összegzése alapján az általánosan elfogadott behatolási mélység értéke UV sugárzás esetében $\sim 75 \mu\text{m}$, míg a látható fény behatolási mélysége 120 és $200 \mu\text{m}$ közé tehető, amely értékek – mind UV, mind pedig látható fény esetén – függenek a faanyag sűrűségétől, valamint a korai és kései pászta arányától. Hon és Ifju (1978) szerint, az ultraibolya sugárzás $80 \mu\text{m}$ -nél mélyebbre nem hatol a faanyagba. Horn és munkatársai (1994) megállapították, hogy a hosszú időtartamú (300h) besugárzás hatására $200 \mu\text{m}$ -nél mélyebb rétegekben már nem tapasztalható fotokémiai reakció a faanyagban.

A természetes napfény imitálására használt mesterséges fénybesugárzás hatására

bekövetkező változások vizsgálatát végezték el horvát és brit kutatók (Jirous-Rajkovic et al., 2004). Vizsgálataik során a fafelületek 70 µm-nél mélyebb rétegeiben (140µm) is sikeresen mutatták ki a fotodegradációs változásokat, ezzel bizonyítva, hogy a faanyagot érő fénysugárzás bizonyos tartományba eső része(i), a faanyag felületi, 70 µm-nél mélyebb rétegeibe is képes(ek) behatolni.

Németh és Faix (1994) megállapításai alapján, a fotodegradációt elszenvedett felületek vizsgálatakor a felszíni ~75 µm vastagságú réteg vizsgálata ajánlott.

A fotodegradáció maximális mélysége 310 és 403 nm között jól korrelál a hullámhosszal (1. táblázat), ezzel együtt a 403 nm-nél nagyobb hullámhosszúságú fény fotodegradációja nem terjed tovább az UV sugárzással (100-300 nm) degradált faanyagban (Kataoka et al., 2006).

1. táblázat A faanyag esetén tapasztalható fotodegradáció mélysége a hullámhossz függvényében (Kataoka et al., 2006 alapján)

Hullámhossz (nm)	A fotodegradáció maximális mélysége (µm)
310 (UV)	100
341 (UV)	150
372 (UV)	250
403 (látható)	300
434 (látható)	50
465 (látható)	0

Későbbi kutatásukban Kataoka és társai (2007) megjegyezték, hogy a látható fény sokkal mélyebbre hatol a faanyagba, mint az UV sugárzás, illetve a fény behatolása és a hullámhossz (246-496 nm) közt korreláció áll fenn, vizsgálataik alapján a fotodegradáció mértéke a hullámhosszal növekszik (a látható fény ibolya spektrumával bezárólag). Emellett megállapították, hogy az UV sugárzás által a faanyagban okozott fotodegradáció kiterjed az UV behatolási mélységén túli területekre is.

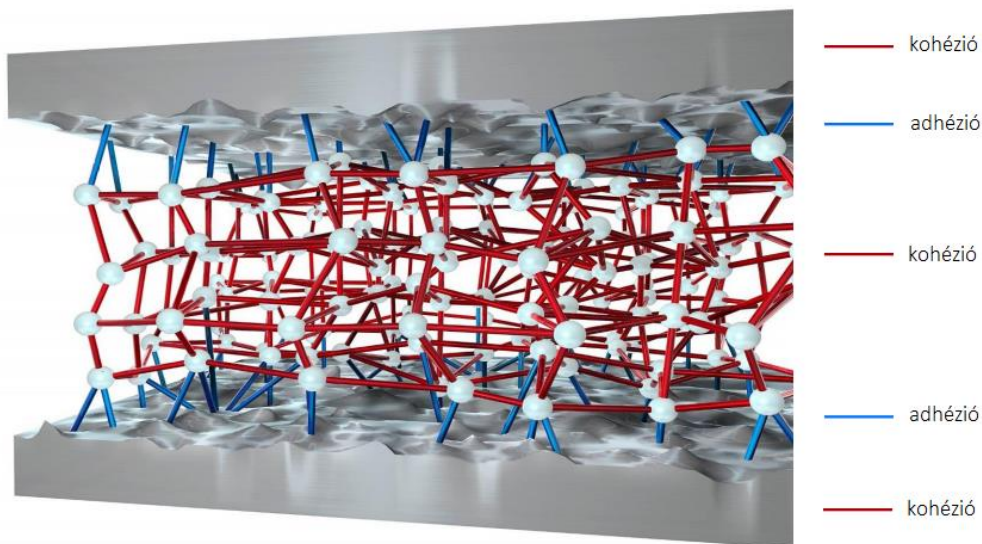
A faanyagot érő természetes napsugárzás hatására bekövetkező fotodegradáció vizsgálatakor, Kataoka és társai (2004) japán cédrus (*Cryptomeria japonica* D. Don) faanyag esetében, 1500 h természetes öregítést követően, 700 µm mélységben is sikeresen mutatták ki a fotodegradáció hatására bekövetkező változásokat, mellyel egyidejűleg megállapították, hogy a változások detektálható mélysége a besugárzási idő alatt exponenciálisan csökkenő ütemben növekszik.

A fotodegradáció a természetben előforduló egyik leggyakoribb degradációs jelenség, amelynek ismerete, illetve az általa a fafelületeken végbemenő változások feltérképezése, bár sokrétűen kutatott témakör, még mindig tartogat ismeretlen területeket. A hatására létrejövő módosulások igen sok szempontot figyelembe vevő kutatómunkát igényelnek.

3.2. A faanyag felületi energiájának vizsgálatára irányuló kutatások

A faanyag felületi tulajdonságai alapvetően két csoportba sorolhatók: fizikai és/vagy kémiai csoportba, a faanyagok felületének vizsgálatát pedig három fő csoportra oszthatjuk: mikroszkópos, spektroszkópos, illetve termodinamikus. A fizikai tulajdonságok közé tartoznak a morfológia, érdesség, a fajlagos felület, vagy a permeabilitás. A kémiai tulajdonságok csoportja elsősorban az elemi és molekuláris, valamint funkciós csoportok összetételét takarja. A tulajdonságok két fő csoportja együttesen határozzák meg a fa felületének termodinamikai jellemzőit, mint például a felületi energiát is. Mikroszkopikus módszerekkel főként a felületek morfológiájáról kapunk információt, a spektroszkópiai módszerekkel a felületek kémiai összetételéről, míg a termodinamikai módszerek alkalmazásával, többek közt a felületi energiáról (Tshabala, 2005/a).

Collett szerint (Collett, 1972) a ragasztott kötésben fellépő erőket legegyszerűbben egy képzeletbeli, öt szemből álló láncsal szimbolizálhatjuk. A képzeletbeli láncban a két utolsó láncszem a két ragasztott alkatrészben fellépő kohéziós erőket, a mellettük lévő két szem a ragasztó és a ragasztott alkatrészek közt fellépő adhéziós erőket, a középső láncszem pedig a ragasztóanyagban fellépő belső összetartó (kohéziós) erőket szimbolizálja. A képzeletbeli lánc példáján keresztül könnyen megérthető, hogy ha a láncszemek közül egy tönkremegy, a lánc használhatatlanná válik, ugyanígy történik ez a folyamat a ragasztott kötések esetében is.



1. ábra. A ragasztott kötésben fellépő erők (forrás: Juhász, 2012)

A jó ragasztott kötés kialakulásához a szubsztrátumnak és a ragasztóanyagnak közvetlen érintkezésbe kell kerülnie, amelyhez feltétlenül szükséges, hogy a ragasztóanyag folyadék halmazállapotban legyen. Az így létrejövő kapcsolatot nevezzük a ragasztóanyag szubsztrátumon végbemenő nedvesítésének, amely a szubsztrátum érdességétől is függ (Barbarisi, 1967).

Nedvesítéskor a folyadék szilárd felülettel kerül kapcsolatba. A folyadékcsepp alakja egy szilárd felületen csonka gömbhöz hasonló. Ennek magyarázata, hogy a folyadék és szilárd anyag között adhéziós kölcsönhatás lép fel, mely során a folyadék elkezd széteszni a felületen. Ezzel párhuzamosan a kohéziós erők hatására a folyadék gömb alakot igyekszik felvenni, így elkerülve a felülethez való kapcsolódást (Papp, 2012). A folyadékcsepp felszínén lévő molekulák nagyobb potenciális energiával rendelkeznek, mint a folyadék belsejében lévők. Az egységnyi hosszönként vett erőkülönbség, vagy a területegységenként vett energiakülönbség a folyadék felületi feszültsége. A két meghatározás egyenértékű, de a területegységenkénti energiára való hivatkozáskor a „felületi szabad energia” kifejezés használata elfogadott (Csanády et al., 2015).

A faanyag komplex anyag, amelynek összetettségéből adódóan nedvesíthetősége számos tényezőtől függ, úgy, mint fafaj, tárolási körülmények (víz, napfény, biotikus és abiotikus tényezők), szárítás menete, vágásirány (Nguyen és Johns, 1979/a; Kalnins et al., 1988), a faanyag sűrűsége (Amorim et al., 2013), illetve a felület kémiai összetétele (Kishino és Nakano, 2004).

A faanyag és a ragasztó- vagy felületkezelő anyagok között fellépő kölcsönhatások és összefüggések megértése ipari szempontból igen fontos feladat (Gardner, 1996), ezért a faanyagok nedvesíthetőségével, illetve a faanyagok ragasztásakor és felületkezelésekor létrejövő adhézióval foglalkozó kutatók a felületi energia vizsgálatára gyakran alkalmaztak és alkalmaznak ragasztó- és/vagy felületkezelő anyagokat vizsgáló folyadékként (Riuxiang és Jiyu, 2002). A faanyag anatómiája ragasztóanyagok alkalmazásakor, ahogy más vizsgálófolyadék esetében is, nagymértékben befolyásolja a létrejövő peremszöget (Santoni és Pizzo, 2013), amely szög jól korrelál a ragasztott kötés minőségével (Hse, 1972).

Ismert tény, hogy a különböző tesztfolyadékok (poláris és diszperzív, diszperzív) a faanyag felületén különböző módon viselkednek (Kúdela, 2014). Good és Girifalco (1960) szerint, a diszperzív folyadékokat alkotó molekulák között csak van der Waals erők hatnak. Amennyiben más típusú, például dipólus vagy hidrogén-híd kötés kialakul, a folyadék poláris jellegű.

Vizsgáló folyadékok esetében a viszkozitás igen kényes kérdés, mivel alacsony viszkozitás esetén, a folyadék faanyagba való hatolása nagyon rövid időn belül végbemegy, így a vizsgálatok reprodukálhatósága is veszélybe kerülhet (Scheikl és Dunky, 1996). Lehetséges, hogy egy nagyon viszkózus ragasztóanyag képes nedvesíteni a felületet, azonban a terülés hiánya miatt nem képes a felület "lefedésére" bizonyos időn belül (Frihart, 2005/b). A vizsgáló folyadékként alkalmazott ragasztóanyagok esetében megállapítást nyert, hogy azok viszkozitása olyan hibalehetőséget rejt magában, amely miatt konkrét konklúzió definiálása igen nehézkes (Resnic és Sovinc, 2002).

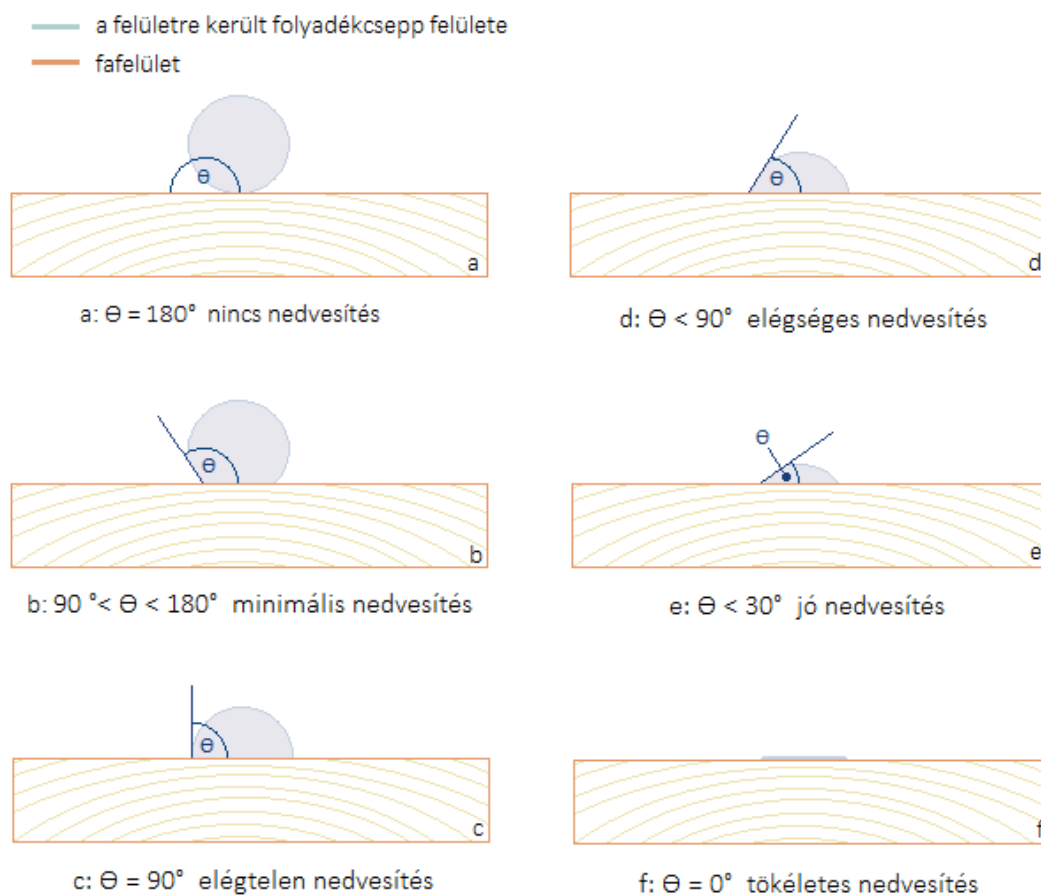
A megállapítások alapján tehát, amennyiben általánosan elfogadható értékeket kívánunk megállapítani egy-egy fafaj, megmunkálási mód, esetleg modifikációs eljárás esetében, a

vizsgálatok elvégzéséhez célszerűbb olyan vizsgáló folyadékok alkalmazása, amelyek alkalmazásukkal hozzájárulnak teoretikus következtetések levonásához.

3.2.1. A felületi energia vizsgálata nyugvó csepp módszerrel

A felületek nedvesítésével kapcsolatos tanulmányok alapja, a szilárd és folyadék fázisok érintkezésénél fellépő peremszög (más néven kontaktszög, illeszkedési szög), mint alapadat mérése. A peremszög $[\Theta]$ a felületre ejtett folyadékcsepp felszínéhez húzott érintő és a szilárd felület síkja által bezárt szög (Nowak et al., 2013).

Alacsony értékű ($<90^\circ$) peremszög értékek esetén magas fokú, míg magas ($> 90^\circ$) peremszög értékek esetében alacsony fokú nedvesítésről beszélünk (Yuan és Lee, 2013) (2. ábra). Ismert tény továbbá, hogy a felület nedvesítése akkor következik be, amikor a peremszög értéke a nullához tart (Vick, 1999). Egy szilárd anyag felületi energia vizsgálatával viszonylag egyszerű módon kaphatunk információt a felület tulajdonságairól. A peremszög értékes információkat hordoz a hidrofobicitás, a felületi szabálytalanságok és a kémiai heterogenitás tekintetében (Mazzola et al., 2012).



2. ábra A peremszög értékének besorolása nedvesítési fokozatok szerint (Θ : peremszög $[\circ]$) (Garai et al., 2005 alapján)

A felületi energia meghatározásának egyik legegyszerűbb módszere, a felületre cseppentett folyadékcsepp peremszögének mérése (Subedi, 2011). Elméletileg a peremszög, egy adott szilárd-folyadék rendszer, egy adott speciális környezetben mérhető sajátja (Snoeijer és Andreotti, 2008).

Tüske (2006) szerint, szilárd felületek esetében, olyan peremszög értékekből, amelyeket különböző folyadékok (poláris és diszperzív, diszperzív) képeznek a felületen, a felületi energia kiszámítható. Megfogalmazása szerint, az egységnyi felület felületi energiája az az energiaváltozás, amely a felület egységnyi növelésekor bekövetkezik.

A felületi energia (más néven felületi szabad energia) számítására számos metódus létezik, melyek közül az egyik leggyakrabban alkalmazott módszer az Owens és Wendt (1969) által leírt egyenlet. A különböző folyadékok peremszög eredményeinek felhasználásával, az 1969-ben Owens és Wendt által meghatározott összefüggés alapján, amely szerint

$$\sqrt{\sigma_s^D * \sigma_l^D} + \sqrt{\sigma_s^P * \sigma_l^P} = \frac{\sigma_l(\cos\theta+1)}{2}, \text{ ahol}$$

σ_s^D : a szilárd test felületi energiájának diszperzív komponense [mJ/m²]

σ_l^D : a folyadék felületi feszültségének diszperzív komponense [mN/m]

σ_s^P : a szilárd test felületi energiájának poláris komponense [mJ/m²]

σ_l^P : a folyadék felületi feszültségének poláris komponense [mN/m]

σ_l : a folyadék felületi feszültsége [mN/m]

θ : peremszög [°],

a szilárd anyag felületi energiájának kiszámítása a következőkben bemutatott módon végezhető el.

A szilárd anyag felületi energiájának diszperzív komponense (σ_s^D) a következő egyenlettel történik:

$$\sigma_s^D = \left(\frac{\sigma_{L_{DIS}}^D}{4}\right) * \left\{\left(\frac{\cos(\theta_{DIS} * \pi)}{180}\right) + 1\right\}^2, \text{ ahol}$$

$\sigma_{L_{DIS}}^D$: a diszperzív folyadék felületi feszültségének diszperzív komponense [mN/m]

θ_{DIS} : a diszperzív folyadék peremszöge [°].

A komponens ismeretében, a szilárd felület felületi energiájának poláris komponense a következő egyenlet alapján kalkulálható:

$$\sigma_S^P = \left\{ \sigma_{LPOOL} * \frac{\left(\frac{\cos(\theta_{LPOOL} * \pi)}{180} \right) + 1}{2} \right\} - \sqrt{\sigma_S^D * \sigma_{LPOOL}^D}, \text{ ahol}$$

σ_{LPOOL} : a poláris folyadék felületi feszültsége [mN/m],

θ_{LPOOL} : a poláris folyadék peremszöge [°]

σ_{LPOOL}^D : a poláris folyadék felületi feszültségének diszperzív komponense [mN/m].

A desztillált víz felületi feszültsége 72,8 mN/m. Ennek poláris komponense 46,4 mN/m (63,74%), diszperzív komponense pedig 26,4 mN/m (36,26%). A dijódmetán felületi feszültsége 50,8 mN/m, amely tisztán diszperzív komponens.

A bemutatott egyenletekkel számított értékek felhasználásával a szilárd test teljes felületi energia (σ_s^T) értéke a szilárd test felületi energiájának diszperzív (σ_s^D) és poláris (σ_s^P) komponensének összegeként számítható.

$$\sigma_s^T = \sigma_s^D + \sigma_s^P \text{ [mJ/m}^2\text{]}.$$

A felületi energia mellett a felületi polaritás (jele: P) is fontos információt hordoz, számításával a felületi energia poláris komponensének (σ_s^P) arányát adhatjuk meg a teljes felületi energia (σ_s^T) függvényében:

$$P = \left(\frac{\sigma_s^P}{\sigma_s^T} \right) * 100 \text{ [\%]}.$$

Ahhoz, hogy a felületi energia értékét a lehető legnagyobb pontossággal és reprodukálhatósággal számíthassuk ki, az adott felületen kivitelezett peremszög mérések kivitelezésekor számos tényezőt kell figyelembe vennünk.

A folyadékokban oldott anyagok hatására a peremszög értéke módosulhat, amely tulajdonságot számos területen alkalmazzák a szilárd felületek nedvesítő képességének növelése vagy épp csökkentése céljából (Hórvölgyi, 2011). A felületen jelenlévő szennyezőanyagok peremszögre vonatkozó befolyásoló hatásainak vizsgálatából (Tshabala, 2005/b) egyértelműen látható, hogy a különböző szennyeződések a peremszög növekedését (ezáltal a nedvesítés csökkenését) okozzák.

Wålinder és Gardner (2002/b), faanyagokon végzett peremszög mérések szempontjából három kritikus tényezőt állapított meg:

- a teszt folyadékok szennyeződése a faanyag extrakt anyagainak kimosódása következtében,
- a faanyag felületi szerkezetéből adódó nem kívánt folyadék elterülés, illetve
- a tesztfolyadékok abszorpciója.

Feltételezve, hogy a pillanatnyi peremszög-változások áramlástanai folyamatok következményei, az a hipotézis kijelenthető, hogy a peremszög legjellemzőbb értéke abban a pillanatban (vagy ahhoz legközelebbi időpillanatban) mérhető, amikor a csepp alakja a felületre érkezve kialakul (Rubina et al., 2009).

A folyadékcsepp térfogatának meghatározásakor figyelembe kell venni a csepp térfogatának alsó és felső határait. Bár a felületre ejtett folyadékcsepp peremszögének mérésére kifejlesztett legegyszerűbb mérési módszer a nyugvó csepp módszer, nagyméretű (> 8 μ l) folyadékcseppek esetében ez a módszer már nem alkalmazható, mivel a gravitációs erő vonzása miatt a folyadékcsepp alakja oly mértékben deformálódik, hogy a peremszög értéke nem határozható meg reprodukálható módon (Bengt et al., 2014). A túl alacsony (<3,5 μ l) csepptérfogat alkalmazása esetén a folyadék területe nehezen megy végbe, így a kis térfogatú cseppel végzett peremszög mérések eredményeinek értékelésekor hibás következtetések (gyenge nedvesíthetőség) levonására kerülhet sor.

A nedvesítés a tapadás nagyon fontos tényezője; minél alacsonyabb a peremszög, annál nagyobb a két közeg határán lévő kapcsolódási felület (Mittal, 1977). Általánosan ismert tény, hogy a faanyag vízzel kapcsolatos átteresztő képessége (permeabilitás) magas fokú, a felületre ejtett folyadékcsepp alakja nagyon rövid időn belül jelentős változásokon megy át. A folyadékcsepp egy része igen hamar behatol a faanyagba, mialatt pedig szétterjed a fafelületen/felületi rétegben az érintkezési szög csökkenését eredményezi.

Ezen túlmenően, a párolgás is fontos szerepet játszhat az érintkezési szög értékének tekintetében, azonban a rövid mérési idők (<5s) miatt, a változatlan környezeti viszonyok e fajta hatása elhanyagolható (Boehme és Hora, 1996).

Érdemes megjegyeznünk, hogy egy szilárd felületen nyugvó folyadékcsepp viselkedését bármely, a felületen bekövetkező változás erősen befolyásolja (Good et al., 1998). Ennek oka faanyagok esetén, hogy a vizsgált peremszög olyan fenomenológiai paraméter, amelyet nem kizárólag a felületi energia befolyásol, hanem a felületi érdesség, a felület heterogenitása, a nedvességtartalom és még számos olyan tényező, amely a faanyagnak, mint élő alpanyagnak sajátja (Wålinder és Ström, 2001). Moghaddam és munkatársai (2014) munkájukban megjegyezték, hogy a faanyag felületének kémiai és szerkezeti heterogenitása miatt, a Wilhelmy-lemezes mérési eljárás alkalmazása a felületi energia vizsgálatára túlságosan érzékeny módszer. Ennek oka, hogy a nagyobb felület jellemzőiről egyetlen, a viszonylag nagyméretű felületre (a nyugvó csepp módszerhez viszonyítva) vonatkozó átlagérték áll rendelkezésre mérésenként, ezáltal pedig a felületi változások nyomon követése megghiúsulhat.

Sajnálatos módon a számos felületi energia számítási módszer és alkalmazott folyadék, illetve az azonos fafajok különböző egyedeinek összetételbeli eltérései miatt, a szakirodalomban fellelhető felületi energia adatok közt hatalmas eltérések észlelhetők és általánosságban nem összehasonlíthatók (Petrič és Oven, 2015).

3.2.2. Különböző faanyagok felületi energiájának változása a faanyag felületi megmunkálásától számított korának függvényében

Ismert tény, hogy a faanyag nedvesítéskori viselkedése számos tényezőtől függ, úgy, mint fafaj, nedvességtartalom, extrakt anyag tartalom, illetve a faanyagban és annak felületén jelen lévő kémiai anyagok mennyisége és minősége (Gardner et al., 1991). Különösen igaz ez olyan faanyagok esetében, amelyek kémiai kezelésem, vagy valamilyen típusú degradáción estek át (Wang et al., 2007; Wei et al., 2012). A legegyszerűbb degradációs hatás a faanyagok feldolgozáskori, különböző munkafázisok közti tárolása során jelentkezik. A fafelületeken mérhető peremszög értékében növekedés tapasztalható pihentetés (beltéri tárolás) hatására, amelyből a nedvesíthetőség mértékének csökkenésére következtethetünk (Herczeg, 1965).

Gindl és társai (2004) az öregedés (a fafelület megmunkálásától számított idő) hatását vizsgálták különböző faanyagokon (lucfenyő, bükk), felületi kémia, nedvesíthetőség és felületi szabad energia összefüggésében. Eredményeik alapján az öregedés ideje jelentős befolyással bír nedvesíthetőség és adhézió tekintetében. Az alkalmazott fafajok összes vizsgált felületi paraméterével kapcsolatban sikeresen bebizonyították, hogy a tárolási időnek jelentős szerepe van a különböző paraméterek változásában.

3.2.3. A nedvesíthetőség változása fotodegradáción átesett faanyagok esetében

A különböző szilárd felületek nedvesíthetősége fontos tulajdonság, amelyet gyakorlati szempontok miatt, különböző alapanyagok esetében különböző módszerekkel manipulálhatunk (Öner és McCarthy, 2000).

Korábbi vizsgálatok (Gindl et al., 2006) rávilágítottak, hogy a napfény imitálására alkalmazott mesterséges öregítés (UV besugárzás, szakaszos, összesen 180 min) hatására a nedvesíthetőség növekszik bizonyos fafajok esetén. A jelenség magyarázata a fafelületeken, UV sugárzás hatására létrejövő abláció, amely a felületekről bizonyos – egyébként nedvesíthetőség-csökkentő hatással bíró – anyagok eltűnéséért felelős.

Kutatók (Kuo és Hu, 1991) fafelületek (sejtfal) hosszú idejű UV besugárzása hatására jelentős mennyiségű vízoldható bomlástermék jelenlétét mutatták ki, amely anyagok szintén hozzájárulhatnak a nedvesíthetőség minőségének változásához. Hon és munkatársai (1986) lombos fafajokon végzett természetes és mesterséges UV (higanygőz lámpa) besugárzás hatásainak vizsgálatokor megállapították, hogy UV sugárzás hatására oxidálódott fafelületeken új kromofór csoportok jelennek meg. Hasonló eredményre jutott Persze (2011) faanyagok felületén végbemenő fotodegradáció színváltozás vizsgálatokor, amely vizsgálati eredmények alapján megállapította, hogy a fafelületeken tapasztalható színváltozás kettős folyamat, amely során először a meglévő kromofór csoportok degradálódnak, majd ezt követően a lignin és az extrakt anyagok degradációját követő oxidáció során új kromofór csoportok keletkeznek.

A különböző nedvességtartalmú faanyagok fotodegradáció hatására másként viselkednek

nedvesítés szempontjából. Ezzel kapcsolatos vizsgálataik során Mihulja és társai (1999) megállapították, hogy magas nedvességtartalommal rendelkező faanyagok esetén, már rövid idejű fénybesugárzás hatására, felületi energia növekedés következhet be.

A fafelületeken végbemenő változások monitorozása nehézkes feladat. Ez elsősorban a nagyszámú tényezőnek, illetve azok apró módosulásainak hatására végbemenő jelentős változásoknak köszönhető. Fafelületek nedvesíthetőségének szempontjából, a fotodegradációt elszenvedett fafelületeken létrejövő változások megismerése és vizsgálata fontos feladat.

3.2.4. A nedvességtartalom befolyásoló hatása faanyagok nedvesíthetőségére

A faanyag anizotrop anyag, amelynek nedvesíthetősége (beleértve a felületen mérhető peremszöget) nagymértékben függ – egyéb más tényezők mellett – a faanyag nedvességtartalmától (Tomczak és Riedl, 2013).

Amikor a folyadék olyan porózus anyaggal érintkezik, mint a faanyag, és a peremszög 90° -nál alacsonyabb értéket mutat, a folyadék spontán penetrációja törvényszerű. Hasonlóképpen, a fafelület struktúrája a kapilláris erőkből eredményezheti a folyadékok felületi terülését (adszorpció). Szintén belátható, hogy amikor poláris folyadékok kerülnek közvetlen kapcsolatba a higroszkopikus faanyaggal, a folyadék diffúziója és a penetrációja a faanyagba szintén törvényszerűnek tekinthető (abszorpció). Ezek után a folyadékok adszorpciója a faanyag fiktív belső felületén dagadást okoz. Ezért egyértelmű, hogy a folyadék molekulái könnyedén mozognak a látszólagos folyadék-szilárd határfelületen keresztül, ezek miatt az ad- és abszorpciós folyamatok miatt. Ilyen esetekben direkt peremszög mérés nem lehetséges, mivel a csepp sohasem kerül nyugalmi állapotba, egészen addig, amíg a faanyag folyadékkal telített (Wälinder, 1999).

A faanyag higroszkopikus tulajdonsága miatt, a folyadékok nedvesítése tehát nagymértékben függ a nedvességtartalomtól. Az alacsonyabb nedvességtartalmú faanyagok nedvesíthetősége gyengébb (Rozumek és Elbez, 1985), azonban amennyiben a folyadék a faanyagot nedvesíti, a nedvesített területen a faanyag felületi struktúrája megváltozik (Scheikl és Dunky, 1998).

3.2.5. A vágásirány és a felületi érdesség felületi energiára gyakorolt hatása

Bizonyított, hogy a különböző faanyagok radiális és tangenciális felületeinek nedvesíthetősége közt szignifikáns különbség nem tapasztalható (Gray, 1962). Ezzel együtt, radiális, tangenciális és bütü metszetek nedvesítésének összehasonlításakor a legalacsonyabb peremszög érték bütü felületeken tapasztalható (Tomczak és Reidl, 2013). Azonos módon megmunkált radiális és tangenciális felületek érdessége közt sem tapasztalható szignifikáns különbség (Kilic et al., 2006).

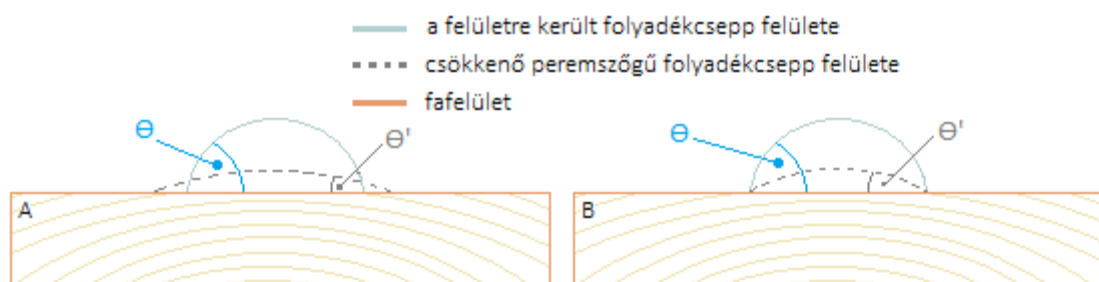
A faanyag komplex kompozit alapanyag, amelynek felülete érdes, heterogén és porózus (Gindl et al., 2001/a; Sandak és Negri, 2005). Különböző folyadékok peremszögéhez hasonlóan nem lehet egyetlen konstans értékkel jellemezni a fafelületek érdességét sem, mivel a homogén anyagokhoz képest a faanyag felülete szabálytalan, mely szabálytalanság nem pusztán a megmunkálásból, hanem a faanyag saját (és egyedi) szerkezeti felépítéséből is származik (Oliver et al., 1980; Gurau et al., 2013; Laina et al., 2017).

A faanyag felületének minősége jelentős befolyásoló hatással van

- a faanyagon mérhető peremszög értékére, ezzel együtt pedig a felületi energiára (Liptáková és Kúdela, 1994; Resnik és Sovinc, 2002),
- a nedvesíthetőségre (Kalnins et al., 1988; de Meijer et al., 2000),
- a különböző ragasztó- és felületkezelő anyagok terülésére és nedvesítésére, illetve a kialakuló adhézió mértékére és annak minőségére (Bogner et al., 1999 és 2002; Zhong et al., 2013).

A felületi érdesség és nedvesíthetőség összefüggéseivel elsőként Wenzel (1936) foglalkozott. Vizsgálatai alapján, szilárd felületek esetében azt az általános megállapítást tette, hogy amennyiben minden más a környezetre jellemző paraméter konstans, magasabb felületi energia érdesebb felületeken várható, illetve a megfelelő érdesség hiányában szilárd felületeken megfelelő nedvesítés nem következik be.

Kutatások alapján (Marian és Stumbo, 1962; Gindl et al., 2001/a; Rodríguez-Valverde et al., 2002; Rubina et al., 2009) a peremszög és ezzel együtt a felületi energia megismerése és megértése különösen bonyolult feladat olyan érdes, porózus és heterogén felületek esetében, mint a faanyag. Ilyen nem ideális felületek esetében nem lehet megállapítani egyetlen stabil és állandó peremszög értéket. Mivel a faanyag a stabil peremszög értékhez szükséges előfeltételek egyikével sem rendelkezik, emiatt a felületre cseppentett folyadéksepp peremszöge a mérések során, jól megfigyelhető módon folyamatosan csökken mindaddig, amíg teljes mértékben nem penetrálódik a faanyagba (River et al., 1991/a; Rubina et al., 2009). A folyadékok – beleértve a folyékony ragasztóanyagokat is – a felületre kerülésük után behatolnak a felületi repedésekbe, apró mélyedésekbe (érdesség), onnan képesek kiszorítani a jelenlévő levegőt és szennyeződéseket, ezt a folyamatot nevezzük nedvesítésnek (River et al., 1991/a). Faanyagok esetében két elkülöníthető nedvesítés-típus határozható meg (Scheikl és Dunky, 1998) (3. ábra).



3. ábra. A folyadékcsepp peremszögének csökkenése fafelületen

(Scheikl és Dunky, 1998 alapján)

(A: a folyadék a faanyag felületi rétegeiben szétterjed (nedvesítés), a nedvesített terület növekszik.

B: a folyadék a sejtüregekbe penetrálódik, a nedvesített felület nem, vagy csak csekély mértékben növekszik.)

(Θ [°]: a felületre ejtett folyadékcsepp peremszöge; Θ' [°]: a felületen szétterjedő, illetve a sejtüregekbe penetrálódó folyadék peremszöge)

Az érdesség és annak lokális változásai - amelyek a faanyag anatómiájával párhuzamosan módosulnak (Hendarto et al., 2006), nagy befolyással vannak a folyadékok peremszögére, valamint a felületi energiára. A peremszög befolyásolásában a felületi érdességen túl a felszíni nyitott edényeknek is jelentős szerepük van (Marian, 1963). Az érdességi paraméterek közti különbségek (a fafajok mellett) a faanyag textúrájával, illetve a textúrabeli különbségekkel is magyarázhatók (azonos megmunkálás mellett), emellett az alapanyagok edényeinek eloszlása (szórt- és gyűrűslikacsú fafajok) miatt is kialakulhatnak különbségek. Mindezekon túl ugyanazon fafaj, ugyanazon mintáján is mérhetők igazán nagy különbségek az edények eloszlása miatt, kifejezetten jellemző probléma ez nagyedényes fafajok (pl. tölgyek) esetében (Thoma et al., 2015).

Különböző módon megmunkált fafelületeken mérhető peremszögek között szignifikáns különbségek találhatóak (Kalnins et al., 1988). Különböző szemcsefinomságú csiszolóvászonnal csiszolt bükk és lucfenyő felületek morfológiai és kémiai változásainak vizsgálatai (érdességmérés, felületi szabad energia, röntgen-fotoelektron spektroszkópia) alapján, Sinn és társai (2004) arra a következtetésre jutottak, hogy a két fafaj hasonló módon viselkedik, illetve a kémiai változások nem egyenesen arányosak a csiszolószemcse mérettel, így tehát a felületi érdességgel sem.

Több fafajra (lucfenyő (*Picea abies* Karst.), vörösfenyő (*Larix decidua* Mill.), bükk (*Fagus sylvatica* L.) és tölgy (*Quercus robur* L.)) kibővített kutatási eredményeik alapján Gindl és társai (2001/b) megállapították, hogy mikrotommal készített felületek esetében magasabb peremszög érték mérhető, mint csiszolással megmunkált felületeken, alacsonyabb felületi energiát pedig minden fafaj tekintetében a csiszolt mintákon tapasztaltak.

A fafelületek érdességének hatásait vizsgálva, Sinn és társai (2004) megállapították, hogy a különböző szemcseméretű csiszolópapírral/csiszolóvászonnal végzett csiszolás nem csupán a felületek morfológiájában okoz változásokat, hanem a felületek saját kémiai

összetételében is, amely változások az alkalmazott szemcsemérettel és a sejtfal tönkremenetel milyenségével állnak kapcsolatban.

Korábbi kutatások alapján, különböző faanyagok esetében nem határozható meg konstans peremszög érték vagy akár peremszög-tartomány. Többnyire olyan nézet látszik kibontakozni, amely a faanyagokon mérhető magasabb felületi érdesség értékhez alacsonyabb peremszöget párosít, azaz magasabb fokú nedvesítést feltételez.

3.2.6. Faanyagok kémiai összetételének hatása a felületi energiára

A különböző fafajok közt, a sejtfalat felépítő kémiai építőelemek tekintetében, úgy, mint cellulóz, hemicellulózok és lignin nincs jelentős különbség, azonban az extrakt anyagok tekintetében már jelentős a minőség- és mennyiségbeli diverzitás. Alacsony, a fő kémiai alkotóelemek mennyiségéhez viszonyítva elhanyagolható mennyiségük ellenére azonban, az extrakt anyagok a különböző fafajok kémiai sajátosságai szempontjából nagy befolyással bírnak. Az extrakt anyagok a legfontosabb tényezői a faanyag színének, illatának és tartósságának, valamint a rostosítási, szárítási, adhéziós és higroszkopikus folyamatokra is hatással vannak (Umezawa, 2001). A kemény és lágy lombos faanyagok lignin tartalma között általánosan eltérés tapasztalható, amely alapján kemény lombos faanyagok esetében a lignin tartalom 18-25 % között, míg lágy lombos faanyagok esetén a lignin tartalom 25 és 35 % közötti (Rowell et al., 2005).

A magas fokú nedvesíthetőség a faanyag felületén jelen lévő különféle hidrofil komponenseknek (pl.: hemicellulózok) tulajdonítható (Young, 1976). Több kutató munkája alátámasztja, hogy a faanyagban és a fafelületeken jelen lévő extrakt anyagok a létrejövő adhéziót nagy mértékben befolyásolják (Young, 1976; Hse és Kuo, 1988; Kajita és Skaar, 1992; Wålinder és Gardner, 2002/a; Visiné Rajczi, 2008).

Fenyőfélék esetében az extrakt anyagok a gyantacsatornáknak találhatók meg, amelyek a felületi megmunkálás során a felszínre kerülnek, így módosítva a felületi energiát. A frissen megmunkált felületekre valószínűsíthetően szintén kerül extrakt anyag, egyfajta inaktivitást létrehozva azon (Bach, 1991; Nussbaum, 1996 és 1999).

Ismert tény, hogy a frissen megmunkált fafelületek sokkal jobban nedvesíthetők (Kajita és Skaar, 1992; Jirouš-Rajković et al., 2007). A felületeken lévő magas extrakt anyag koncentráció azonban fizikai akadályt jelent, amely meggátolja a ragasztóanyag és a fafelületek közt létrejövő kötések kialakulását. Egy ilyen extrakt anyag réteg a felületi energiát és a nedvesítés mértékét csökkenti, és gyengíti a ragasztóanyag faanyagba történő penetrációját (River et al., 1991/b). A járulékos anyagok eltávolításával azonban a nedvesíthetőség javítható (Chen, 1970). Bizonyos esetekben (elsősorban megmunkálásból adódóan) extrakt anyagok kerülnek a faanyag felszínére, ezzel gátolva a megfelelő ragasztási minőséget. Ezek a felszínre került molekulák a nedvesítés

csökkenését okozzák, habár az jelenleg sem tisztázott, hogy ezek az anyagok minden esetben felelőssé tehető-e az esetlegesen előforduló, gyenge minőségű ragasztási szilárdságért (Frihart, 2005/a), mivel a tapadás minősége és az extrakt anyagok mennyisége közt egyértelmű korreláció - bizonyos kutatások alapján - nem áll fenn (Nussbaum, 2001).

A fellelhető szakirodalom alapján a magasabb extrakt anyag és lignin tartalommal rendelkező faanyagokon mérhető peremszög értéke mindig magasabb, mint az alacsonyabb extrakt anyag és lignin tartalommal rendelkező faanyagokon mérhető érték (Jaić et al. 1996; Gindl et al. 2001; Mantanis and Young 1997). A faanyag százalékos extrakt anyag tartalma fordított arányban van a nedvesíthetőséggel (Nguyen és Johns, 1979/b). A faanyag különböző részei kémiai és szerkezeti összetettségükből adódóan különböző módon és minőségben nedvesíthetők, jellemzően a járulékos anyagok mennyiségi növekedésével ellentétesen (White et al., 1974). Meg kell azonban jegyeznünk, hogy egyazon faegyed különböző törzsmagasságból vett mintái esetén a járulékos anyagok mennyiségében jelentős különbségek fedezhetők fel (Syofuna et al., 2012), amely különbségek felületi energia tekintetében akár 40%-os eltéréseket is okozhatnak, ezzel nehezítve megfelelő következtetések levonását (Rossi et al., 2012).

Faanyagok esetében, a hidrofób karakter erősödése elsősorban a fenolos anyagokkal állhat összefüggésben (Trapp et al., 2001). A fenolos anyagok kioldódása a felületi struktúra eredménye is, amely elsősorban folyadékkal vagy folyadékokkal való érintkezéskor juthat szerephez (Ramirez-Ramirez et al., 2001; Salame és Bandosz, 2003; Ayadi, 2004; Anjos et al., 2011).

A különböző faanyagok, így tehát különböző járulékos anyag mennyiséggel (és minőséggel) rendelkező faanyagok, eltérő viselkedésére kiváló példát ad kínai kutatók vizsgálati eredménye, amely során azonos megmunkáláson átesett vörösfenyő, tölgy és nyír fafelületeken végzett peremszög mérések eredményeként a legmagasabb értéket (különböző tesztfolyadékkal végzett vizsgálatok során) nyír faanyag esetében mérték, amely a három vizsgálati fafaj közül a legalacsonyabb járulékos anyag tartalommal bír (Riuxiang és Jiyou, 2002). Meg kell azonban jegyeznünk, hogy a járulékos anyagok mellett a lignin is szerepet játszhat az esetleges hidrofób jelleg növekedésében, mivel a cellulóztól és hemicellulózoktól eltérően hidrofób tulajdonsággal rendelkezik (Wiedenhoeft és Miller, 2005), a faanyagban történő víztovábbításban betöltött szerepének megfelelően (Campbell és Sederoff, 1996; Koch et al., 2004). A lignin oxidációra nagyon érzékeny anyag, amelynek szerkezetében pusztán tárolás (hosszú távú) során levegővel való érintkezése miatt változások játszódhatnak le (Borgin et al., 1975).

A faanyag öregítése és öregedése során hidrofób tulajdonságú extrakt anyagok kerülnek a faanyag felületére, amelyek a felületi energia csökkenését okozzák (Wolkenhauer et al., 2009). Hőkezelés hatására a faanyagban a fenolos anyagok mennyiségének növekedése (Ayadi et al., 2003), valamint a faanyag hidrofób jellegének erősödése figyelhető meg (Petrič et al., 2009). Szárítás és/vagy hőkezelés során a faanyag bizonyos – elsősorban

vízben oldódó – extrakt anyagai a fafelületre migrálnak, majd a víztranszport végeztével a felületen visszamaradnak, így nehezítve a ragasztási és felületkezelési műveleteket (Hse és Kuo, 1988; Gardner et al., 2016).

A faanyag kémiai alkotórészei közül a járulékos anyagok aránya fafajonként változó, és bár rendre alacsony mértékű (csupán néhány százalék a tömeg arányában), ezek szerepe a különböző környezeti hatásokkal szemben való ellenállásban, illetve az azokra küldött válaszreakciókban igen hangsúlyos. A járulékos anyagok, illetve azok időbeni változásának felületi energiára gyakorolt hatása hiányosan feltárt területnek számít a faanyagok felületi változásaival, megmunkálásával és tovább-feldolgozásával foglalkozó tudományágban.

3.3. Különböző fafelületek infravörös spektroszkópiás vizsgálata

A Fourier transzformáció hasznos matematikai eszköz, amelyet a tudomány különböző területein sikerrel alkalmaznak (Csóka et al., 2005). A Fourier transzformációs infravörös spektroszkópiás vizsgálatok faanyagok esetében elsősorban, a faanyagok különböző eljárások vagy hatások miatt létrejött színváltozásának, illetve kémiai változásainak monitorozására alkalmazott módszer.

3.3.1. Az Fourier transzformációs infravörös spektroszkópia (FTIR) alkalmazási lehetőségei faanyagok esetében

Az FTIR technika jól alkalmazható a fafelületek változásainak felderítésére (Hon, 1994; Schwanninger et al., 2004, Tolvaj, 2005), mivel a korábbi vizsgálati módszerekkel ellentétben, egyszerűbben készíthetők vizsgálati minták, amelyek segítségével pontos információkat kaphatunk a mért spektrum megfelelő kiértékeléséhez (Preklet, 2006). A kezelt és kezeletlen faanyagok (fafelületek) összehasonlító vizsgálata FTIR analízis segítségével hasznos információkat szolgáltat a faanyag fő alkotórészeinek, valamint azok kémiai változásainak tekintetében (Tjeerdsma és Militz, 2005), azonban a változások, amennyiben azok igen csekély mértékűek, nehezen azonosíthatók FTIR módszerrel (Timar et al., 2016).

Az FTIR technológia gyakran alkalmazott faanyagok összetevőinek mennyiségi és minőségi vizsgálatára, mivel információt képes nyújtani a funkciós csoportokról, azok összetételéről és alakulásáról különböző, elsősorban vegyszeres-, hő- vagy egyéb kezelések esetén (Nuopponen et al., 2004; Esteves et al., 2013; Jusoh et al., 2012), illetve védőszeres kezelések határfokáról (Capobianco et al., 2016). Ezen túl segítségével nyomon követhetők a faanyag fő összetevőinek (cellulóz, hemicellulózok és lignin) változásai hőkezelési eljárások hatására (Colom et al., 2003; Pandey és Pitman, 2003; Jusoh et al., 2012; Capobianco et al., 2016; Özgenç et al., 2016).

FTIR vizsgálatok segítségével megbízhatóan nyomon követhető a lignin mennyiségi változása (Rodrigues et al., 1998), továbbá a lignin jellemző csúcsának (1510 cm^{-1} hullámszám környékén) helyzetéből, akár konkrét fafaj meghatározás is lehetséges (Barker és Owen, 1999).

Magas szerves extrakt anyag tartalommal rendelkező faanyagok esetében, FTIR spektroszkópiás vizsgálatok során, magasabb értékek detektálhatók 1505 cm^{-1} hullámszám környékén. A magasabb érték magyarázata a fenolos extrakt anyagok jelenléte, amely az e hullámszámhoz tartozó abszorpciós helyen detektálható. Az 1505 cm^{-1} hullámszám környéke a lignin szerkezetében bekövetkező változások érzékelésére alkalmas (Pandey, 2005/a).

Barker és Owen 1999-ben végzett kutatása alapján, különböző, fenyő és lombos faanyagok diffúz reflexiós spektrumai közt jelentős különbségek találhatók (10 -tól akár 50 cm^{-1}). Jó példát mutat erre a lignin jellemző csúcsa 1505 - 1515 cm^{-1} között. Fenyő faanyagok esetében ez az abszorpciós csúcs jellemzően 1510 cm^{-1} felett (Barker és Owen, 1999), míg lombos faanyagok esetében többnyire 1510 cm^{-1} alatt detektálható, kutatások alapján, elsősorban a lignin eltérő felépítéséből adódóan (Pandey, 2005/b).

A különböző faanyagok esetében tapasztalható spektrumok közti különbségek szemléltetését (2. táblázat) végezte el Tolvaj és Faix (1995), amely adatok alapján jól érzékelhetők a fenyő, illetve lombos faanyagok között tapasztalható eltérések.

2. táblázat Különböző IR sávok elhelyezkedése különböző fajták esetében (forrás: Tolvaj és Faix, 1995)

Lucfenyő	Erdeifenyő	Vörösfenyő	Nyár	Akác	Azonosított módosulás
3468	3464	3476	3499	3462	OH nyújtás
2929	-	2932	2937	-	CH, CH ₂ nyújtás (aszimm.)
2905	2904	2904	2908	2904	CH, CH ₂ nyújtás (szimm.)
1740	1741	1740	1749	1741	CO nyújtás a nemkonjugált keton-, acetil-, karboxil csoportoknál
1662	1662	1655	1665	1655	H ₂ O, CO nyújtás a konjugált rendszerekben
1598	1598	1599	1599	1597	aromás vázrezgés CO nyújtással
1510	1509	1510	1507	1506	aromás vázrezgés
1457	1457	1457	1465	1461	C-H deformáció (aszimm.)
1427	1426	1427	1428	1426	C-H deformáció (aszimm.)
1373	1373	1372	1380	1372	C-H deformáció (szimm.)
-	-	1333	1337	1334	C-H deformáció, C-OH nyújtás (sziringil gyűrű) (lignin)
1319	1319	-	-	-	C-H deformáció, CH ₂ módosulás
1275	1274	1278	1273	1274	gvajacil gyűrű rezgés CO nyújtással
1237	1238	1238	-	1244	OH hajlítás (acetil xilánokban)
1170	1167	1174	1172	1171	C-O-C nyújtás (aszimm.)
1132	1132	1134	1137	1136	C-O-C nyújtás (szimm.), C-H deformáció, glükóz gyűrű rezgés
898	898	898	900	898	C-H deformáció cellulózban
<800	<800	<800	<800	<800	pirán gyűrű rezgés

3.3.2. Faanyagok FTIR vizsgálatai, különös tekintettel a fotodegradáció hatására bekövetkező változásokra

Más természetes polimerhez hasonlóan, a faanyag bizonyos összetevői (lignin és polifenolok) elnyelik az UV sugárzást, amely hatására a faanyag fotolitikus, foto-oxidatív és termo-oxidatív reakciókon megy keresztül, amely reakciók a fény hatására bekövetkező degradáció egy részéért felelősek (Müller et al., 2003). A lignin jó fényelnyelő tulajdonságának oka a nagy mennyiségben jelenlévő kromofór csoportokban rejlik. A faanyagban jelenlévő cellulóz és hemicellulózok (szénhidrátok) csak kis mennyiségben tartalmaznak kromofór csoportokat, emiatt a fényt jóval kisebb mértékben abszorbeálják, így csak kisebb mértékben érzékenyek a fotodegradációra (Zbrowska et al., 2014).

A fotodegradációra legérzékenyebb faanyagot felépítő polimer a lignin. A lignin fotodegradáció hatására bekövetkező bomlásakor keletkező gyökök a további fotodegradációs hatásoktól védik a lignint, ezzel együtt pedig a faanyag komplex rendszerét (Németh, 1998). A lombos és fenyő fajok között, a lignint felépítő komponensek tekintetében jelentős különbség található. Colom és munkatársai (2003), és Ábel (2016) szerint, a lombos faanyagok esetében a lignint gvajacil és sziringil egységek építik fel, fenyők esetében szinte kizárólag gvajacil egységekről beszélhetünk, a sziringil lignin aránya elenyésző. Lombos faanyagok esetében a sziringil egységek a degradációra hajlamos építőelemek (Borgin et al., 1975; Tolvaj, 2013), amelyek abszorpciós sávja 1600 cm^{-1} hullámszám környékén található.

A lignin mellett, a fotodegradáció hatására bekövetkező leglátványosabb (szemmel érzékelhető) változásokat a faanyagban jelenlévő járulékos anyagok fotodegradációja okozza. Mivel a színváltozás a leggyakrabban vizsgált fotodegradáció hatására létrejövő módosulás, az FTIR vizsgálatokat gyakran a színkomponensek változásainak vizsgálatával párhuzamosan alkalmazzák. Fotodegradáció hatására, bizonyos faanyagok (pl.: akác) esetében, a magasabb járulékos anyag tartalomnak köszönhetően, kisebb mértékű degradáció fedezhető fel a faanyagot felépítő fő kémiai összetevőket tekintve (lignin aromás gyűrűjének degradációja) (Tolvaj és Varga, 2012). Ennek magyarázata, hogy a járulékos anyagok jellemzően jó fényelnyelő tulajdonsággal rendelkeznek (Pandey, 2005/a; Pandey, 2005/b), így védelmezve a faanyag fő komponenseit (Tolvaj és Varga, 2012).

Mesterségesen öregített (xenon izzó; 1, 5, 10, 25, 50 és 100 h besugárzási idő) faanyagon végzett FTIR vizsgálatok alapján Stachowiak-Wencek és társai (2015) megállapították, hogy a fotodegradáció, a hatására létrejövő színváltozással párhuzamosan, erdeifenyő faanyag (*Pinus sylvestris* L.) esetében, a szerkezeti összetevőkben kisebb változásokat okoz, amely változás lignin esetében a létrejövő új karbonil csoportok megjelenésével nyomonkövethető (1735 cm^{-1}).

1509 cm^{-1} hullámszámhoz tartozó abszorpciós spektrumokban jelentős intenzitás különbségek (csökkenés) fedezhető fel fotodegradáció hatására, mivel az ehhez a

hullámszámhoz tartozó sáv a ligninre jellemző felépítő egységek (benzol-gyűrű) módosulásáról adhat információt, azaz a fotodegradáció által érintett lignin degradációjáról (Rosu et al., 2010).

Az 1734 cm^{-1} , 1375 cm^{-1} , 1158 cm^{-1} és 898 cm^{-1} hullámszámoknál található, főként a szénhidrátok deformációjából származó, a lignin degradációjától kevésbé függő csúcsok esetében a fénybesugárzás kezdeti szakaszában nem tapasztalható jelentősnek mondható változás (Pandey, 2005/a).

Fotodegradáció hatására, néhány ligninhez köthető csúcs (1509 , 1465 és 1425 cm^{-1}) intenzitásának csökkenése tapasztalható, amelyekhez 1734 és 1650 cm^{-1} hullámszámnál szignifikáns intenzitás növekedés párosul (Pandey, 2005/a). Ennek magyarázata Pandey (2005/b) szerint, hogy az 1734 cm^{-1} hullámszámnál detektálható nem-konjugált karbonilcsoportok és az 1506 cm^{-1} és 1511 cm^{-1} hullámszám között található sávok eredete egyaránt a lignin aromás gyűrűjében keresendő.

Fenyő (*Pinus roxburghii*) és lombos (*Hevea brasiliensis*) faanyagok mesterséges öregítés (xenon izzó, 700h) hatására lezajló változásait vizsgálta Pandey (2005/b). Megállapította, hogy a vizsgálat felfelületek esetében, – hasonlóan Wang és társai (2009) eredményeihez - az 1506 cm^{-1} és 1511 cm^{-1} hullámszámok közti és az 1462 cm^{-1} és az 1425 cm^{-1} hullámszámnál jelentkező sávok esetében jelentős mértékű abszorbancia intenzitás csökkenés tapasztalható fotodegradáció hatására, amelyhez 1734 cm^{-1} hullámszámhoz tartozó abszorbancia sávban intenzív növekedés párosul. A legnagyobb mértékű változást a már említett 1506 cm^{-1} és 1511 cm^{-1} hullámszámok közt tapasztalta, amely eredmény alapján a ligninben található aromás gyűrű változására következtetett, azonban az ebben a sávban tapasztalható változás a besugárzás első néhány órájában lelassult, amely eredmény alapján megállapította, hogy a vizsgált felületeken a lignin bomlása már a besugárzás első néhány óra alatt megtörténik. A lignin bomlását szemléltető sávok intenzív változását követte az 1734 cm^{-1} sáv intenzív változása (új karbonil abszorpció), amely eredményből szintén a felületek foto-oxidációjára következtetett. Részben hasonló eredményekről számoltak be Müller és társai (2003), akik mesterségesen öregített (xenon izzó) lucfenyő (*Picea excelsa* L.) faanyag vizsgálatának eredményeként 1730 cm^{-1} hullámszámnál szignifikáns abszorbancia növekedést, míg 1510 cm^{-1} hullámszámnál jelentős mértékű abszorbancia csökkenést tapasztaltak.

Hasonló vizsgálataik során, Wang és társai (2009) fenyő faanyagon vizsgálták (*Cunninghamia lanceolata*) mesterséges xenon izzós besugárzás (80h) hatásait, FTIR spektroszkópia segítségével. Megállapították, hogy a 80h-s besugárzás hatására a 1512 cm^{-1} , 1462 cm^{-1} , 1269 cm^{-1} és 1227 cm^{-1} hullámszámoknál jelentős mértékű abszorbancia csökkenés tapasztalható, amelyhez az 1735 cm^{-1} és 1720 cm^{-1} hullámszámok közti régióban abszorbancia intenzitás növekedés párosul. Megállapították továbbá, hogy a 80h időtartamú besugárzás idején, az intenzív változások javarészt a fotodegradációra érzékeny lignin változásaiból adódhatnak (új karbonil-csoportok (C=O) kialakulás), amely változások további besugárzás esetén már nem detektálhatók (jelentős abszorbancia intenzitás növekedés, vagy csökkenés).

Fenyő faanyag (*Abies alba*) fotodegradáció (200h mesterséges fénybesugárzás) hatására bekövetkező változásainak FTIR vizsgálatakor, 3300 cm^{-1} és 3000 cm^{-1} hullámszám között, illetve 1729 cm^{-1} , 1627 cm^{-1} , 1431 cm^{-1} , 1313 cm^{-1} , 1238 cm^{-1} , 1107 cm^{-1} és 1056 cm^{-1} hullámszámoknál jelentős abszorbancia csökkenés tapasztalható, amely változás a lignin oxidációjával állhat összefüggésben (Rosu et al., 2010).

Tölgy faanyag (*Quercus cerris* L.) mesterséges sugárzás (UV-C) hatására bekövetkező változásainak vizsgálata alapján, Todaro és társai (2014) 1735 cm^{-1} (karbonil csoportok, ketonok és észterek), 1597 cm^{-1} , 1552 cm^{-1} és 1513 cm^{-1} (aromás váz rezgések), valamint 1468 cm^{-1} (C-H deformációk) hullámszámoknál bekövetkező változásokról számoltak be.

Tolvaj és Faix (1995) UV sugárzás (higanygőz lámpa; 5, 10, 17, 25, 35, 50, 70, 100 és 200h besugárzási idő) hatásait vizsgálták lucfenyő (*Picea abies*), erdeifenyő (*Pinus sylvestris*), vörösfenyő (*Larix decidua*), nyár (*Populus euramericana*), illetve akác (*Robinia pseudoacacia*) fafajokon. Diffúz reflexiós infravörös Fourier transzformációs vizsgálataik alapján a következő megállapításokat tették:

- 3500 cm^{-1} és 3200 cm^{-1} hullámszámoknál (utóbbinál kevésbé intenzíven) az OH csoportok csökkenése tapasztalható,
- 1900 cm^{-1} és 1690 cm^{-1} között a karbonil csoportokhoz tartozó sáv növekvő tendenciát mutat, illetve szélesedik,
- az UV sugárzás az 1900 cm^{-1} és 1300 cm^{-1} közti spektrális tartományt intenzíven befolyásolja,
- 1763 cm^{-1} (karboxil csoportok), illetve 1710-1700 cm^{-1} (CO nyújtás, funkciós csoportok) hullámszámokhoz tartozó sávokban (CO nyújtás, karbonil tartomány) intenzitásnövekedés tapasztalható,
- az 1710 és 1700 cm^{-1} hullámszámok között bekövetkező változások a konjugált csoportoktól származnak, illetve a CO nyújtásból és rezgésből, valamint (kinon) karbonil csoportok módosulásaiból, amelyek egyébként 1690 és 1600 cm^{-1} között detektálhatók, azonban ezekben a sávokban fenyőknél minimális változások, lombos fafajok esetében pedig kismértékű intenzitás csökkenés figyelhető meg (ez utóbbiak azonban nem jelentik a kinonok vagy konjugált CO kötések hiányát),
- lombosok esetében, az 1600 cm^{-1} hullámszámhoz tartozó sávban (aromás váz rezgése CO nyújtással) (sziringil lignin) intenzitás csökkenés tapasztalható,
- 1515 és 1510 cm^{-1} között az aromás váz rezgésében csökkenés tapasztalható, amely a 1276 cm^{-1} sávban tapasztalható gvajacil csoportok (lignin) rezgéseivel áll összefüggésben,
- 1200 és 1100 cm^{-1} sávban (C-O-C, C-O-H) bekövetkező intenzitás csökkenés az OH csoportok kvantitatív csökkenésére utal, amely az UV sugárzás hatására bekövetkező nedvességtartalom csökkenéssel áll kapcsolatban,

- valamint az 1100 cm^{-1} hullámszám alatti sávok (C-O-C nyújtás poliszacharidokban) az UV sugárzás hatására a fa felületén megsemmisülő aromás szerkezetek mennyiségi csökkenésével párhuzamosan, a nem-aromás vegyületek koncentrációjának relatív növekedését jelzik.

Megjegyzik továbbá, hogy a 3500 cm^{-1} és 3200 cm^{-1} sávoknál detektálható OH csoportok csökkenése, az UV sugárzás hatására létrejövő száradás, azaz a faanyag kapillárisaiból eltávozó víz hatására következik be, illetve az IR spektrumban detektálható OH csoport régiók nagyobb részben a cellulózból és hemicellulózokból származó OH csoportokat jelölik.

Kutatók által korábban azonosított sávokat mutat be a 3.1. és 3.2. táblázat.

A faanyagok fotodegradációjával kapcsolatos FTIR vizsgálatok a faanyagon végbemenő változások egy része már azonosítottak tekinthető, érdekes kérdéseket tartogat azonban más típusú vizsgálati eredményekkel való összevetésük, amelyekkel a fotodegradáció hatására bekövetkező változások még pontosabb megértése valósulhat meg.

3./1. táblázat A faanyag színképében azonosított sávok, illetve kémiai csoportok

Hullámszám [cm ⁻¹]	Kémiai csoportok	Forrás
3499	OH nyújtás	Tolvaj, 2013
3373	O-H nyújtás (hidrogén kötés)	Rosu et al., 2010
2937	CH, CH ₂ nyújtás (aszimmetrikus)	Tolvaj, 2013
2919-2890	C-H nyújtás, rezgés metil és metilén csoportokban	Preklet, 2006; Rosu et al., 2010
2908	CH, CH ₂ csoportok nyújtása (szimmetrikus)	Preklet, 2006; Tolvaj, 2013
1749-1740	C=O kötések nyújtása a nem konjugált keton-, acetil- és karboxil-csoportoknál	Colom et al., 2003; Preklet, 2006; Tolvaj, 2013
1745-1734	C=O kötések nyújtása a nem konjugált keton-, acetil- és karboxil-csoportoknál (hemicellulózok (xilánok) és lignin)	Tolvaj és Faix 1995; Colom et al., 2003; Pandey, 2005/b; Preklet, 2006
1740	karbonil csoportok	Stachowiak-Wencek és társai, 2015; Barker és Owen, 1999
1730	C=O kötések nyújtása a nem konjugált keton-, acetil- és karboxil-csoportoknál (hemicellulózok és lignin)	Preklet, 2006; Rosu et al., 2010
1665	H ₂ O, C=O kötések nyújtása a konjugált rendszerekben (lignin)	Preklet, 2006; Tolvaj, 2013
1655-1643	C=O nyújtás nemkonjugált rendszerekben	Colom et al. 2003
1653	C=O nyújtás nemkonjugált rendszerekben vagy aromás ketonokban	Rosu et al., 2010
1610-1597	C=C aromás gyűrű rezgés, aromás vázrezgés (lignin) C=O nyújtással	Tolvaj és Faix, 1995; Colom et al., 2003; Papp et al., 2005/b; Tolvaj, 2013; Todaro et al., 2014
1604-1574	C=C aromás gyűrű rezgés, aromás vázrezgés (lignin)	Rosu et al., 2010, Capobianco et al., 2016
1513-1506	C=C aromás gyűrű rezgés, aromás vázrezgés (lignin)	Barker és Owen, 1999; Pandey, 2005/b; Rosu et al., 2010; Tolvaj, 2013; Capobianco et al., 2016
1509-1505	aromás vázrezgés (C=C, lignin)	Faix és Böttcher, 1992; Pandey, 2005/a; Colom et al. 2003; Preklet, 2006

3./2. táblázat A faanyag színképében azonosított sávok, illetve kémiai csoportok

Hullámszám [cm ⁻¹]	Kémiai csoportok	Forrás
1468-1465	C-H deformáció (aszimmetrikus) (lignin) (metil- és metilén-csoportok)	Colom et al., 2003; Rosu et al., Pandey, 2005/b; 2010; Tolvaj, 2013; Capobianco et al., 2016
1430-1426	C-H deformáció (aszimmetrikus) (cellulóz)	Colom et al., 2003; Pandey, 2005/b; Tolvaj, 2013
1421	C-H nyújtás, rezgés, aromás vázrezgés (cellulóz)	Preklet, 2006; Rosu et al., 2010
1380-1375	C-H deformáció (szimmetrikus)	Pandey, 2005/a; Tolvaj, 2013
1371	C-H deformáció (szimmetrikus), O-H nyújtás, vázrezgés fenolokban (lignin)	Rosu et al., 2010
1337-1335	C-H deformáció, C-OH nyújtás, OH hajlítás (cellulóz)	Colom et al., 2003; Tolvaj, 2013
1273-1261	gvajacil gyűrűrezgés CO nyújtással (lignin)	Rosu et al., 2010; Tolvaj, 2013
1230	OH hajlítás, acetyl csoportok (xilánok), gvajacil gyűrű rezgés	Colom et al. 2003; Preklet, 2006
1173-1170	C-O-C nyújtás (aszimmetrikus, cellulóz)	Colom et al. 2003; Tolvaj, 2013
1162-1153	C-O-C nyújtás (aszimmetrikus, cellulóz)	Rosu et al., 2010; Colom et al., 2003
1137	C-O-C nyújtás (szimmetrikus), aromás gyűrűhöz kapcsolódó CH csoportok	Preklet, 2006; Tolvaj, 2013
1128-1120	C-O-C nyújtás (szimmetrikus)	Tolvaj és Faix, 1995
1024	C-H deformáció (aromás), C-O nyújtás (szimmetrikus)	Rosu et al., 2010
898-900	C-H deformációk a cellulóz glükóz egységében	Faix és Böttcher, 1992; Pandey, 2005; Preklet, 2006; Tolvaj, 2013

3.4. Faanyagok fenol és cukor tartalom vizsgálatai, különös tekintettel degradációs hatásokra, mint lehetséges befolyásoló tényezőkre

Eltérő vizsgálati metódusokat alkalmazva, különböző helyről származó faanyagok, illetve akár ugyanazon faegyed különböző törzsrészből vett minták összetevőinek vizsgálatok nagymértékű különbségek tapasztalhatóak. A totál-fenol és cukor tartalom vizsgálatok, azonos minták különböző kezelésekre hatására, illetve degradációs hatásokra végbemenő változásainak összehasonlító vizsgálatára alkalmasak (Cabrita et al., 2011).

3.4.1. Totál-fenol tartalom vizsgálatok alkalmazása faanyagok esetében

A totál-fenol tartalom vizsgálata a faanyag fő összetevői közül a lignin módosulásairól, illetve a járulékos anyagok egy részének változásáról ad információt. A lignin, mint fotodegradációra érzékeny anyag, fény és sugárzás hatására bomlik. Esetében polifenolokból kisebb fenolos egységek, egyszerű fenol vegyületek keletkeznek (depolymerizáció), amely egységek kvalitatív vizsgálatát végezhetjük el totál-fenol tartalom vizsgálattal.

Faanyagok totál-fenol tartalmának vizsgálatai elsősorban élelmiszeripari kutatások során jutnak szerephez, a különböző élelmiszerek – régóta sikerrel alkalmazott – tölgyfahordós érlelése okán (Tefaye et al., 2002; Daudt és Fogaça, 2013). Korábbi kutatások a fák, illetve fás szárú növények növekedése közben, a fenolos anyagok mennyiségében bekövetkező változások monitorozására alkalmaztak totál-fenol vizsgálatot (Viriot et al., 1994; Kähkönen et al., 1999; Vek és Oven, 2010). Faipari szempontból, a faanyagok különböző kezelésekre, tárolás, esetleg felületkezeléssel kapcsolatos színváltozásainak vizsgálatok juthat szerephez a fenolos anyagok kvalitatív és kvantitatív elemzése.

Dió faanyag (*Juglans nigra* 23 x *Juglans regia*) hőkezelés hatására bekövetkező színváltozásának és fenol tartalom változásának vizsgálatakor, Burtin és társai (1998 és 2000) megállapították, hogy a színváltozás okozói elsősorban degradáció (hő) hatására létrejövő gallusz- és ellagsav származékok.

Különböző faanyagok esetében, modifikációs eljárás hatására bekövetkező kémiai változások (pl.: totál-fenol tartalom) a fizikai (pl.: hajlítószilárdság) és technológiai paramétereket eltérő módon befolyásolják (Niemz et al., 2010). Modifikációs eljárások hatására az extrahálható vegyületek mennyiségében növekedés tapasztalható, amely növekedés a lignint felépítő gvajacil és sziringil egységek arányának megváltozásából fakad (a különböző egységek degradáció hatására bekövetkező változásai és bomlástermékei miatt) (Sarni et al., 1990).

3.4.2. Összes kioldható szénhidrát tartalom vizsgálatok faanyagok esetében

Az összes kioldható cukor tartalom vizsgálat segítségével a faanyag másik két fő építőelem csoportjával (cellulóz és hemicellulózok) kapcsolatban kaphatunk tájékoztatást, bár a cellulóz csak igen kis mértékben degradálódik napfény és UV sugárzás hatására. Hasonlóan a totál-fenol tartalom vizsgálatokhoz, a degradáció hatására bomlást elszenvedő alkotórészekből keletkező új szacharid egységek mennyiségi vizsgálatát végezhetjük el ily módon.

Érdemes megjegyeznünk, hogy alacsonyabb sűrűségű faanyagok esetében, az összes cukor tartalom értékek általában jelentősebb különbségeket mutatnak totál-fenol tartalom vizsgálati eredményekhez képest, emiatt különböző alacsony- és magas sűrűségű értékkel bíró faanyagok összehasonlító kémiai analízise során, célszerű mindkét vizsgálat sorozat elvégzése (Loureiro da Seca és Domingues, 2006).

Az összes kioldható szénhidrát tartalom vizsgálata faanyagok esetében elsősorban gombakárosítókkal szemben tanúsított ellenállás vizsgálatokor alkalmazott mérési módszer (Pandey és Pitman, 2003). A korhasztó gombák enzim rendszerük segítségével a poliszacharidok (cellulóz, hemicellulózok) bontását végzik. A fentiek miatt, ez a vizsgálati módszer jó támpontot adhat a gombakárosítás mértékéről faanyagok, vagy más növényi alapanyagok esetében. Természetes hő- vagy fotodegradációval foglalkozó kutatások ritkán foglalkoznak cukor tartalom vizsgálattal, főként a faanyag esetében nehezen kivitelezhető minta előkészítés miatt.

Hőkezelt faanyagok (fenyő (*Pinus banksiana*), nyár (*Populus tremuloides*) és nyír (*Betula papyrifera*)) kültéri kitettség vizsgálatokor Kocaefe és társai (2012) megállapították, hogy a vizsgált fafelületek lignin tartalma jelentősen csökkent, ezzel együtt pedig a szénhidrát tartalom növekedett (arányosan), azaz a felületi rétegek cellulóztartalma fokozódott.

Faanyagokon végzett fenol tartalom vizsgálatok elsősorban hő- vagy vegyszeres kezelések hatására bekövetkező degradációval foglalkoznak, fotodegradációval kapcsolatban jelenleg igen csekély számban áll rendelkezésre megfelelő szakirodalom.

A fotodegradációt elszenvedett fafelületek szénhidrát,- és totál-fenol tartalmának vizsgálata hiányosan feltárt terület, melynek magyarázata elsősorban a nehézkes minta előkészítés, illetve más mérési módszer preferálása lehet.

4. Vizsgálati anyagok és módszerek

Jelen disszertációban különböző mintatestek felhasználásával, többféle vizsgálsorozat elvégzésére került sor, amelyek a következők voltak:

- különböző csiszolópapírral csiszolt fafelületek: érdességmérés, peremszög mérés (desztillált vízzel), SEM felvételek,
- természetes beltéri öregítésnek alávetett mintatestek: peremszög mérés (desztillált vízzel),
- mesterségesen öregített mintatestek: peremszög mérés (desztillált vízzel és dijódmétánnal), nedvességtartalom vizsgálat, totál-fenol és összes kioldható szénhidrát tartalom meghatározás, illetve FTIR vizsgálat.

4.1. A vizsgálatok során alkalmazott faanyagok, illetve azok tulajdonságai

A különböző vizsgálatok kivitelezéséhez négy fafajt alkalmaztam, melyek kiválasztásakor fontos szempont volt, hogy szórt- és gyűrűslikacsú, illetve fenyő faj is legyen a vizsgált fafajok közt.

Ennek megfelelően a négy, különböző vizsgálatoknak alávetett fafaj a következő volt:

- bükk (*Fagus sylvatica* L.),
- nyír (*Betula pendula*),
- kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*), illetve
- lucfenyő (*Picea abies*).

A vizsgálatok kivitelezésekor bükk faanyag esetében álgeszt-mentes alapanyagot alkalmaztam, az álgeszt hatására bekövetkező kémiai különbségek okozta problémák (Agresti et al., 2013) kiküszöbölése érdekében, lucfenyő faanyag felhasználásakor pedig kékülés mentes faanyag került kiválasztásra.

A különböző mérésekhez használt mintatestek mindegyike göcsmentes, homogén évgyűrű szerkezetű és repedésmentes faanyagból került kialakításra. A felsorolt fahibáktól mentes faanyagok alkalmazásával a faanyag különböző hibákból eredő, peremszöget befolyásoló problémák kizárása valósult meg.

A vizsgálatok során alkalmazott fa alapanyagok minden fafaj és vizsgálat esetében radiális felületűek voltak.

A vizsgálatok során alkalmazott faanyagok nedvességtartalma, a különböző mérésorozatok megkezdését (érdességfüggés, természetes beltéri és mesterséges öregítés) megelőzően meghatározásra került (7. táblázat).

4.2. Különböző érdességű faanyagok vizsgálata, különös tekintettel a nedvesíthetőségre

A különböző szemcsefinomságú papírral csiszolt fafelületek vizsgálatának előkészítésekor minden faj esetében, csiszolószemcse finomságoként külön-külön deszkák kerültek kiválasztásra. A további vizsgálatokhoz (peremszög mérés, SEM) a csiszolt faanyagokból újabb, a mérések elvégzéséhez szükséges méretű minták kialakítására került sor.

4.2.1. A fafelületek megmunkálása

A különböző érdességű faanyagok vizsgálatakor csiszolószemcse finomságoként 20*140*8000 mm méretű gyalult deszkát használtam fel. A deszkák megmunkálására Sandya 3S (SCM Group, Olaszország) kontakt csiszológépen került sor. A gépi csiszolás elvégzésére minden esetben rostiránnyal párhuzamosan került sor. A homogén fafelületek létrehozását követően, alapos portalanítást végeztem minden faanyag esetében.

A faanyagokon alkalmazott csiszolópapírok (DUNA-VITEX Kft., Magyarország) szemcsefinomságai a következők voltak: 60, 80, 100, 120, 150, 180, 220, 240, 280, 320, 400, 500 és 600.

A peremszög érdességfüggésének vizsgálata során

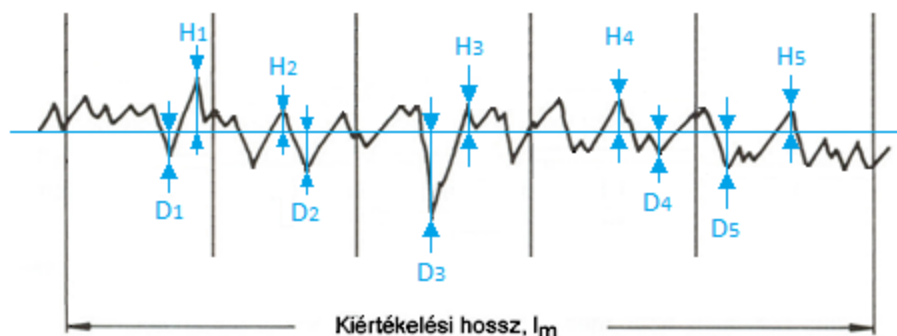
- érdesség mérésre,
- peremszög mérésre, továbbá
- pásztázó elektronmikroszkópos felvételek elkészítésére került sor.

4.2.2. Az érdességmérés kivitelezése, az alkalmazott eszköz és paraméterei

Az érdességmérés kivitelezéséhez PERTHEN-Mahr S3P (PERTHEN, MAHR GmbH, Németország) érdességmérő készüléket használtam. A négy különböző faj, különböző szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt mintáin, felülettípusonként 10 érdességmérés elvégzésére került sor.

Az érdességmérések eredményeinek kiértékelésekor az R_z (egyenetlenség magasság) (4. ábra) paramétert vettem figyelembe. Az egyenetlenség magasság (R_z) érték a kiértékelési hosszon (l_m) mért (a középvonaltól számított) öt legmagasabb kiemelkedés ($H_1 - H_5$) és öt legnagyobb mélyedés ($D_1 - D_5$) összegének ötöde, mikrométerben kifejezve, amelynek pontos értékét az érdességmérő műszer kalkulálja. Használatával, más érdességi értékhez

viszonyítva (pl.: R_a – átlagos érdesség), a faanyag felépítéséből adódó pontatlanságok elkerülhetők.



$$R_z = \frac{(H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5) + (D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5)}{5} \quad [\mu\text{m}]$$

4. ábra Az R_z tényező meghatározása (Csiha, 2003 alapján)

A négy alkalmazott fafaj közül egy fafaj nagy edényekkel rendelkezik. A tölgy mintatestek érdességének vizsgálatakor kiemelt figyelmet fordítottunk a nagyméretű, felszíni nyitott edények elkerülésére. Erre annak érdekében került sor, hogy a mérési eredmények az anatómiai érdesség értékét határozzák meg, az edényekbe eső tű által generált kiugró értékektől mentesen. A mérési sorozat esetében nagy jelentőséggel bírt a felületi érdességmérések edények kihagyásával való elvégzése, mivel a peremszög méréseket szintén a nagyméretű edények kihagyásával végeztem el.

4.2.3. A peremszög mérés kivitelezése, az alkalmazott eszköz és paraméterei

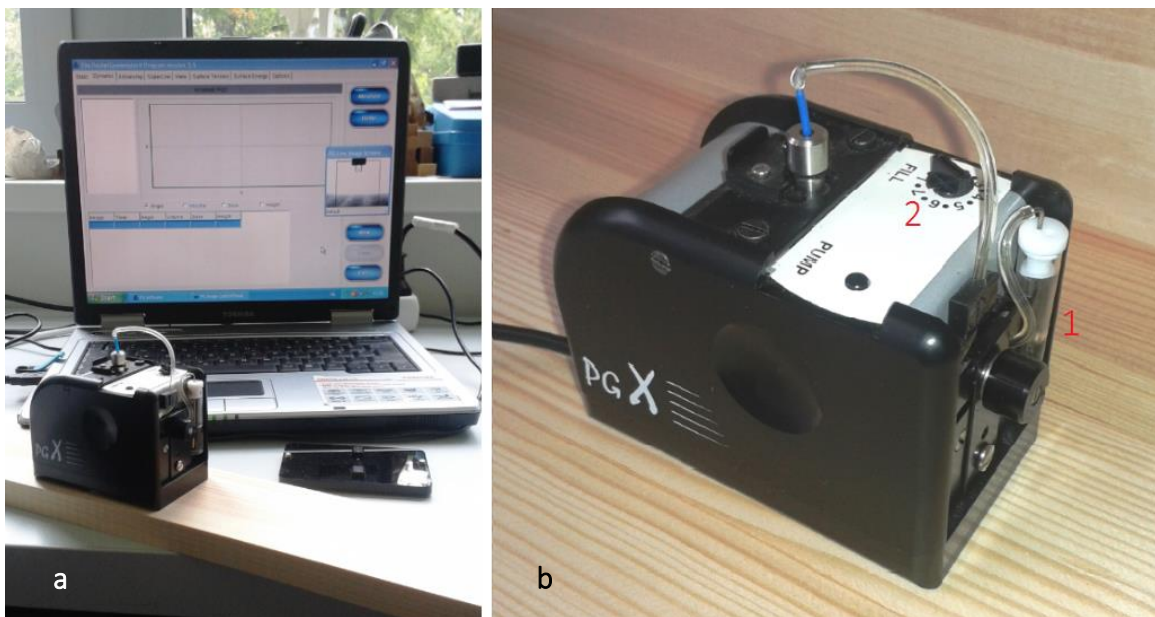
A peremszög mérések kivitelezéséhez PG-X goniométert (FIBRO SYSTEMS AG, Svédország) (6/a ábra) alkalmaztam. A különböző szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt faanyagok vizsgálatakor fafajonként 5 db, radiális felületű mintatest került felhasználásra, amelyek mérete 80mm * 100mm * 20mm volt. A négy különböző fafaj, különböző szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt mintáin, felülettípusonként 20, dinamikus peremszög mérés elvégzésére került sor. Amiatt, hogy a felületek szennyeződése – amely a mérhető peremszög értékét könnyedén meghamisíthatja - a megmunkálást követően rövid időn belül (néhány óra) bekövetkezik (Gray, 1962), a peremszög mérések kivitelezése minden fafaj és megmunkálási mód esetében a megmunkálást követő első fél órában történt.

A goniométer állítható mennyiségű folyadékcsepp felületre juttatását teszi lehetővé (0,5-7,5 μ l). A peremszög mérések kivitelezése, a szakirodalomban is leggyakrabban alkalmazott 5 μ l cseppméret (Kalnins et al., 1988; Boehme és Hora, 1996) alkalmazásával történt. A különböző érdességű mintatestek esetében a peremszög mérések kivitelezése

kétszer desztillált, ún. bi-desztillált víz (poláris és diszperzív) alkalmazásával történtek. A bi-desztillált vizet VTL 140392 (Vitro-TECH, Magyarország) mono-desztilláló készülék által desztillált víz ismételt desztillálásával állítottam elő.

A peremszög mérések kivitelezésekor elsődleges szempontként a mérések reprodukálhatóságát határoztam meg. Ennek érdekében, a folyadékcsepp felületre való érkezésétől számított 1s időpontbeli mérési értéket használtam fel. A választott mérési időpont előnye, hogy erre az időpillanatra a csepp már deformáció-mentes, minden alkalmazott fafaj és érdesség-tartomány vonatkozásában. Ennek köszönhetően a mérési eredmények érdességtől és fafajtól függetlenül reprodukálható módon összehasonlíthatók. A mérések elvégzésére minden fafaj és érdesség tekintetében rostirányban (5/b ábra) került sor (a kamera rostirányra merőlegesen állt), a hirtelen fellépő és nagymértékű csepp-deformáció kiküszöbölése érdekében.

A goniométer beépített folyadéktárolóval (desztillált víz) rendelkezik (5/b ábra), azonban van lehetőség mérések elvégzésére különböző tesztfolyadékok alkalmazása mellett is, kiegészítő folyadékadagoló egység használatával.



5. ábra PG-X goniométer használata, felépítése

(a: mérés PG-X goniométerrel; b: az eszköz beépített folyadéktárolója (1), illetve a folyadék térfogatának beállítása (2))

Peremszög méréskor, az eszköz szoftvere (PGX+) a beépített kamera által készített kép alapján automatikusan kalkulálja a peremszöget (Θ). Az eszköz szoftvere ideálisan sima felületeken végzett peremszög mérésekre optimalizált. Emiatt néhány mérés esetében szükséges a felület síkját jelentő (ezáltal a peremszög kalkulációjához elengedhetetlen) ún. horizont vonal manuális beállítása, újra-pozicionálása.

A négy vizsgált fafaj közül tölgy fafajon, a nagy edények okozta csepp-deformációk elkerülése érdekében, illetve, hogy az anatómiai érdességgel összeegyeztethető adatok

elemzése megvalósulhasson, a peremszög mérések során a mérőfolyadék cseppeket a felületen lévő nagyméretű edények közé pozicionáltam. A cseppek pozicionálásának segítségével – korábban már ismertetett módon – a faanyag felületi szerkezetéből adódó nem kívánt folyadék elterülést (Wälinder és Gardner, 2002/b) zártam ki.

4.2.4. A pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvételek elkészítése

A különböző szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt mintatestek felületének további morfológiai vizsgálatára SEM (Scanning Electron Microscope) felvételek elkészítésére is sor került. A felvételek elkészítésekor Hitachi S3400 (HITACHI Ltd., Japán) készüléket alkalmaztam. A felvételek elkészítésére kiválasztott mintatestek 20 * 20 mm felületűek voltak. A SEM felvételek elkészítéséhez alkalmazott mintatestek felületi aranyréteggel nem kerültek bevonásra. A felvételek elkészítésekor 10 kV gyorsító feszültséget alkalmaztam. A kiválasztott fafelületekről 100x nagyításban, 3D típusú képeket készítettem. Ez a felvételtípus alkalmas a faanyag felületén csiszolás hatására bekövetkezett roncsolás mértékének feltérképezésére, valamint segítségével könnyebben érzékelhetők a csiszolás hatására létrejövő felületi barázdák mélységében fellelhető különbségek.

Fafajonként három, különböző szemcsefinomságú (60, 220 és 500) csiszolópapírral csiszolt mintatesten készültek SEM felvételek, amely szemcsefinomságok az 5.1.3. fejezetben tárgyaltaknak megfelelően kerültek kiválasztásra.

4.3. A mesterségesen öregített faanyagok vizsgálata, kiemelt figyelemmel a nedvesíthetőségre

4.3.1. A mesterséges öregítésnek alávetett mintatestek kialakítása

A mesterségesen öregített mintatestek a 4.2.1. fejezetben bemutatott módon kerültek kialakításra, csiszolásuk 150-es szemcsefinomságú csiszolópapírral történt, amellyel az iparban leggyakrabban alkalmazott érdesség értékeket reprodukáltam.

Mesterséges öregítéshez 3 típusú mintatest került kialakításra fafajonként, amelyek a következők voltak:

- peremszög vizsgálathoz és nedvességtartalom méréshez,
- a totál-fenol és az összes kioldható szénhidrát tartalom meghatározásához, illetve
- az FTIR vizsgálatok kivitelezéséhez készített mintatestek.

A különböző vizsgálatokhoz készített mintatestek eltérő méretekkel rendelkeztek, melyek feltüntetésére a különböző mérések leírását tartalmazó fejezetekben kerül sor.

4.3.2. A mesterséges öregítés technológiai háttere és a vizsgálati időpontok meghatározása

A különböző faanyagok mesterséges öregítésére Original Hanau Suntest (HERAEUS, Németország) berendezést használtam.

A mesterséges öregítés kivitelezéséhez alkalmazott, xenon izzóval és beépített UV tükörrel felszerelt öregítő berendezés (6. ábra) fontosabb paraméterei a következők:

- izzó – mintatest távolság: ~ 230 mm
- fény intenzitás (megvilágítás): 150 klux
- (sugárzás intenzitás: 830 W/m²)



6. ábra A mesterséges öregítő berendezés

Az öregítő kamra hőmérséklete

A természetes napfény imitálásakor alkalmazott mesterséges öregítő eljárás során az öregítő kamrában uralkodó hőmérséklet elérheti akár az 60°C-ot, ritkán ennél magasabb hőmérsékletet is. Az intenzív hőmérsékletváltozás, a korábbi 3.1.3. fejezetben tárgyalt felületi repedések létrejöttéért is felelőssé tehető.

A mesterséges öregítő berendezés kamrájában elhelyezett faanyagok felületi hőmérsékletének mérésére, az öregítési ciklus közben, felületenként több ponton került sor Maxwell MX 25-903 (GLOBIZ, Egyesült Királyság) típusú digitális hőmérő segítségével. A mesterséges öregítés során a kamra levegőjének hőmérséklete, illetve a faanyagok felületi hőmérséklete nem haladta meg az előre meghatározott 55±5°C hőmérsékletet. A felületek túlzott (>> 60°C) felmelegedése a peremszög mérések kivitelezését ellehetetleníti, mivel a felmelegedett felületre ejtett folyadékcsepp gyorsabb párolgása hamis eredményekhez vezethet. Az előre meghatározott hőmérséklet-tartomány bevezetésének okai a fafelületeken tapasztalt nedvességtartalom-csökkenés, illetve a nem kívánt felületi kémiai változások voltak.

A mesterséges öregítés során elvégzett vizsgálatok időpontjainak meghatározása

A mesterséges öregítésnek alávetett mintatesteken végzett peremszög mérések időpontjainak meghatározásakor elsődleges szempont volt a feltételezhető változás minél pontosabb leírása. Emiatt a mesterséges öregítés első 15 órájának felosztása kismértékű közökkel történt, az ezt követő időintervallum (20-240 h) felosztása pedig hosszabb időközök alkalmazásával valósult meg. A különböző vizsgálatok (peremszög mérés (desztillált víz és dijódmétán), nedvességtartalom vizsgálat, totál-fenol és összes kioldható szénhidrát tartalom meghatározás, illetve FTIR vizsgálat) a mesterséges öregítés teljes időtartama alatt 13 alkalommal kerültek elvégzésre.

A különböző vizsgálatok kivitelezésére a következő időpontok kerültek meghatározásra: 0 h (kontroll), 1 h, 3 h, 5 h, 8 h, 10 h, 15 h, 20 h, 30 h, 60 h, 96 h, 132 h, 174 h, valamint 240 h (h: óra).

4.3.3. A peremszög mérések kivitelezése mesterségesen öregített mintatestek esetén

A peremszög mérések kivitelezésekor mesterséges öregítés során, 4-4 db, 50 mm * 100 mm * 20 mm méretű, különböző deszkákból kialakított mintatest került felhasználásra fajtánként, az előre meghatározott öregítési ciklusokkor (4.3.2. fejezet). Felülettípusonként, minden öregítési ciklus idején, 20-20 mérést végeztem, bi-desztillált víz (poláris és diszperzív), illetve dijódmétán (diszperzív) (SIGMA-ALDRICH, USA) alkalmazásával. A poláris és diszperzív (desztillált víz) és tisztán diszperzív (dijódmétán) folyadékok peremszögeinek értékéből a goniométer eszköz szoftvere képes a felületi energia kiszámítására. Jelen kutatómunka elvégzésekor azonban, a felületi energia, illetve a polaritás értékek kiszámítását a peremszög értékekből Microsoft Excel program segítségével végeztem, a 3.2.1. fejezetben bemutatott módon.

4.3.4. A nedvességtartalom meghatározása a mesterséges öregítés során

A nedvességtartalom vizsgálatok elvégzésére a peremszög mérésekhez használt mintatesteken került sor (4.3.3. fejezet).

A korábbi fejezetben (4.3.2. fejezet) tárgyalt, mesterséges öregítés során fellépő hőmérsékletnövekedés hatására bekövetkező nedvességtartalom csökkenést HM8-WS5 (MERLIN Technology GmbH, Austria) kapacitív felületi nedvességtartalom mérő készülékkel vizsgáltam (VI. sz. melléklet). Az eszköz - mobilitása mellett - legfontosabb előnye, hogy a nedvességtartalom vizsgálatához nem szükséges külön mintadarabok készítése, illetve a beütő tűs nedvességmérő készülékekkel szemben, a vizsgált felületek

sérülése, roncsolása nélkül végezhető vizsgálat. Az eszköz a felületre helyezésekor kapacitív módon méri a faanyag nedvességtartalmát 3-4 mm behatolási mélységben, ~ 20 cm² felületen.

A nedvességtartalom vizsgálatok elvégzésére a peremszög mérések elvégzésével párhuzamosan került sor annak érdekében, hogy a mesterséges öregítés hatására létrejövő felületi változások mellett, a nedvességtartalom változásából fakadó befolyásoló tényezők hatásainak nyomon követése is megvalósulhasson.

4.3.5. A totál-fenol és összes kioldható szénhidrát tartalom meghatározása

A mesterségesen öregített faanyagok totál-fenol és összes kioldható szénhidrát tartalmának meghatározására az előre meghatározott öregítési ciklusokkor (4.3.2. fejezet) került sor. A vizsgálatokhoz felhasznált mintatestek mérete 20*20*20 mm volt fafajonként, amely minták mesterségesen öregített felülete került felhasználásra a minták előkészítésekor. A minta előkészítéshez minden öregítési ciklus esetében külön-külön mintatest került felhasználásra fafajonként.

Minta előkészítés

A mintatestek esedékes öregítésének befejezését követően a mintatesteket egyesével – az oxidáció és további fényhatások kiküszöbölése érdekében – alumínium fóliába csomagoltam, a minta-előkészítési fázis megkezdéséig.

Általános esetben (pl.: modifikált faanyagok vizsgálatokor), a totál-fenol és összes kioldható szénhidrát tartalom meghatározásához a minták előkészítésekor, a faanyagból vett mintákat darálják. Ez a módszer azonban csak abban az esetben lenne alkalmazható, amennyiben a mintatestek vastagsága megegyezik a fotodegradáció által károsított faanyag rész a felső ~ 75-100 mikrométeres vastagságával. A mintatestek e fajta kialakítása nagyon nehézkesen kivitelezhető, emiatt a fotodegradáció hatására bekövetkező változások vizsgálatára a felületi réteg leválasztása mellett döntöttem.

A mintatestek legfelső, vékony rétegének leválasztásához több módszert is alkalmasnak találtam. A minták homogenitásának szem előtt tartása miatt, a csiszolás lehetett volna kézenfekvő rétegleválasztási módszer. Csiszoláskor, a csiszolópapírról a csiszolatporba csiszolószemcsék kerülnek, emiatt ez a módszer háttérbe került, mert az eredmények tekintetében olyan eltérések jöhettek volna létre, amelyek teljes mértékben hibás következtetések levonását okozhatták volna.

A minták szennyeződésének elkerülése érdekében, acélpengével (egyszer használatos) történő hámozást tekintettem a legcélszerűbb rétegleválasztási eljárásnak. A mintaleválasztáskor kiemelt figyelmet fordítottam a megfelelő rétegvastagság megtartására. A vizsgálatok megkezdése előtt a rétegvastagságot 75-100 µm vastagságban állapítottam meg, így biztosítva, hogy kizárólag a fotodegradációt

elszenvedett réteg eltávolítására kerüljön sor. A későbbiekben az ilyen módon eltávolított réteg felhasználásával állapítottam meg a totál fenol, illetve az összes kioldható szénhidrát tartalmakat.

Alkoholos extrakció

Korábbi vizsgálatok alapján a különböző faanyagok járulékos anyagainak legnagyobb mennyiségű kivonására jellemzően a különböző alkoholos extrakció felel meg (Nguyen és Johns, 1979/b).

Nincs olyan egységesen megfelelő eljárás, amely minden fajta növényi minta esetében alkalmas lenne a minta előkészítésre, illetve a fenolos anyagok extrakciójára. A növényi alapanyagok fenolos összetevőinek vizsgálatakor a minta előkészítési fázisban sikerrel alkalmazott homogenizálási eljárások közül a vizsgálandó anyag őrlése, illetve centrifugálása bevett módszerek (Burtin et al., 2000). Az oldószeres extrakció hatékonyságának növelésére többféle módszer alkalmazható, melyek közül az egyik leghatékonyabb az ultrahangos kezelés (Santos-Buelga et al., 2012).

A totál-fenol és összes kioldható szénhidrát tartalom meghatározásához, extraktum készítése szükséges (a leválasztott felső réteg felhasználásával). Az extrakció elvégzésére 4:1 metanol:víz extraháló szerrel került sor. A leválasztott faanyagmintákhoz (~ 0,05 g), azok pontos lemérését (Cubis MSA225P, SARTORIUS, Németország) követően, 5 ml extraháló szer hozzáadása után, az extrakciót 20 perc ultrahangos fürdő (BRANSON 3510, EMERSON, USA) segítségével végeztem el. Az így kapott extraktumot MiniSpin (EPPENDORF, Németország) típusú centrifugával 10 percen keresztül (13400 1/r fordulatszám) centrifugáltam, további homogenizálás, illetve a folyadék és szilárd halmazállapotú részek elválasztásának érdekében.

A totál-fenol tartalom meghatározása

A totál-fenol tartalom vizsgálat során az összes fenolos extrakt anyag meghatározására került sor. A totál-fenol tartalom meghatározása Folin-Ciocalteu módszere alapján történt (Singleton és Rossi, 1965). A mérések kivitelezésekor, a pontosan kimért, 0,5 ml extraktumhoz 2,5 ml tízszeres hígítású Folin-Ciocalteu reagens hozzáadása után, 1 perc elteltével 2 ml 0,7M koncentrációjú Na₂CO₃ oldat hozzáadását végeztem el. A létrehozott reakcióelegyet 50 °C hőmérsékletű vízfürdőben (Memmert WNB 200, MEMMERT GmbH, Németország) 5 perc időtartamig melegítettem, az oldat kékes színének kifejlődése és stabilizálódása érdekében. A vízfürdőt követően az elegyet hideg vízfürdőben hűtöttem, az oldat szobahőmérsékletre (~ 25°C) hűléséig. A totál-fenol tartalom meghatározását spektrofotometriás módszerrel (Metertech SP 8001, METERTECH Inc., Kína) végeztem, a fenolos vegyületek abszorpciós maximumán, 760 nm hullámhosszon. Standardként kvercetin alkalmaztam, az eredmények pedig kvercetin [mg] / száraz tömeg [g] egységre vonatkoztatva kerültek megadásra.

Az összes kioldható szénhidrát tartalom meghatározása

Az összes kioldható szénhidrát tartalom meghatározása Dubois és társai (1956) módszere alapján került kivitelezésre. A vizsgálat során, a kémcsőbe előzetesen kimért 0,5 ml extraktumhoz 0,5 ml 5%-os fenol oldatot adagoltunk, majd homogenizálást követően az elegyhez 2,5 ml koncentrált kénsav hozzáadására került sor. A zárt kémcsöveket 10 perc időtartamig szobahőmérsékleten, ezt követően pedig további 20 percen keresztül 25 °C hőmérsékletű vízfürdőben hűtöttem. Az összes kioldható szénhidrát tartalom meghatározása spektrofotométerrel (Metertech SP 8001, METERTECH Inc., Kína) történt, a cukrok (mono- és oligoszacharidok) abszorpciós maximumán, 490 nm hullámhosszon. Standardként glükóz oldatot alkalmaztam, az eredmények megadása glükóz [mg] / száraz tömeg [g] alakban történt.

A totál-fenol és összes szénhidrát tartalom vizsgálatok során alkalmazott vegyszerek

A totál-fenol és összes oldható szénhidrát tartalom vizsgálatok során alkalmazott oldatok készítéséhez egyszerűen desztillált víz került felhasználásra.

A totál-fenol és összes oldható szénhidrát tartalom vizsgálatok során alkalmazott vegyszerek:

- metanol (REANAL Laborvegyszer Kft., Magyarország),
- Folin-Ciocalteu reagens (VWR International Kft., Magyarország),
- Na₂CO₃ (VWR International Kft., Magyarország),
- kvercetin (SIGMA-ALDRICH, USA),
- fenol (REANAL Laborvegyszer Kft., Magyarország),
- kénsav (REANAL Laborvegyszer Kft., Magyarország),
- glükóz (SIGMA-ALDRICH, USA).

4.3.6. Az FTIR vizsgálatok kivitelezése

Az infravörös színeképek felvétele DR-81 FTIR 6300 (JASCO, USA) spektrofotométer alkalmazásával történt. A különböző fajú minták mérete 5 mm * 10 mm * 30 mm, vizsgált felülete pedig, a 4.3.1. fejezetben tárgyaltaknak megfelelően, 150-es szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt volt. Az FTIR vizsgálat esetében – a többi vizsgálattól eltérő módon – fafajonként egyazon mintatest vizsgálatát végeztem el, a mérési eltérések kiküszöbölésének érdekében.

A minták készülékbe helyezésekor kiemelt figyelmet fordítottam a mintatestek elhelyezésére annak érdekében, hogy a minták azonos felületeinek változását detektálhassam. A minták elhelyezésekor kiemelt figyelmet fordítottam arra, hogy a minták az IR sugárzás haladási irányához képest rostirányra merőlegesen helyezkedjenek el.

A fafelületek vizsgálati eredményei 50 mérés átlagából, 4 cm^{-1} felbontással készültek az FTIR készülékhez tartozó *Spectra Manager* program segítségével. A színeképek háttereként alumínium lapot alkalmaztam. A spektrális intenzitás Kubelka-Munk (K-M) egységben került meghatározásra a FTIR eszköz szoftvere által. Az FTIR mérések kivitelezése során kettő, előre meghatározott (3800 cm^{-1} és 1900 cm^{-1}) hullámszám érték alkalmazásával alapvonal korrekció elvégzésére is sor került.

A színeképek minél jobb összehasonlíthatósága érdekében, a kutatások gyakran alkalmazott módszere a színeképek normalizálása. Faanyagok esetében, normalizálásra gyakran alkalmazott az 1380 cm^{-1} hullámszám környéke, amely a cellulóz C-H csoportjához tartozik, kellő intenzitású és fénybesugárzással szemben stabilnak tekinthető hullámszám (Tolvaj és Persze, 2011; Varga et al., 2017). Jelen kutatómunka során, a négy különböző fajú, mesterségesen öregített fafelület FTIR vizsgálatainak kivitelezésekor a különböző fafajú mintatestek színeképeinek normalizálására 1380 cm^{-1} körüli (bükk: 1381 cm^{-1} , lucfenyő: 1376 cm^{-1} , nyír: 1380 cm^{-1} , kocsánytalan tölgy: 1380 cm^{-1}) maximum értéken került sor.

A mérési eredmények feldolgozásakor, az adott öregítési ciklus IR színeképéből a kontroll (0 h) minta színeképe kivonásra került. Ily módon került létrehozásra az IR színeképekben bekövetkező változás detektálására alkalmas különbségi színekép fafajonként, minden alkalmazott minta és öregítési ciklus esetében.

4.4. Természetes beltéri öregítésnek kitett faanyagok vizsgálata, kiemelt tekintettel a nedvesíthetőségre

A mesterséges öregítés mellett, a 4.1. fejezetben meghatározott fafajokon természetes beltéri öregítést is végeztem, a mesterséges öregítés során tapasztalt peremszög változások egyfajta viszonyítási alapjaként. A természetesen öregített mintatestek esetében peremszög vizsgálatot végeztem poláris és diszperzív folyadék (desztillált víz) alkalmazásával.

4.4.1. A mintatestek kialakítása

Természetes beltéri öregítés kivitelezésekor 4-4 db, $50\text{ mm} * 100\text{ mm} * 20\text{ mm}$ méretű, különböző deszkákból kialakított mintatest került felhasználásra fafajonként. A minták felülete 150 szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt volt, a 4.3.1. fejezetben megfogalmazottaknak megfelelően. A különböző öregítések (természetes beltéri és mesterséges) viszonyításának optimalizálása érdekében a felületek megmunkálása a mesterségesen öregített mintatestekével megegyezett.

4.4.2. A természetes öregítés kivitelezése, illetve a mérési ciklusok meghatározása

A természetes beltéri öregítés kivitelezése

A természetes beltéri öregítésre 2014.04.07. és 2014.05.20. között került sor, a napsütéssel telt órákban, átlagosan naponta 9 és 17 óra között. A mintatesteket D-DK-i irányba helyeztem el, így maximálva a napsütésnek való kitettséget.

A mintatesteket – a mintatestek felfekvési szögének állandósága érdekében mintatartó állványon helyeztem el (7. ábra), amelyen a mintatestek pozícióját naponta változtattam annak érdekében, hogy minden faj és minden mintatest, közelítőleg azonos mértékű napfény általi degradációt szenvedjen el.

Az ablaküveg főbb adatai a következők voltak:

- $\tau=76\%$,
- $\tau_{UV}=29\%$,
- $(U_g=1,1 \frac{W}{m^2K}, U_w= 1,5 \frac{W}{m^2K})$,

ahol τ =fényáteresztés, τ_{UV} =UV áteresztés (U_g =üveg hőátbocsátási tényezője, U_w =ablak hőátbocsátási tényezője).



7. ábra Állvány mintatestek elhelyezéséhez természetes öregítés során
(a: mintatartó állvány; b: mintatartó polc beállítása)

A természetes öregítés mérési ciklusainak meghatározása

A mérési időpontok, korábbi napsugárzás hatására bekövetkező színváltozás vizsgálatok időközéihez igazítva kerültek meghatározásra annak érdekében, hogy a felületen bekövetkező – elsősorban kémiai – változások peremszögre gyakorolt hatásai minél pontosabban kerüljenek leírásra. A természetes beltéri öregedés vizsgálatok (peremszög mérés desztillált víz alkalmazásával) a kitétség idejének függvényében a következő időpontokban kerültek elvégzésre: 0 h (kontroll), 1 h, 3 h, 5 h, 8 h, 10 h, 15 h, 30 h, 60 h, 96 h, 174 h, illetve 240 h.

(A mesterséges öregítés során ehhez képest két további öregítési ciklus (20 és 132 h) került meghatározásra.) Az előre meghatározott kitétségi időintervallumok óraszámait kontaktórát jelentenek, azaz a kitétség óraszámait csak a napsütéses órák száma értendő.

A természetes és mesterséges fénysugárzás összehasonlítása

Összehasonlításként, felhőmentes, tiszta napon a Nap által elért megvilágítás értéke 32 és 130 klux között van ($1 \text{ lux} = \frac{1 \text{ lumen}}{\text{m}^2}$). A mesterséges öregítő berendezés által kibocsátott sugárzás a természetes napfény spektrális összetételét jól közelíti (Németh és Faix, 1994), azonban sugárzási intenzitás tekintetében jelentős eltérés tapasztalható.

A természetes és mesterséges fénysugárzás hatásainak vizsgálatokor szándékomban állt a két különböző besugárzás által okozott peremszög változás vizsgálatán túl, a két különböző öregítési mód során a mintákra érkező energia összehasonlítása is annak megállapítása érdekében, hogy a természetes beltéri öregítés idején a napsugárzásból származó energia mennyi, az öregítőgép által kibocsátott energiának felel meg.

A mesterséges öregítő berendezés adatai (fény intenzitás (megvilágítás): 150 klux, illetve sugárzás intenzitás (irradiancia): 830 W/m^2) alapján az öregítő gépben lévő sugárforrás (xenon izzó) emissziós spektruma különbözik a Napétól. Napfény spektrum esetén a 830 W/m^2 irradianciának nagyságrendileg 85-87 klux felel meg, amelynek változása a légköri, illetve égbolton tapasztalható (pl.: borultság) különbségektől függ.

A sugárzásáram sűrűsége (W/m^2) pillanatnyi minőség, – a mesterséges öregítő berendezés fényforrása konstans teljesítményt ad - amelyet idővel (s) megszorozva energia típusú értéket kaphatunk. Ily módon – mivel az időtartam ismert – kiszámítható a természetes sugárzás által végzett munka (J/m^2).

Annak kiderítésére, hogy a természetes öregítés során a beltéri öregítésnek kitett mintatestekre jutó energia a mesterséges öregítő berendezés által kibocsátott energiával milyen arányban van, számításokat végeztem.

Az Országos Meteorológiai Szolgálat által rendelkezésemre bocsátott adatokból (Sopron – Kurucdomb mérőállomás, napi globálsugárzás) a mérési időszakra vonatkozó teljes

besugárzási energia került meghatározásra, amelynek eredménye $750,42 \text{ MJ/m}^2$ ($\text{W}\cdot\text{s/m}^2$). Ezt az értéket elosztva a mesterséges öregítő berendezés konstans teljesítményével (830 W/m^2) $251,14 \text{ h}$ (904120 s) időértéket kapunk. Fontos megjegyezni, hogy ez az érték kontaktóra, azaz az öregítő berendezés $\sim 10,5$ napos folyamatos működési idő alatt képes prezentálni a vizsgált időszakban a napfény által adott energiát, adott hullámhosszon.

Az adatok alapján kiszámítottam az óránként egy mintatestre jutó energia mennyiségét mindkét öregítési mód esetében. A mesterséges öregítés során $3126,750 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2}$ energia jutott a faanyagok felületére óránként. Természetes beltéri öregítés során a napfény adatainak alapján $2988 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2}$ energia jutott átlagosan a faanyagok felületére óránként. A két típusú öregítéshez tartozó mennyiség között tapasztalható kismértékű eltérés. A természetes és mesterséges öregítések összehasonlításához azonban ezek az adatok csak támpontként használhatók, nem elegendők a két különböző vizsgálat eredményeinek minden szempontot figyelembe vevő összehasonlítására.

Összehasonlítási alapot jelenthetne a mesterséges öregítő berendezés ismert megvilágítás értéke (150 klux) is, azonban, mivel a mesterséges öregítő berendezés emissziós spektruma nagymértékben eltér a Napétól, ez a számítás nem ad megfelelő alapot megbízható összehasonlítás elvégzésére.

Az esetleges mérési hibákat, azon túl, hogy az ablaküvegen átjutó napfény sugárzási adatait nem ismerjük kellő részletességgel, magyarázhatja továbbá az a tény, hogy a meteorológiai állomások által mért globálsugárzás adatok nem pusztán a faanyagot degradáló fény-spektrumok méréséből adódnak, hanem egyéb más elektromágneses sugárzás értékekből is. Az eltérések, a lehetséges mérési hibák, illetve a napsugárzás összetételének és intenzitásának változásai miatt, a számítás alapján kalkulált érték csak becslésre használható.

Az Országos Meteorológiai Szolgálat által rendelkezésemre bocsátott adatok alapján az energiamennyiségek összehasonlítása lehetőségessé vált, azonban a természetes öregítés sugárzás összetételére vonatkozó információval nem rendelkezem. Ennek hiányában a két típusú öregítés komplex összehasonlítása nem lehetséges. A további adatok lekérése, feldolgozása, illetve az új adatok alapján levonható összefüggések és eredmények, későbbi kutatás témáját alkotják.

A különböző vizsgálati eredmények kiértékelése

A különböző eredmények feldolgozására és kiértékelésére minden vizsgálat és mérési eredmény esetében Microsoft Excel (2010) és STATISTICA (8) programok segítségével került sor.

5. A kutatómunka eredményei

5.1. A peremszög változása különböző fafajokon a felületi érdesség függvényében

A dolgozat egyik legfontosabb témaköre különböző fafajok frissen csiszolt felületeinek vizsgálata nedvesítés szempontjából, amely korábbi, más kutatók által végzett vizsgálatokhoz hasonló módon, azonban szélesebb érdesség tartományban végzett peremszög vizsgálatok eredményeit mutatja be.

5.1.1. Különböző szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt faanyagok felületi érdességméréseinek eredményei

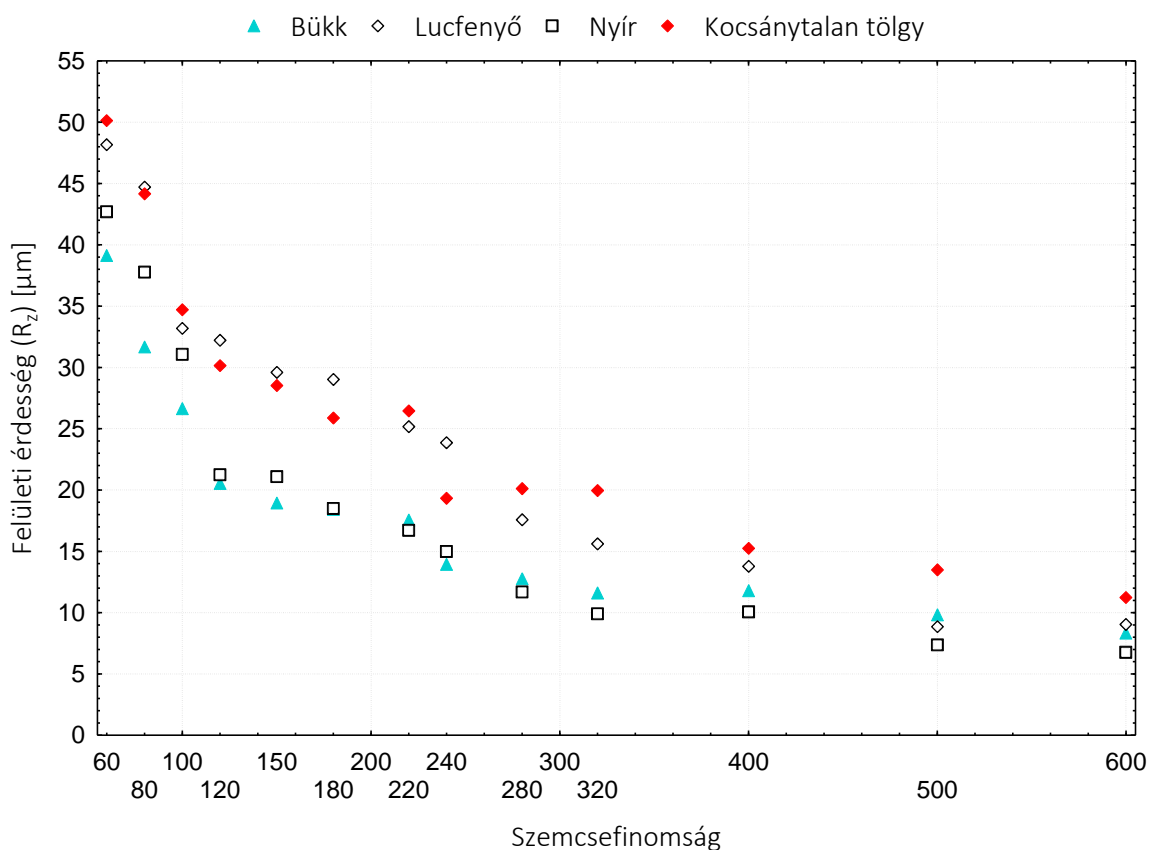
A 13 különböző (P60-P600) szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt minták érdességméréseinek eredményei (I. sz. melléklet) a várt eredménnyel zárultak. A szemcsefinomság értékének növekedésével párhuzamosan a felületi érdesség minden fafaj tekintetében csökkent. A legmagasabb érdesség értékeket (R_z) a 60-as szemcsefinomságú, a legalacsonyabb értékeket pedig 600-as szemcsefinomságú papírral csiszolt minták mutatták (4. táblázat).

4. táblázat Az érdességmérés eredményei a szemcsefinomság függvényében

		R_z átlagérték és szórás [μm]							
		Bükk		Lucfenyő		Nyír		Kocsánytalan tölgy	
		\bar{x}	D	\bar{x}	D	\bar{x}	D	\bar{x}	D
Szemcsefinomság	60	39,14	2,98	48,15	5,03	42,70	5,05	50,13	4,51
	80	31,68	3,25	44,71	4,73	37,78	4,61	44,17	2,73
	100	26,64	4,35	33,19	4,01	31,06	3,28	34,72	3,43
	120	20,53	4,49	32,23	4,83	21,23	3,72	30,15	3,92
	150	18,94	5,13	29,59	4,66	21,08	3,53	28,53	3,51
	180	18,42	4,52	29,01	3,58	18,49	3,82	25,89	4,21
	220	17,54	4,23	25,18	3,25	16,72	2,59	26,47	3,42
	240	13,92	1,87	23,87	3,39	14,97	1,92	19,32	2,71
	280	12,76	1,67	17,56	2,70	11,67	1,68	20,12	2,83
	320	11,61	2,02	15,61	2,09	9,89	1,91	19,96	2,21
	400	11,78	1,86	13,78	1,38	10,05	1,79	15,24	1,74
	500	9,82	2,57	8,84	1,17	7,37	1,51	13,49	1,70
	600	8,34	0,83	9,04	1,23	6,75	0,87	11,23	1,25

\bar{x} - átlag; D - szórás, **félkövér**: legmagasabb és legalacsonyabb érték/fafaj

A legmagasabb és legalacsonyabb érdesség értékeket tekintve, kivételt jelent a lucfenyő mintákon mért egyenetlenség magasság értékek átlaga. E fafaj esetében ugyanis az 500 és 600 szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt mintákon mérhető érdesség értékei, hasonlóan a többi fafajon végzett mérések eredményeihez, igen közel állnak egymáshoz (P500: 8,84 μm , P600: 9,04 μm), azonban a legalacsonyabb érték az 500-as szemcsefinomságú papírral csiszolt mintákon volt tapasztalható (8. ábra), a többi vizsgált fafajon végzett érdességmérések eredményeivel ellentétben. Ennek fő oka az, hogy ebben az érdesség tartományban ($R_z < 15 \mu\text{m}$) a homogén felépítésűnek tekinthető (elsősorban szórt likacsú) faanyagok felületén könnyebben mérhető ki a két különböző finomságú csiszoló papír által okozott érdesség különbség, mert bárhol mérünk, a felület viszonylag homogén. Ezzel szemben fenyő faanyagon kései- és korai pásztaát egyaránt tartalmazó mérési szakasz érdessége jelentősebb lehet, mint a csiszolásból származó érdesség, mert egyre finomabb szemcsével csiszolva egyre inkább a korai-kései pászta helyi érdesség jellegzetességei jelennek meg, felülírva a finom szemcse okozta érdességet.



8. ábra Különböző fafajok felületi érdessége (R_z) [μm] a szemcsefinomság függvényében

A többi vizsgált fafaj esetében, kissé nagyobb mértékű különbség tapasztalható a két legfinomabb csiszolószemcse finomságú papírral csiszolt minták érdességi adatai közt. Bükk felületeken P500: 9,82 μm , P600: 8,34 μm , nyír felületeken: P500: 7,37 μm , P600: 6,75 μm , kocsánytalan tölgy felületeken: P500: 13,49 μm , P600: 11,23 μm az átlagos

érdesség (R_z). Lucfenyő esetében a két említett átlagos érdességi adat közti eltérés 2,2%, a másik három fafaj esetében kissé magasabb eltérés tapasztalható (bükk: 15,1%, nyír: 8,4%, kocsánytalan tölgy: 16,75%), azonban az adatok alapján jól látható, hogy ezek az eredmények is igen csekély eltérést mutatnak, ezzel is alátámasztva az érdességi tartomány megfelelően kis léptékű lefedését.

5.1.2. A peremszög változása a felületi érdesség függvényében

A desztillált vízzel végzett peremszög mérések eredményeiből kitűnik (II. sz. melléklet), hogy a lucfenyő és kocsánytalan tölgy mintatesteken kapott eredmények magasabb értéket mutatnak, mint a bükk és nyír mintákon mért értékek (5. táblázat). A magasabb járulékos anyag tartalommal rendelkező fafajokon tehát magasabb peremszög értékek mérhetők, mint az alacsonyabb járulékos anyag tartalommal rendelkező fafajokon. A kapott eredmény jól korrelál korábbi, más kutatók által végzett vizsgálatok eredményeivel (Jaić et al., 1996; Mantanis és Young, 1997; Gindl et al., 2001/a), amely kutatásokban hasonló módon, a jellemzően magasabb járulékos anyag tartalommal rendelkező mintákon végzett peremszög mérések eredményei rendre magasabb értéket mutattak, mint az alacsonyabb járulékos anyag tartalommal rendelkező fafajokon végzett vizsgálatok. Lucfenyő esetében, a kapott eredményekre a megmunkáláskor felszínre kerülő járulékos anyagok (gyanta) adhatnak magyarázatot (Bach, 1991; Nussbaum, 1996 és 1999).

5. táblázat A peremszög mérés eredményei a szemcsefinomság függvényében

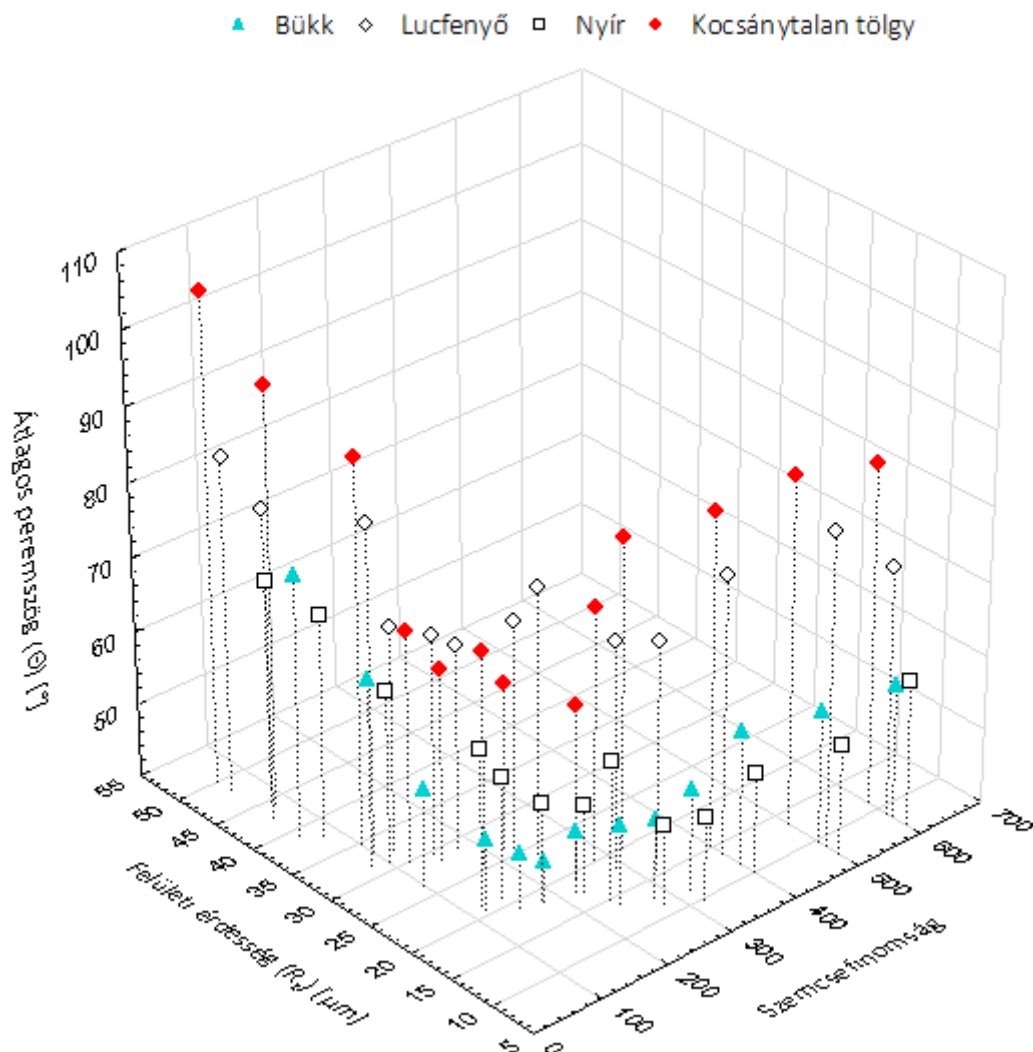
		Peremszög átlagértékek és szórás [°]							
		Bükk		Lucfenyő		Nyír		Kocsánytalan tölgy	
		\bar{x}	D	\bar{x}	D	\bar{x}	D	\bar{x}	D
Szemcsefinomság	60	75,19	4,71	85,33	9,80	72,19	4,07	105,46	6,92
	80	65,38	6,18	79,73	7,29	69,97	5,28	96,15	5,10
	100	53,12	5,24	84,12	7,22	63,45	5,13	91,77	4,44
	120	49,60	3,93	70,41	6,65	61,26	3,66	71,04	6,92
	150	47,54	4,44	69,65	7,27	56,20	4,33	65,76	4,59
	180	45,40	4,24	67,63	6,64	53,20	4,12	68,71	4,51
	220	48,40	4,41	71,56	6,78	52,40	4,06	62,40	4,19
	240	50,80	4,64	76,12	6,33	58,60	4,72	63,26	6,96
	280	50,60	3,92	71,26	5,92	50,61	5,11	74,25	6,37
	320	53,67	4,62	70,86	6,18	51,19	3,97	81,91	6,63
	400	57,96	4,62	77,43	7,12	53,61	4,73	85,02	7,14
	500	57,80	3,90	82,27	4,96	54,81	4,32	86,79	7,11
600	58,21	5,73	73,51	6,31	59,73	5,76	85,93	4,80	

\bar{x} - átlag; D - szórás, **félkövér**: legmagasabb és legalacsonyabb érték/fafaj

Lucfenyő és bükk esetében a legalacsonyabb átlagos peremszög érték 180 szemcsefinomságú papírral csiszolt mintákon jelentkezett. Nyír fafaj esetében, az előbbi két fajtától eltérő módon 280 szemcsefinomságú papírral csiszolt, míg kocsánytalan tölgy esetében 220 szemcsefinomságú papírral csiszolt mintákon jelentkezett a legalacsonyabb peremszög érték. A négy vizsgált fafaj mindegyikén a 60-as szemcsefinomságú papírral csiszolt minták produkálták a legmagasabb peremszög értéket.

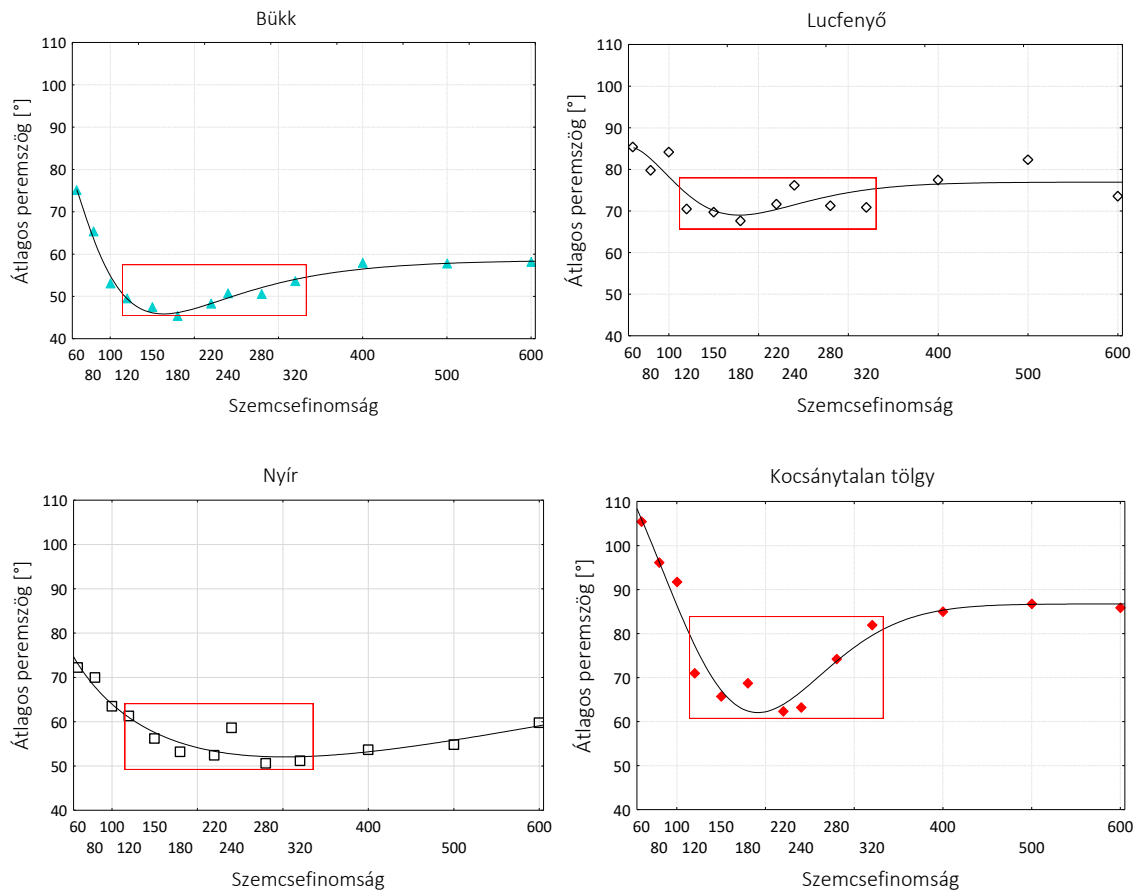
5.1.3. Desztillált víz peremszögének érdességfüggése különböző fafajok esetében

Az érdesség- és peremszög mérések eredményei alapján jól láthatóan, a peremszög értéke a szemcsefinomságok függvényeként tekintve, három, jól elkülöníthető tartományba sorolható (9. ábra).



9. ábra Csiszolt fafelületeken mért átlagos peremszög értékek, az átlagos egyenetlenség magasság (R_z) és szemcsefinomság függvényében

A peremszög értékeit tekintve (10. ábra), az első, élesen csökkenő szakasz a 60 és 100 csiszolászemcse finomság közt definiálható. A második (az ábrán piros téglalappal jelölt), kiegyensúlyozottnak tekinthető szakasz a 120 és 320 csiszolászemcse finomság közt, a harmadik jól elkülönülő szakasz pedig a 400 és 600 szemcsefinomságok között határozható meg, az illesztett görbe lefutása alapján.



10. ábra Csiszolt fafelületek átlagos peremszög értékei a szemcsefinomság függvényében

A kapott eredmények alapján, a négy faj, különböző szemcsefinomságú csiszolópapírral (P60-P600) csiszolt mintái esetében, a peremszög változása a szemcsefinomság függvényében az alábbi egyenlettel került meghatározásra (Statistica 8 program segítségével) a kutatási eredmények kiértékelésekor. Az egyenlet konstans tagjainak ($b_0 - b_5$) értékét, illetve determinációs együtthatóit fafajonként a 6. táblázat tartalmazza.

$$y = b_5 * \left(\sin \left\{ b_4 * \left(1 - e^{-(b_3 * (x - b_2))^{b_1}} \right) \right\} \right) + b_0, \text{ ahol}$$

y : peremszög [°], x : szemcsefinomság.

6. táblázat A meghatározott egyenlet konstans tagjai és determinációs együtthatói fafajonként, a vizsgált érdesség tartományok esetében

		Lucfenyő	Bükk	Nyír	Kocsánytalan tölgy
Konstans tagok	b_0	85,24148	75,55284	90,48594	132,8064
	b_1	1,467393	1,040456	0,664596	2,446243
	b_2	59,99997	59,99995	27,25272	-61,8352
	b_3	0,007997	0,009371	0,001592	0,00401
	b_4	2,604639	2,533461	3,585046	2,432406
	b_5	-16,2322	-29,6839	-38,4292	-70,7531
Determinációs együttható [%]		65,195	98,195	91,023	93,986

A peremszög szemcsefinomság alapján való meghatározását szolgáló egyenlet $y = \sin(e^{-x})$ típusú függvény. Az illesztett görbe egyenletében ritkuló szinusz függvény szerepel, amely az e^x miatt folyamatosan csökkenő tendenciájú (amplitúdójú) a vizsgált tartományban. A függvény nem pusztán egy exponenciálisan csökkenő peremszög tendencia a szemcsefinomság növekedésének függvényében. A szinusz periodikussága a különböző tartományokon belüli lokális szélsőértékek jelenlétéből kivehető. A 6. táblázatban megadott, fafajonként különböző konstans tagok szerepe a következő:

- b_0 : szerepe a peremszög értékének (Θ) normalizálása, a valós peremszög érték tartományba,
- b_1 : a szemcseméret és a peremszög kapcsolatának viszonyszámát írja le. Értéke minél alacsonyabb, a peremszög értéke annál közelebb kerül a várható peremszög értékhez,
- b_2 : a peremszög adott tartományára vonatkozó fáziseltolás,
- b_3 : segítségével az elméleti modell közelítése valósulhat meg, értéke minél alacsonyabb, a peremszög értéke annál jobban közelíti az elméleti modell azonos szemcsefinomsághoz tartozó értéket,
- b_4 : fizikai értelme a szemcsefinomságok közti különbségek szemléltetése, segítségével a különböző szemcsefinomságok közti különbségekről kaphatunk információt,
- b_5 : a választott intervallumon ritkuló, módosított szinusz görbére való illesztést segíti elő. Mivel negatív periódusra vált, előjele negatív.

A meghatározott egyenlet segítségével lehetőségünk van a csiszolószemcse finomság értékének ismeretében kiszámítani a várható peremszög értékét desztillált víz alkalmazáskor, a vizsgált fajok esetében.

A különböző szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt fafelületek további feltérképezése érdekében, a vizsgálatok alapján meghatározott három, jól elkülöníthető érdességi szakaszhoz tartozó, legjellemzőbb csiszolószemcse finomságú papírral csiszolt felületeken pásztázó elektronmikroszkópos (Hitachi S3400, HITACHI Ltd., Japán) felvételeket készítettem (11. ábra).



11. ábra Pásztázó elektronmikroszkópos felvételek a meghatározott érdesség tartományokhoz tartozó jellemző csiszolószemcse finomságú csiszolópapírral csiszolt felületeken

(a: bükk, b: lucfenyő, c: nyír, d: kocsánytalan tölgy;

i: 60, ii: 220 és iii: 500 szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt felületek)

A három meghatározott érdesség tartomány bemutatásához a 60, a 220 és az 500 jelű szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt felületek kerültek kiválasztásra.

A kiválasztott felületeken készített SEM (Scanning Electron Microscope) felvételek elkészítésekor elsődleges szempont volt, hogy a felület nagysága (amelyen a felvételek elkészítésre kerültek), a peremszög méréskor alkalmazott folyadékcsepp által lefedett felület nagyságához (cseppátmérő közelítőleg: $0,5 \text{ mm} \leq d \leq 1 \text{ mm}$) minél inkább közelítsen. Ennek értelmében, a SEM képek készítésekor a felület $\sim 1000 \mu\text{m} * 800 \mu\text{m}$ méretben került megállapításra. Itt kell megjegyeznünk, hogy a felületre ejtett folyadékcsepp térfogata minden mérés esetében azonos volt. A felületen elterülő folyadékcsepp alakja, a felületi érdesség mértékétől és a felületen lévő barázdák elhelyezkedésétől függően amorf, nem pedig szabályos kör vagy ellipszis formát vett fel. Emiatt a f felületeken elterülő folyadékcseppek által lefedett felületrész nem állandó, ezzel szemben a csepp térfogatát állandó értéken tartottuk.

A pásztázó elektronmikroszkópos felvételeken jól láthatók a különböző szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt felületek közötti eltérések. A 60-as szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt felületek esetében, a felgyűrt rostok és a csiszolószemcsék által okozott roncsolás (széles hosszanti felületi barázdák) élesen kivehetők. Az egyre finomabb csiszolószemcse finomságú csiszolópapírral csiszolt minták képein jól érzékelhető az egyre kisebb mértékű roncsoló hatás, amely egyre kisebb mélységű, illetve szélességű barázdával jelenik meg a felületeken.

A 60-as szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt minták magas peremszög értékeire magyarázatot adhatnak a felületeken a csiszolópapír szemcséi által létrehozott mély és széles barázdák. A csiszolás során létrejött felületi barázdák a felületre ejtett folyadékcsepp felületen történő terülését fizikai akadályként gátolják, ezzel nehezítve a folyadékcsepp felületi rétegben történő felszívódását. Jelenlétükkel a csepp peremszögének csökkenését akadályozzák, ezáltal pedig a nedvesített felület méretének növekedését hátráltatják (3/b. ábra), illetve jelentős mértékben lassítják azt. A barázdák méretének csökkenésével párhuzamosan a fent leírt hatás csökken, azonban a finom, 400-as, 500-as és 600-as szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt felületeken, egyrészt a felületi réteg túl alacsony érdessége miatt, a folyadékcsepp felületbe való hatolása kis mértékben csökken, amelynek okozói a nanotopográfiai méretű (szélesség: $1 \mu\text{m}$ - 1 mm , mélység: $\leq 1000 \text{ nm}$) felületi karcok lehetnek. A legfinomabb szemcsefinomságú (400, 500 és 600) csiszolópapírral csiszolt felületeken mért érdesség értékek alátámasztják Wenzel (1936) elméletét, amely alapján a vizsgálatok során tapasztalt kismértékű peremszög növekedés – 400-as, 500-as és 600-as szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt minták esetében – a megfelelő nagyságú érdesség hiánya miatt következhet be.

5.1.4. A peremszög és érdességmérések összefüggéseinek kritikai értékelése

Mivel az érdesség és peremszög vizsgálatoknak alávetett faanyagok mindegyike megközelítőleg 12% nedvességtartalommal rendelkezett (7. táblázat), emiatt az

eredmények értékelésekor a nedvességtartalom befolyásoló hatásától eltekinthetünk, ennek köszönhetően tisztán a felületek megmunkálásából származó befolyásoló tényezők hatásait figyelhetjük meg, illetve ezekre vonatkozóan vonhatók le következtetések.

7. táblázat Különböző csiszolószemcse finomságú csiszolópapírral csiszolt faanyagok nedvességtartalma

Nedvességtartalom átlagértékek és szórás [%]							
Bükk		Lucfenyő		Nyír		Kocsánytalan tölgy	
\bar{x}	D	\bar{x}	D	\bar{x}	D	\bar{x}	D
11,7	0,12	11,4	0,15	10,9	0,28	12,6	0,25

\bar{x} - átlag; D – szórás

A vizsgált fafajok esetében, három, jól elkülöníthető érdesség tartomány fedezhető fel. Az első, élesen csökkenő peremszög értékekben megmutatkozó tartomány 60 és 100 szemcsefinomságok közt jelentkezik (10. ábra). A mért peremszög értékek (desztillált víz) alapján az első tartományban, az élesen csökkenő peremszög értékekhez, növekvő adhézió párosul, amely eredmény jól korrelál Csiha és Gurau (2011) korábbi PVAc ragasztóanyag felhasználásával, 60, 80 és 100 szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt, bükk mintatesteken végzett vizsgálati eredményeivel. Az említett publikációban a szerzők a 60-100 szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt bükk fafelületek esetében, csökkenő felületi érdesség (R_z) paraméterrel párhuzamosan növekvő adhéziót tapasztaltak, PVAc ragasztóanyag felhasználásával készített minták szakítószilárdsági vizsgálatokor. A faanyag felépítésétől (gyűrűs- vagy szórt likacsú lombos, illetve fenyő) függetlenül, a desztillált vízzel végzett mérések során tapasztalt magas peremszög értékek nagyobb fokú hidrofobicitásra, az alacsony peremszög értékek pedig magasabb mértékű hidrofilitásra engednek következtetni.

Bár a magasabb érdesség érték egyben mélyebb barázdáltságot (az R_z tényező figyelembevételével), ezáltal a felület jelentősebb mértékű növekedését jelenti, a felületre ejtett folyadékcsepp viselkedése alapján gyengébb fokú nedvesítés feltételezhető. Korábbi vizsgálatok alapján, a tapasztalható erősebb hiszterézis okozója a felület érdesítésével bevezetett mikroérdesség, amelyért azok a felületen létrejött éles barázdák a felelősek, amelyek a folyadékcsepp és a barázda érintkezési vonala mentén gátolják a folyadékcsepp terülését (Oliver et al., 1980).

A vizsgálati eredmények, illetve az illesztett görbe alapján megállapítható továbbá, hogy egy végtelenül magas szemcsefinomságú papírral csiszolt felületen megkaphatjuk az elméleti peremszög értéket egy adott fafajra.

5.2. Különböző folyadékok peremszögének, a felületek polaritásának és felületi energiájának változása természetes és mesterséges öregítés hatására, különböző fafajok esetében

A jelen dolgozat főbb témaköreinek egyike, a napsugárzás hatására faanyagok felületén bekövetkező módosulások peremszögre, illetve felületi energiára gyakorolt hatásának vizsgálata. A különböző fafelületeken napsugárzás hatására bekövetkező változások vizsgálatára természetes beltéri, illetve mesterséges öregítőberendezéssel végzett öregítési eljárások során került sor.

5.2.1. Hosszú időtartamú mesterséges öregítés hatása különböző folyadékok peremszögére, illetve a vizsgált fafelületek felületi energiájára

A beltéri, napsugárzás hatására bekövetkező öregedés szimulációja, valamint a hatására bekövetkező peremszög, illetve felületi energia változás vizsgálata, a mérések reprodukálhatósága érdekében, a napsugárzás szimulálására gyakran alkalmazott mesterséges öregítő berendezéssel öregített mintatestek felületén került elvégzésre.

A korábban, a 4.2.1. és 4.3 fejezetekben bemutatott módon, a mesterséges öregítésnek kitett fafelületeken, desztillált víz (poláris és diszperzív) (IV. sz. melléklet) és dijódmétán (diszperzív) (V. sz. melléklet) alkalmazása mellett végzett peremszög mérések eredményei, valamint az eredményekből számított felületi energia értékek öregítés hatására jelentős változásokat mutatnak, minden alkalmazott fafaj esetében.

Poláris és diszperzív folyadékok peremszögének változása mesterséges öregítés hatására

Mesterségesen öregített mintatestek esetében a peremszög változásának vizsgálatára két típusú tesztfolyadék alkalmazásával került sor, amelyek kétszer desztillált víz (poláris és diszperzív) és dijódmétán (diszperzív) voltak.

Az eltérő tesztfolyadékok fafelületeken mért peremszöge mesterséges öregítés során különböző módon változik, azonban fafajonként, a mesterséges öregítés hatására lezajló változások minőségében jelentős eltérés nem tapasztalható (12. ábra).

A kezdeti értékek tekintetében tapasztalható némi eltérés a különböző vizsgálatba bevont faanyagokon mért desztillált víz peremszög értékek közt. Magasabb peremszög érték – hasonlóan a különböző érdességű mintákon végzett eredményekhez - lucfenyő és kocsánytalan tölgy faanyagokon mérhető, amelyet, korábbi kutatások alapján (Jaić et al., 1996; Mantanis és Young, 1997; Gindl et al., 2001/a) a magasabb járulékos anyag tartalom okoz (5.1.2. fejezet).

Az eredményekből jól látható, hogy az öregítés teljes időtartama alatt bekövetkező változás lefolyása minden fafaj tekintetében hasonló módon következik be, az első 10 h alatt a desztillált víz peremszöge határozottan növekvő, majd az öregítés további időtartama során lassan csökkenő tendenciát vesz fel. A desztillált víz peremszög méréseinek (8. táblázat) eredményeiből kitűnik továbbá, hogy az öregítés időtartama végén, a vizsgált fafajokon a desztillált víz peremszöge a kezdeti, kontroll felületen mért értéknél alacsonyabb, amely alapján a faanyag jobb nedvesíthetőségére következtetünk.

A különböző tesztfolyadékok peremszög változása jól láthatóan különböző lefolyást mutat a mesterséges öregítés során (8. és 9. táblázat).

8. táblázat Desztillált víz átlagos peremszög értékei a mesterséges öregítés vizsgálati időpontjaiban

		Desztillált víz - Átlagos peremszög és szórás [°]							
		Bükk		Lucfenyő		Nyír		Kocsánytalan tölgy	
		\bar{x}	D	\bar{x}	D	\bar{x}	D	\bar{x}	D
A mesterséges öregítés időtartama [h]	0	45,30	3,86	87,05	5,33	52,91	3,19	63,30	3,82
	1	78,61	3,12	93,69	5,07	97,84	9,24	112,47	2,52
	3	104,95	3,42	111,83	5,54	120,22	4,01	118,81	3,43
	5	107,97	2,68	107,83	3,10	129,43	3,91	118,57	1,61
	8	111,92	3,08	101,96	2,78	118,83	4,32	114,48	3,18
	10	109,05	3,21	100,39	3,08	119,92	4,31	122,64	2,30
	15	108,02	2,59	83,55	6,45	111,37	10,55	115,53	3,05
	20	91,98	3,55	90,23	4,15	100,21	5,47	109,54	3,43
	30	74,15	5,21	70,41	5,27	84,34	2,34	105,79	2,93
	60	70,11	3,19	63,00	2,63	76,09	2,91	93,49	7,55
	96	23,58	4,29	32,33	5,63	31,00	4,98	54,97	8,66
	132	17,72	1,39	17,42	1,68	32,87	3,32	23,15	2,72
	174	24,46	3,94	31,34	3,92	28,79	3,95	26,48	3,09
	240	17,09	1,68	19,03	2,20	28,48	3,58	13,44	2,79

\bar{x} - átlag; D - szórás, **félkövér**: legmagasabb és legalacsonyabb érték/fafaj; 0 h: kontroll

A poláris és diszperzív tesztfolyadék peremszögének értéke, más kutatók által végzett mérésekhez hasonlóan (Gindl et al., 2006), a kontroll mintákat tekintve, illetve a mesterséges öregítés teljes időtartama alatt nagyságrendi eltérést mutat.

Az idézett publikációban összesen 180 perces öregítés során, előre meghatározott időpontokban (0, 10, 62, 125, 375 min) vizsgálták a peremszög változását, csiszolt (P400) teak és lucfenyő fafelületeken, különböző tesztfolyadékok alkalmazása mellett.

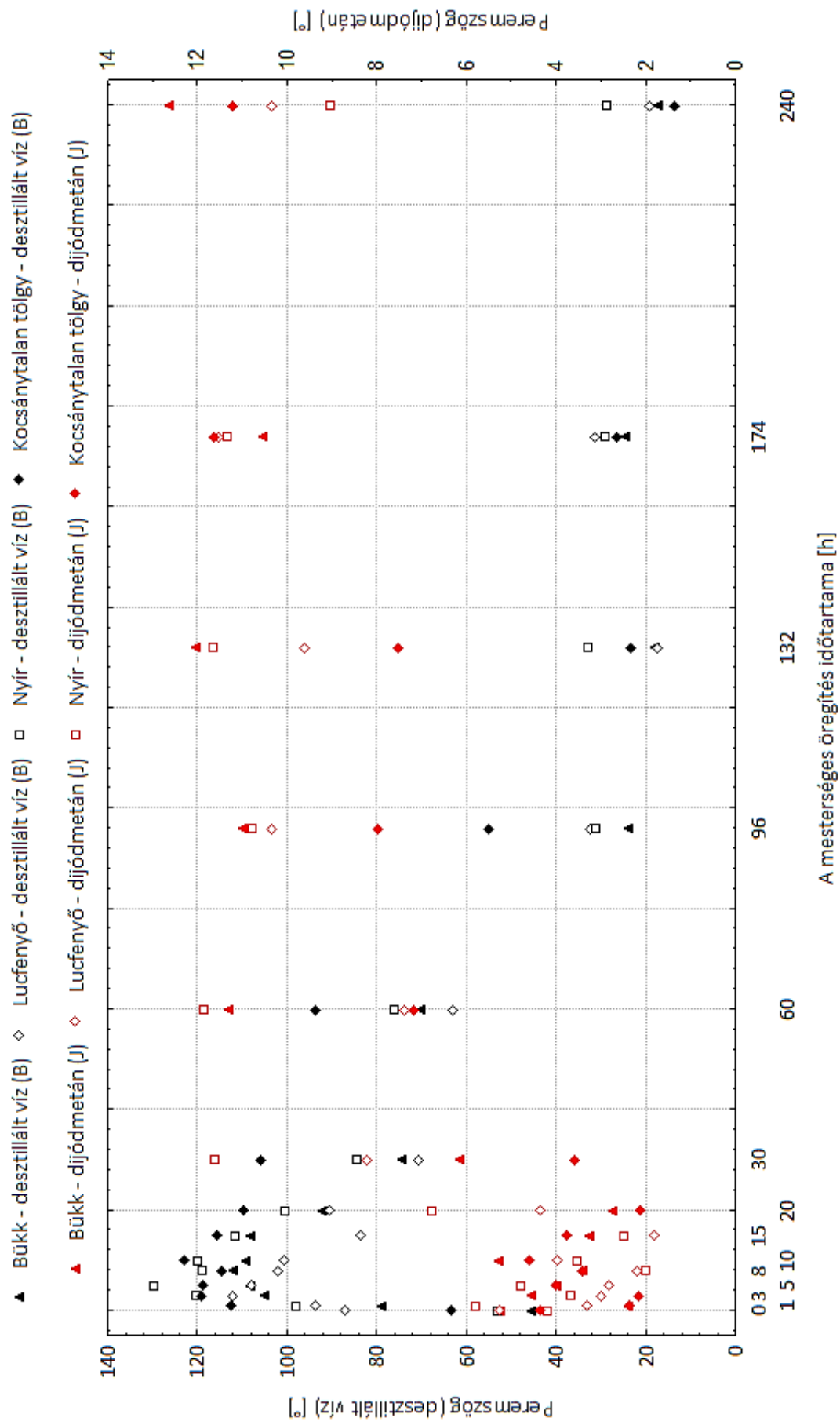
Annak ellenére, hogy a két kutatómunka közt mind megmunkálásbeli, mind pedig kivitelezésbeli különbségek fedezhetők fel, a létrejövő változások trendjében hasonlóságok fedezhetők fel. Jelen kutatómunkában a hivatkozott irodalomban alkalmazotthoz képest nagyságrendekkel hosszabb idejű mesterséges öregítésre került sor.

9. táblázat Dijódmétán átlagos peremszög értékei a mesterséges öregítés vizsgálati időpontjaiban

		Dijódmétán - Átlagos peremszög és szórás [°]							
		Bükk		Lucfenyő		Nyír		Kocsánytalan tölgy	
		\bar{x}	D	\bar{x}	D	\bar{x}	D	\bar{x}	D
A mesterséges öregítés időtartama [h]	0	5,24	1,11	5,23	0,80	4,19	0,44	4,34	0,75
	1	2,36	0,54	3,30	0,69	5,80	1,37	2,35	0,68
	3	4,54	1,03	2,97	0,95	3,68	1,03	2,13	1,00
	5	3,98	1,14	2,81	0,63	4,79	0,87	4,00	0,63
	8	3,39	0,68	2,19	0,63	1,97	0,71	3,39	0,63
	10	5,28	0,71	3,94	0,84	3,51	0,70	4,57	0,65
	15	3,24	0,76	1,79	0,75	2,48	0,70	3,76	0,74
	20	2,70	0,69	4,34	1,66	6,75	1,33	2,11	0,56
	30	6,12	1,17	8,19	0,71	11,62	1,33	3,59	1,36
	60	11,28	1,51	7,38	1,25	11,85	1,58	7,15	0,52
	96	10,99	1,51	10,31	1,32	10,77	1,11	7,96	0,58
	132	12,01	1,33	9,59	1,03	11,63	1,11	7,50	0,61
	174	10,52	1,99	11,51	1,72	11,33	1,86	11,63	0,97
	240	12,60	1,54	10,33	1,54	9,04	1,58	11,22	1,62

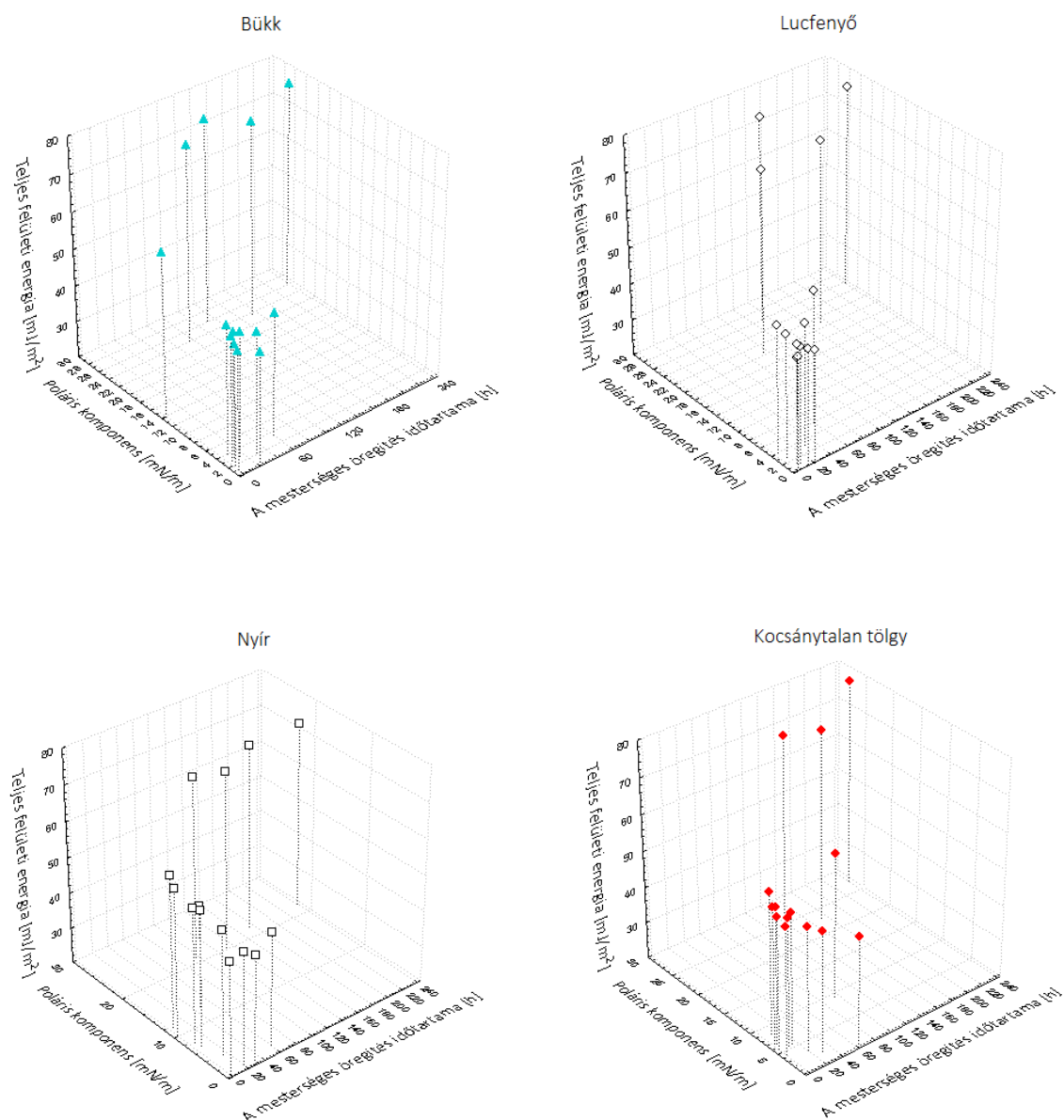
\bar{x} - átlag; D - szórás, **félkövér**: legmagasabb és legalacsonyabb érték/fafaj; 0 h: kontroll

Desztillált víz esetében a mesterséges öregítés első 10 órás szakaszában növekedés tapasztalható, díjódmétán alkalmazásakor a mesterséges öregítés ugyanezen időintervallumban csökkenés, illetve stagnálás érzékelhető (12. ábra). Díjódmétán peremszögét tekintve, a mesterséges öregítés további, nagyobb része során növekedés tapasztalható, amelynek mértéke elmarad a desztillált víz esetében tapasztalható változásoktól, díjódmétán alkalmazása mellett jellemzően alacsony peremszög érték mérhető minden vizsgált fafaj tekintetében.



12. ábra Desztillált víz és díjódmetán peremszögének változása mesterséges öregítés során (0-240h, 0h: kontroll, átlagértékek).
 (desztillált víz – B: bal függőleges tengely, díjódmetán – J: jobb függőleges tengely)

Dijódmétán peremszög értékeiben bekövetkező legnagyobb változás $\sim 10^\circ$ (bükk: $10,24^\circ$; lucfenyő: $9,72^\circ$; nyír: $9,88^\circ$; kocsánytalan tölgy: $9,52^\circ$), amely alapján elmondható, hogy diszperzív folyadék esetében csekély mértékű változás következik be a teljes öregítés időtartamát tekintve. Az eredmények alapján a poláris és diszperzív folyadék peremszöge nagyságrendileg nagyobb mértékű változáson megy keresztül a mesterséges öregítés teljes idejét tekintve, mint a diszperzív folyadéké. A poláris és diszperzív, illetve diszperzív folyadékok peremszöge alapján számított felületi energia változását elsősorban a poláris és diszperzív (desztillált víz) folyadék peremszög változásából keletkezik (13. ábra), amely a mesterséges öregítés hatására bekövetkező felületi polaritás változásra utal. A polaritás változásának oka elsősorban a felületi kémiai összetevők közt keresendő.



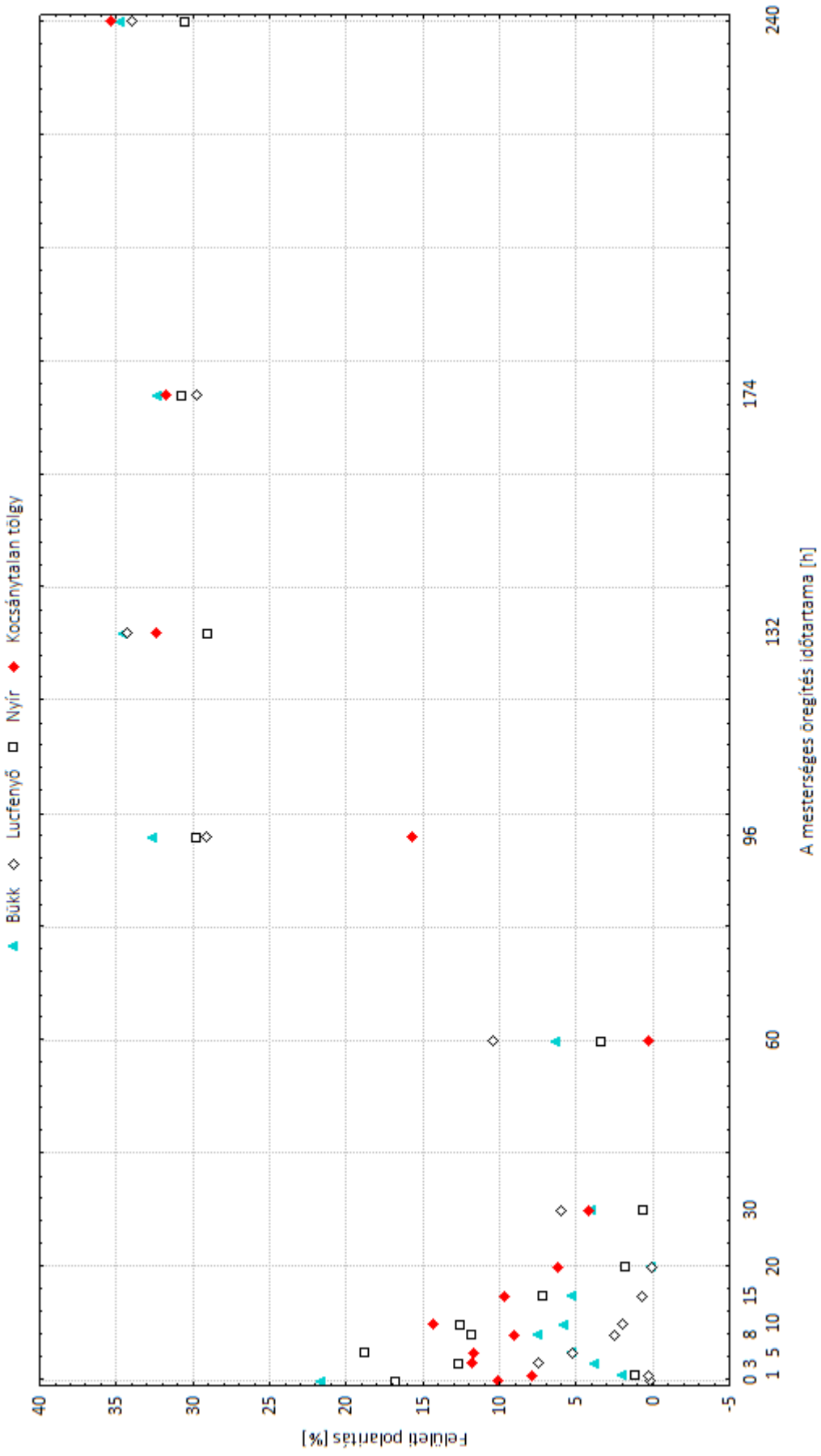
13. ábra A teljes felületi energia változása a poláris összetevő és a mesterséges öregítés függvényében

Mesterséges öregítés hatására bekövetkező polaritás változás fafelületek esetében

A poláris és diszperzív folyadékok peremszögének változása alapján a felületek polaritásának változására következtethetünk. Poláris felületeken poláris, apoláris jellegű felületeken pedig apoláris folyadékok terülnek jobban, a felületeken mért peremszög változása, amely desztillált víz alkalmazásakor jelentősebb változást mutat, arra enged következtetni, hogy a felületek öregedésük során olyan kémiai változásokon mennek keresztül, amelyek a polaritást nagy mértékben befolyásolják, illetve módosítják.

A fent leírt, desztillált vízzel végzett peremszög mérések eredményeire a felületi polaritás jelentős mértékű változása ad választ (14. ábra), amely a mesterséges öregítés teljes időintervalluma alatt nagy változáson megy keresztül. A polaritás mesterséges öregítés során lezajló változása olyan mértékű, amely a desztillált vizet, mint poláris és diszperzív folyadékot, illetve annak nedvesítését és terülését befolyásolja, azonban a dijódmutánra, mint diszperzív folyadékokra és annak terülésére jelentős befolyással nincs.

A dijódmutánál végzett peremszög vizsgálatok csak kismértékű változást mutatnak a teljes öregítés idejét tekintve, azonban a dijódmután peremszögének változása jól láthatóan előre jelzi a felületek polaritásának változását. A 12. és a 14. ábrákon jól kivehető, hogy a dijódmután peremszög változásakor, illetve a polaritás változásakor felvett trend hasonló. Mivel a polaritás változása (növekedés, 30, illetve 60 h és 174, illetve 240 h besugárzási idők közt), azaz a felületek egyre polárosabb jellege nem haladja meg a ~ 30-35 % mértéket, az a dijódmután peremszögében sem okoz jelentős változást, vagyis - a desztillált víz peremszögében tapasztalt különbségekhez viszonyítva - annak terülése sem változik nagymértékben, mindössze a terülés minőségében tapasztalható kismértékű csökkenés.



14. ábra A felületi polaritás változása faanyagok mesterséges öregítése során (0-240h, Oh: kontroll, átlagértékek)

A vizsgált faanyagok felületi energiájának változása mesterséges öregítés során

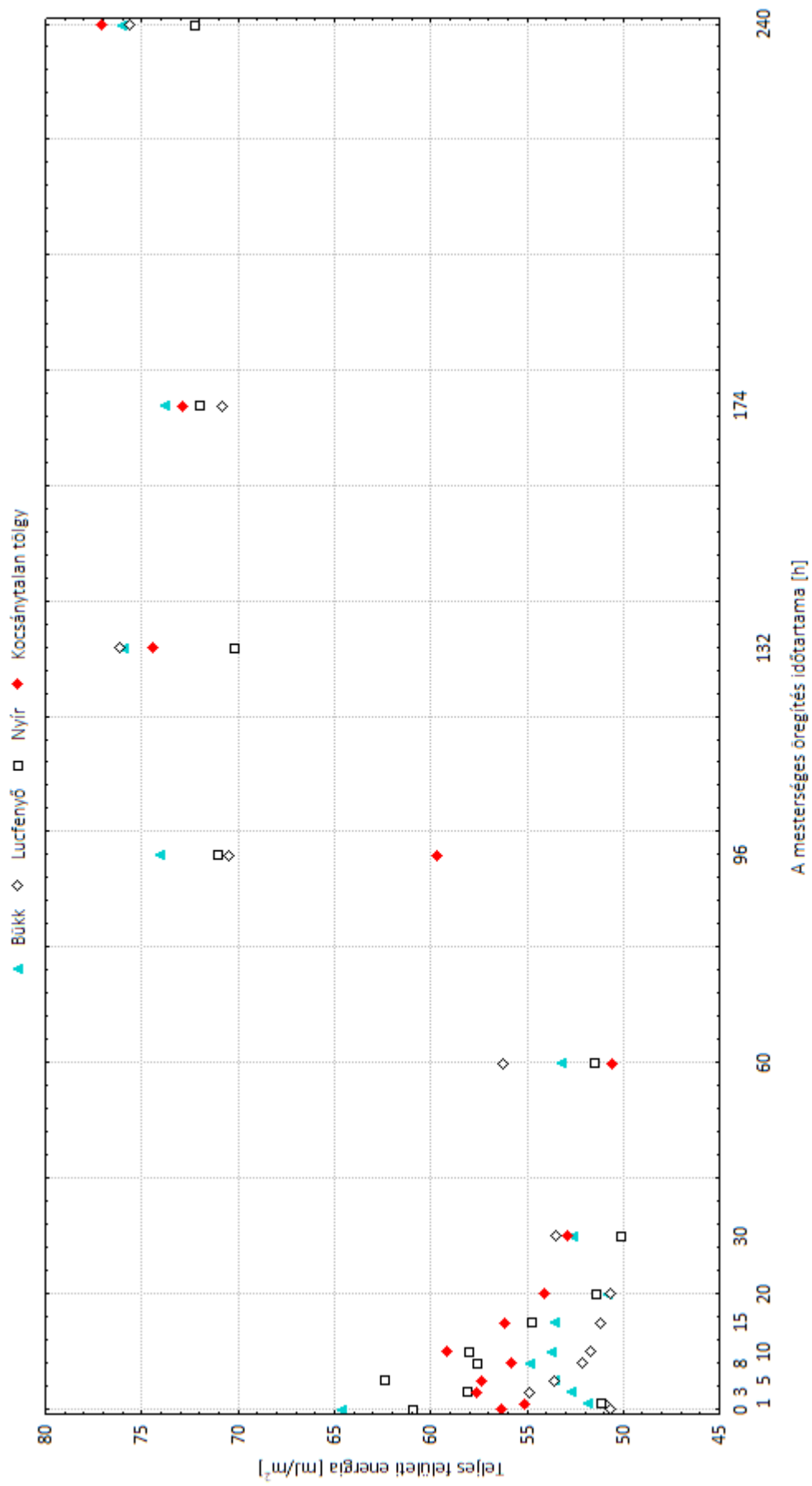
Felületi energia tekintetében a legjelentősebb változás a mesterséges öregítés első 96 órájában következik be (15. ábra).

Jól érzékelhető módon, a felületi energia értéke a kezdeti (0h, kontroll) értékhez képest, 1 h időtartamú besugárzás hatására csökkenést mutat bükk és nyír fafajok esetében, míg fenyő és kocsánytalan tölgy felületeken értéke stagnál. Ebből a folyadékok területének és nedvesítésének, tehát a felületek nedvesíthetőségének kismértékű romlására következtethetünk (10. táblázat).

10. táblázat Különböző faanyagok felületi energiájának változása hosszú idejű mesterséges öregítés során

		Átlagos felületi energia és szórás [MJ/m ²]							
		Bükk		Lucfenyő		Nyír		Kocsánytalan tölgy	
		\bar{x}	D	\bar{x}	D	\bar{x}	D	\bar{x}	D
A mesterséges öregítés időtartama [h]	0	64,56	1,87	50,65	0,27	60,89	1,50	56,30	1,44
	1	51,81	0,60	50,85	0,41	51,10	1,73	55,05	0,90
	3	52,61	0,92	54,80	1,92	58,07	1,76	57,56	1,51
	5	53,48	0,80	53,51	1,00	62,30	1,93	57,34	0,67
	8	54,80	1,12	52,06	0,61	57,57	1,85	55,74	1,23
	10	53,70	1,00	51,66	0,59	57,96	1,87	59,09	1,03
	15	53,54	0,76	51,10	0,82	54,66	3,66	56,12	1,25
	20	50,79	0,21	50,66	0,17	51,37	1,11	54,07	1,11
	30	52,59	1,24	53,48	1,79	50,07	0,40	52,89	0,89
	60	53,20	1,02	56,22	1,07	51,44	0,77	50,52	0,50
	96	74,02	1,55	70,47	2,49	71,03	2,09	59,68	3,87
	132	75,87	0,41	76,14	0,49	70,11	1,56	74,42	0,97
	174	73,73	1,53	70,81	1,64	71,93	1,61	72,86	1,22
	240	76,00	0,55	75,61	0,75	72,24	1,47	77,04	0,71

\bar{x} - átlag; D - szórás, **félkövér**: legmagasabb és legalacsonyabb érték/fafaj; 0 h: kontroll



15. ábra A felületi energia változása faanyagok mesterséges öregítése (0-240h) során (átlagértékek)
(0h: kontroll)

Az első órát követő rövid szakaszban eltérő mértékű felületi energia növekedés következik be, amely fafajonként változó időtartamú sugárzás hatására tapasztalható. Bükk esetében a növekedő tendencia 8 h, lucfenyő esetében 3 h, nyír és kocsánytalan tölgy felületeken 5 h időtartamú besugárzási ideig tart, amely növekedésből a felületek kissé javuló nedvesíthetőségére következtethetünk.

Az első 3-8 h öregítést követően bükk és nyír faanyag esetében 30 h időtartamú besugárzási ideig lassan csökkenő tendencia mutatható ki felületi energia tekintetében. Lucfenyőn hasonló mértékű csökkenés tapasztalható, azonban ez a szakasz rövidebb ideig tart (20 h). Kocsánytalan tölgy fafelületeken a felületi energia a rövid idejű növekvő szakaszt (1-5 h) követően újabb 3 h időtartamú besugárzás hatására ($\Sigma 8$ h) csökken, ezt követően további 2 h ($\Sigma 10$ h) sugárzás hatására növekszik, majd 60 h besugárzási ideig fokozatosan csökken.

A mesterséges sugárzás további vizsgált ideje alatt bükk, lucfenyő és nyír fafajok esetében 96 h besugárzási ideig élénk növekedés tapasztalható, ezt követően, 240 h besugárzási ideig változatlan értékek láthatóak. Kocsánytalan tölgy faanyag esetében a 60 h besugárzást követően nagymértékű növekedés tapasztalható felületi energia tekintetében, amely növekvő szakasz egészen 132 h sugárzási időpontig tart. Ezt követően, a besugárzás fennmaradó ideje ($\Sigma 108$ h) alatt, a 240 h időpontban végzett utolsó mérésorozatig állandósult szakasz következik.

A mesterséges öregítés hatására bekövetkező felületi energia változás vizsgálati eredményei azt mutatják, hogy különböző faanyagok felületén a hidrofób karakter erősödése rövid idejű (≤ 60 h) besugárzás esetén tapasztalható. Az ezt követő besugárzási intervallumban a felületi energia növekedése figyelhető meg, fafajtól, azok járulékos anyag tartalmától és annak arányától, illetve összetételétől függetlenül. Hosszú idejű besugárzás hatására ($240 \text{ h} \leq$) a felületi energia – feltehetően a felületi rétegben jelenlévő hidrofób természetű anyagok teljes bomlásának hatására – a kezeletlen, kontroll mintákon mérhető felületi energia értékéhez képest növekszik, a felületek hidrophil karakterének erősödése tapasztalható.

5.2.2. Faanyagok felületén mesterséges öregítés hatására bekövetkező felületi energia változások kritikai értékelése

A vizsgálati eredmények alapján megállapított, hosszú időtartamú mesterséges sugárzás hatására bekövetkező felületi energia növekedés korábbi vizsgálatok (Gindl et al., 2006) során tapasztalt változásokhoz hasonló módon következik be. A felületi energia növekedés alapján az öregítéssel aktivált felületek adhéziós tulajdonságainak javulása feltételezhető, és amelynek okozója a fafelületek kémiai összetételének öregítés hatására bekövetkező változása. Az öregítés során létrejövő ablációs hatás folyamataként, nedvesíthetőség-csökkentő hatással bíró anyagok tűnnek el, illetve alakulnak át a faanyagok felületén (Gindl et al., 2006).

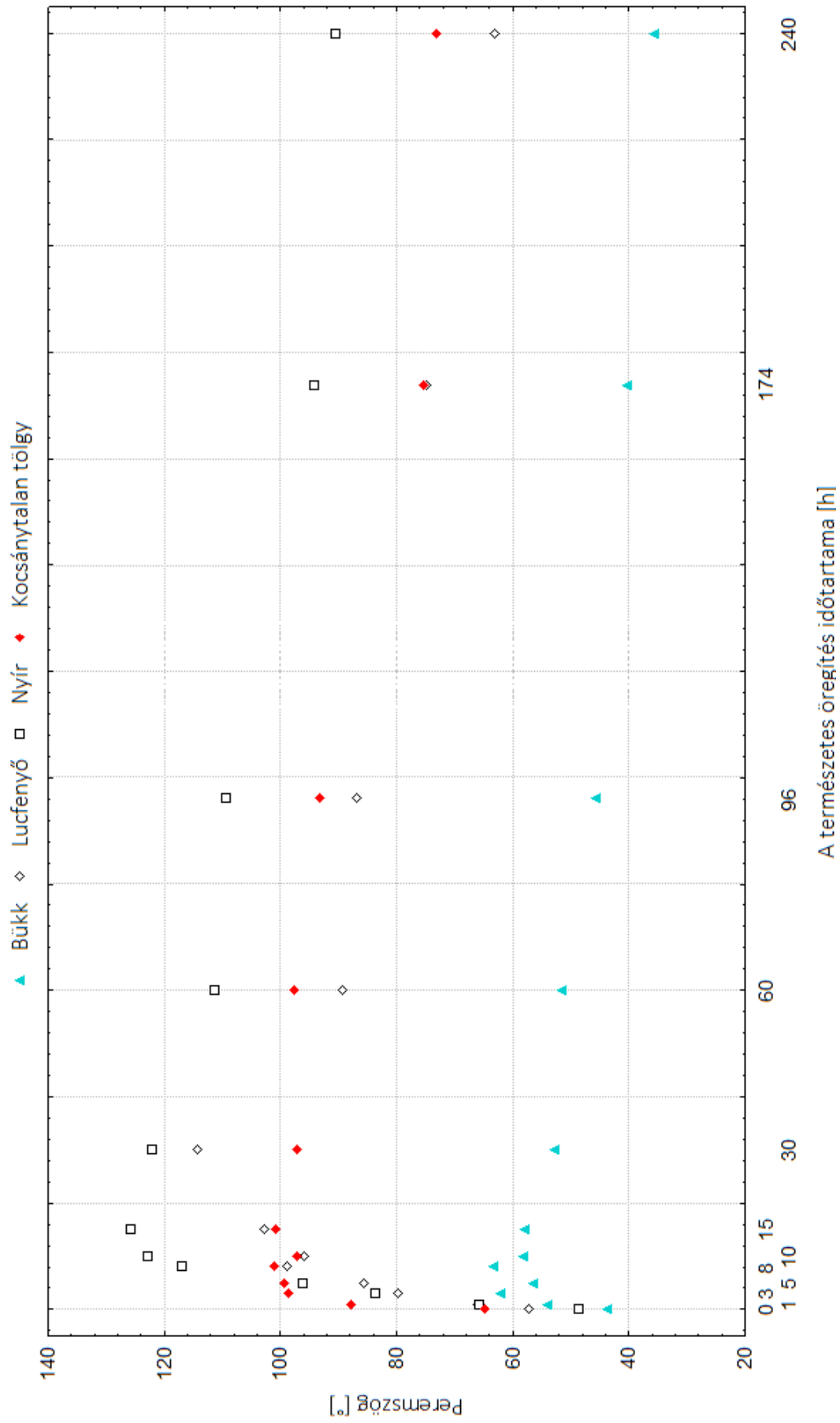
5.2.3. Természetes öregítés hatására lezajló peremszög változások értékelése

A korábban bemutatott módon, a természetes beltéri öregítésnek kitett fafelületeken, desztillált víz alkalmazása mellett végzett peremszög mérések eredményei (III. sz. melléklet) jelentős változásokat mutatnak az öregítés időtartama alatt, minden alkalmazott fafaj esetében (16. ábra). A változás jellege minden fafaj tekintetében hasonló módon zajlik le, az első 15-30 h intervallumban élesen növekvő, majd a kitettség további időszakában lassan csökkenő tendenciát vesz fel.

A természetes öregítés első órájában a legjelentősebb peremszög változás kocsánytalan tölgy ($22,9^\circ$) és nyír ($17,37^\circ$) mintatesteken tapasztalható, bükk ($10,165^\circ$) és lucfenyő ($8,63^\circ$) esetében kisebb mértékű változás észlelhető.

A teljes kitettség idejére vonatkozóan, a legmagasabb peremszög értékek nyír mintatesteken voltak mérhetőek (legmagasabb átlagérték: $125,93^\circ$).

Bár a különböző fafajú mintatesteken mérhető peremszögek változása a teljes kitettség ideje során hasonló trend mentén változik, a maximumok tekintetében kisebb eltérés tapasztalható. Bükk és kocsánytalan tölgy esetében a maximális peremszög átlagérték a kitettség 8. órájában, lucfenyő esetében a 30. órát követően, nyír esetében pedig 15 órányi kitettség után volt tapasztalható. A 16. ábrán jól kivehető a peremszög változás jellege, amely jól láthatóan a kitettség első 30 órájában változik a legintenzívebb módon (minden fafaj esetében ebben a szakaszban található a lokális maximum pont is). A vizsgált fafajok tekintetében, a kontroll mintákhoz képest, a 8 és 30 h időtartamok közti szakaszban mérhető a legmagasabb peremszög eltérés desztillált víz alkalmazása mellett.



16. ábra Desztillált víz peremszögének változása természetes öregítés (0-240h) során (átlagértékek)
(0h: kontroll)

A második, lassan csökkenő szakaszt tekintve, a különböző fajú fafelületek között szintén eltérés tapasztalható. Bükk mintatestek peremszög értékeit tekintve a kezdeti, kontroll értékhez (43,89°) viszonyítva, a beltéri öregítés teljes időtartamát követően alacsonyabb (35,74°) peremszög érték mérhető (11. táblázat). Lucfenyő mintatesteken a kontroll értéknél 5,84°-kal, nyír faanyag esetében 42,07°-kal magasabb, kocsánytalan tölgy felületeken pedig 8,2°-kal magasabb peremszög érték mérhető.

A legalacsonyabb átlagértékeket tekintve szintén eltérés tapasztalható a különböző fafajú minták között. Miközben lucfenyő, nyír és kocsánytalan tölgy esetében a legalacsonyabb átlagos peremszög a frissen megmunkált felületeken mérhető, bükk esetében a 240 h időtartamú kitettséget követően tapasztalható a legalacsonyabb átlagérték, amely a frissen csiszolt (kontroll) felületen mért értékek átlagánál 8,15°-kal alacsonyabb. A teljes kitettség során, bükk mintatesteken tapasztalható a legkisebb mértékű változás. A legalacsonyabb és legmagasabb peremszög átlagértékek közti eltérés bükk faanyag esetében 27,59°, lucfenyő mintatesteken 56,85°, nyír felületeken 77,37°, kocsánytalan tölgy esetében pedig 36,13°.

11. táblázat Desztillált víz peremszög értéke a beltéri öregítés vizsgálati időpontjaiban

		Átlagos peremszög érték és szórás [°]							
		Bükk		Lucfenyő		Nyír		Kocsánytalan tölgy	
		\bar{x}	D	\bar{x}	D	\bar{x}	D	\bar{x}	D
A természetes beltéri öregítés időtartama [h]	0	43,90	4,35	57,37	7,55	48,56	5,95	64,87	6,68
	1	54,06	4,50	66,00	5,24	65,93	5,66	87,77	5,26
	3	62,17	3,77	79,77	9,82	83,63	2,80	98,75	4,77
	5	56,59	6,32	85,76	7,18	96,27	3,38	99,33	5,47
	8	63,34	6,01	98,77	8,89	116,88	8,29	101,00	7,32
	10	58,23	6,29	95,95	6,96	122,94	2,99	97,23	8,47
	15	57,88	5,49	102,84	3,50	125,93	2,25	100,79	7,00
	30	52,84	3,92	114,22	4,76	122,27	2,19	97,16	7,40
	60	51,71	3,96	89,42	9,68	111,50	2,72	97,70	4,94
	96	45,84	5,22	86,87	9,37	109,39	2,65	93,37	5,49
	174	40,36	5,71	74,87	10,36	94,26	2,12	75,35	3,32
240	35,74	4,55	63,21	11,77	90,63	3,47	73,07	4,73	

\bar{x} - átlag; D - szórás, **félkövér**: legmagasabb és legalacsonyabb érték/fafaj; 0 h: kontroll

5.2.4. A természetes és mesterséges öregítés hatására bekövetkező változások összehasonlítása, különös tekintettel a hidrofobicitásra, illetve hidrofilitásra

A természetes és mesterséges öregítés hatására bekövetkező peremszög-változások között párhuzam fedezhető fel (17. ábra), a természetes és mesterséges öregítés kezdeti (első 15-20 h) időintervallumában a peremszög változása hasonló módon zajlik le, az öregítő berendezés xenon izzója és a nap sugárzási spektrumai közt lévő jelentős eltérések ellenére.

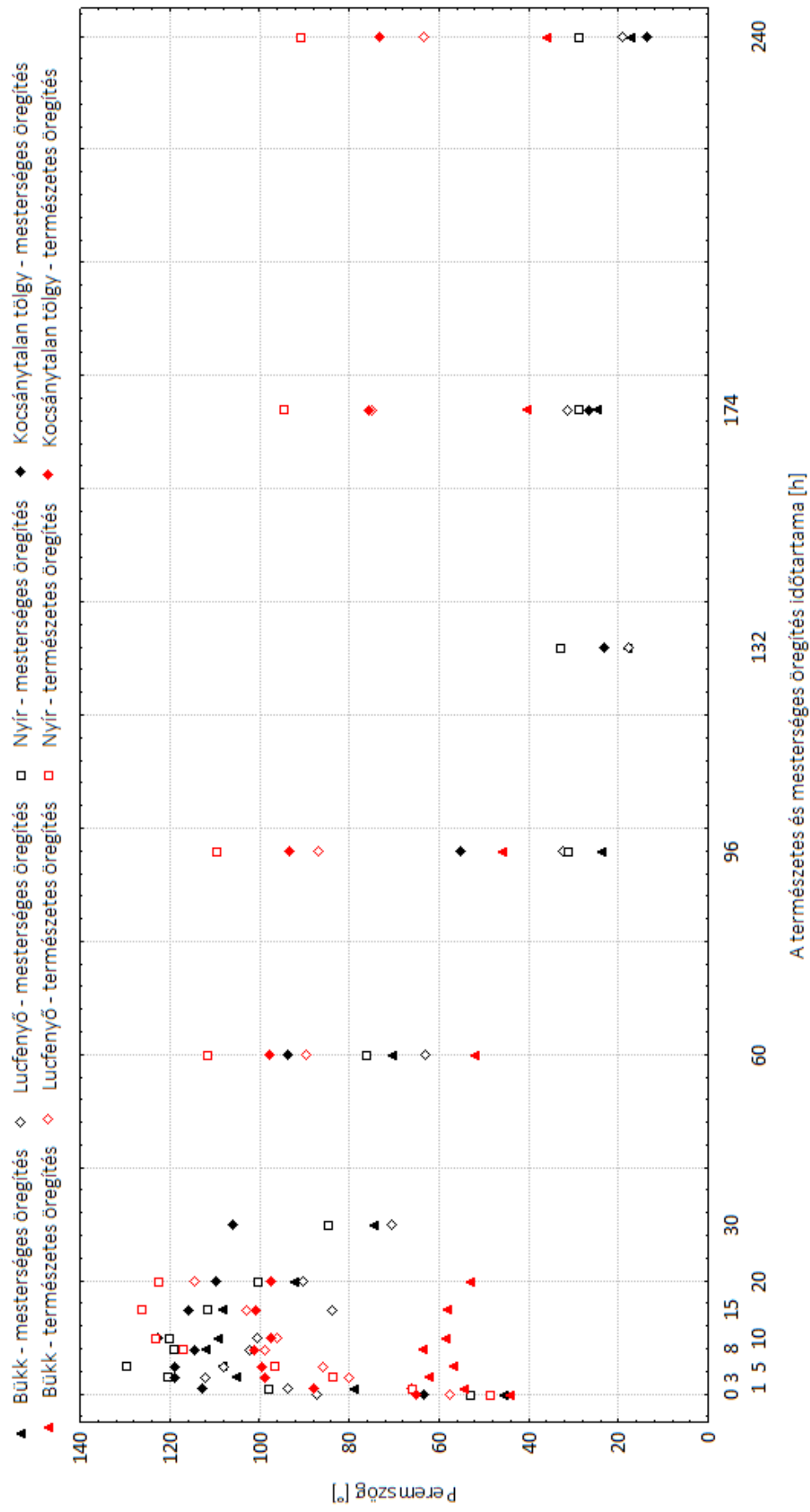
A kezdeti, kontroll mintákon mért peremszög értékeket tekintve, lucfenyő faanyag esetében a mesterséges és természetes sugárzásnak kitett felületek átlagos peremszög értéke között jelentősebb eltérés tapasztalható, a többi faanyag mintán mérhető értékek közti eltéréshez képest. Ez a különbség a későbbi öregítési idő intervallumban lecsökken és a többi fafajhoz hasonlóan egyensúlyba kerül.

A két különböző típusú öregítés hatására bekövetkező peremszög változás között különbség fedezhető fel, amely az öregítés későbbi, 60 – 240 h időintervallumú szakaszában tapasztalható. Ezen időszak során a mesterséges öregítésnek alávetett mintákon tapasztalható peremszög változás nagyobb mértékű, mint a természetes öregítésnek kitett mintatesteken megfigyelhető. Ennek magyarázata, hogy az öregítő berendezés izzója széles spektrumban ad le konstans teljesítményt, miközben a napsugárzás spektruma differenciálódik (időjárási tényezők), továbbá az ablaküveg reflexiók tulajdonsága miatt a napsugárzás bizonyos spektrumainak hatása lecsökken.

A természetes öregítésnek kitett mintatesteken mérhető peremszög értéke, csak bükk faanyag esetében csökken a kezdeti kontroll (0 h) mintákon mérhető érték alá ($-8,2^\circ$). A többi vizsgált fafaj esetében a 240 h ideig öregített minták felületén mérhető peremszög értéke a kontroll mintákon mérhető érték felett marad (lucfenyő: $+5,8^\circ$; nyír: $+42,1^\circ$; kocsánytalan tölgy: $+8,2^\circ$).

Ezzel párhuzamosan a mesterségesen öregített mintatesteken mérhető peremszög átlagértéke minden vizsgált fafaj esetében, jelentősen nagyobb mértékben, átlagosan $42,6$ fokkal (bükk: $-28,21^\circ$; lucfenyő: $68,02^\circ$; nyír: $24,43^\circ$; kocsánytalan tölgy: $49,86^\circ$) csökken a kezdeti érték alá. Ennek magyarázata szintén a különböző sugárzásforrások, illetve sugárzások közti eltérésekben keresendő.

A párhuzamosan elvégezett vizsgálatsorozatok eredményei alapján megállapítható, hogy a napfény hatására bekövetkező öregedés kisebb mértékű, eltérő változást okoz peremszög tekintetében a mesterségesen szimulált öregítéshez képest. Ebből arra következtethetünk, hogy a mesterséges besugárzás konstans teljesítménye, a napfényéhez viszonyítva nagyobb mértékű, illetve eltérő változást okoz fafelületeken peremszög tekintetében.



17. ábra Desztillált víz peremszögének változása természetes és mesterséges öregítés (0-240h) során, különböző faanyagok esetében (átlagértékek) (0h: kontroll)

5.3. A totál-fenol és az összes kioldható szénhidrát tartalom vizsgálatok eredményeinek értékelése

A napsugárzás, illetve az imitálására alkalmazott mesterséges öregítő berendezés fényforrásának sugárzása, a 3.1.4. fejezetben tárgyaltaknak megfelelően a fafelületek felső, vékony rétegébe (~75 – 100 µm) képes behatolni. A totál-fenol és összes kioldható szénhidrát tartalmat, minden vizsgált fafaj esetében az előre meghatározott, felső 75-100 µm vastagságú leválasztott réteg felhasználásával készített extraktumok vizsgálatával határoztam meg (VII. MELLÉKLET), így biztosítva, hogy a vizsgálatok során kizárólag a faanyag felső, fotodegradációt elszenvedett rétegében bekövetkező változásokat detektáljuk.

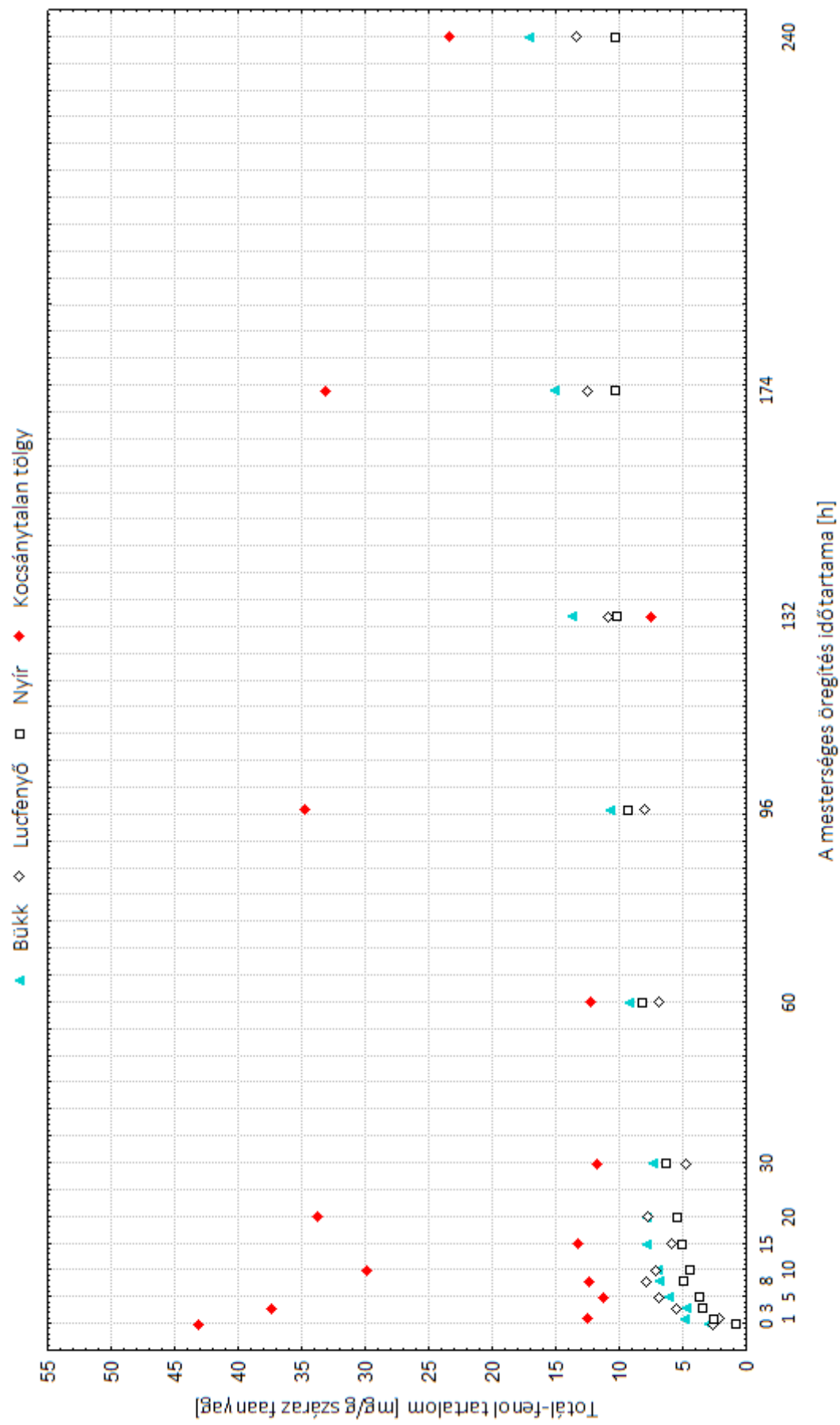
5.3.1. A totál-fenol tartalom vizsgálatok eredményeinek értékelése

A 4.5.3. fejezetben bemutatott módon elvégzett totál-fenol tartalom vizsgálatok, a különböző faanyagokban jelenlévő fenolos extrakt anyagok mennyiségi változásának detektálására kerültek elvégzésre. A fenolos anyagok a felületi energia változását jelentős mértékben befolyásolják (5.2.1. fejezet), a felületekre ejtett poláris és diszperzív folyadékcsepp nedvesítését, ezáltal a fafelület nedvesíthetőségét jelentős mértékben módosítják.

A mesterséges öregítés kezdeti, néhány órás szakaszában, a totál-fenol vizsgálat elsősorban a járulékos anyagokban jelenlévő, illetve fotodegradáció hatására azokból keletkező fenolos anyagok mennyiségi kimutatására alkalmas. A későbbi, hosszabb idejű besugárzás hatására létrejövő fenolos anyagok (a fenolos extrakt anyagokon túl) a lignin, mint polifenolos anyag bomlásából származó kisebb, fenolos egységek mennyiségét, illetve mennyiségi változását jelzik.

A totál-fenol tartalom vizsgálatok eredményeiből (18. ábra) megállapítható, hogy a különböző faanyagok felületi rétegében az extrahálható fenolos anyagok egyre lassuló ütemben növekvő mennyiségben vannak jelen a mesterséges öregítés teljes időtartama alatt, illetve kismértékű telítődés figyelhető meg bükk, lucfenyő és nyír faanyagok esetében 30 és 60 h besugárzási idők közt.

Az említett telítődés - a mennyiségi változás bükk, lucfenyő és nyír faanyagokon tapasztalható változásához képest ellentétes iránya ellenére -, kocsánytalan tölgy faanyag esetében szintén tapasztalható. A mesterségesen öregített tölgy faanyag vizsgálatokor, a mintatestek totál-fenol tartalom értékei között nagymértékű ingadozás figyelhető meg az öregítés teljes időtartama alatt. Az ingadozásra magyarázatot ad, hogy a jellemzően magas extrahálható járulékos anyag tartalommal rendelkező faanyagok felületén hirtelen fellépő, heves kémiai változások mennek végbe. E változások hatására különböző kémiai vizsgálatok során kiugró adatokat eredményeznek más, alacsonyabb extrakt anyag tartalmú faanyagokhoz viszonyítva, így nehezítve az eredmények kiértékelését.



18. ábra A total-fenol tartalom változása különböző fajok esetében, mesterséges öregítés (0-240h) hatására (átlagértékek)
(0h: kontroll minta)

A totál-fenol tartalom vizsgálati eredményeket tekintve, a mesterséges öregítés teljes időtartama során, a fenolos, azaz jellemzően hidrofób tulajdonságú anyagok növekvő mennyisége miatt, desztillált vízzel végzett peremszög vizsgálatok eredményeiben folyamatosan (bár egyre lassuló ütemben) növekvő tendencia lenne elvárható. Ezzel ellentétben, a desztillált vízzel végzett peremszög vizsgálatok során (5.2.1. fejezet) a kezdeti 15-20 h időintervallumban növekvő, majd fokozatosan csökkenő tendencia mutatható ki. Erre a jelenségre magyarázatot ad a totál-fenol és összes kioldható szénhidrát tartalom vizsgálati eredmények egyidejű tanulmányozása.

5.3.2. A totál-fenol tartalom vizsgálatok kritikai értékelése

Korábbi kutatások során (Zahri et al., 2007) tölgy faanyagok esetében (kocsányos és kocsánytalan), hosszú idejű (216h) UV sugárzás hatására a totál-fenol tartalom a kezdeti érték 60%-ra csökken. Ezzel egyezően a jelen kutatás során elvégzett vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy kocsánytalan tölgy faanyag esetében a totál-fenol tartalom jól láthatóan (18. ábra) csökkenő tendenciát mutat (az eredeti érték 54%-ra csökken). Az egymást követő mérési időpontokban mért, száraz faanyagra vonatkoztatott totál-fenol tartalom értékei között nagymértékű ingadozás érzékelhető.

A két vizsgálati sorozat között szembetűnő különbség az extrahálás módjában, illetve a mesterséges fénysugárzás mérési ciklusai közt található. Míg jelen kutatómunka esetében alkoholos extrakció – mint leggyakrabban alkalmazott módszer (Nguyen és Johns, 1979/b) - került alkalmazásra, a fenti, Zahri és munkatársai (2007) által végzett kutatásban extrahálásra alkalmazott folyadék kétszer desztillált víz volt. A mérési ciklusok Zahri és munkatársai (2007) által végzett kutatás során **0 h** (0 h – kontroll), **3 h**, **24 h**, 72 h, **96 h**, 120 h, 144 h, 192 h, illetve **216 h** voltak. Jelen kutatásban a totál-fenol vizsgálatok **0 h**, 1 h, **3 h**, 5 h, 8h, 10 h, 15 h, **20 h**, 30 h, 60 h, **96 h**, 132 h, 174 h, illetve **240 h** (félkövér: a két kutatásban közelítőleg azonos mérési időpontok) időpontokkor kerültek meghatározásra. A közelítőleg azonos mérési időpontok (0 h, 3 h, 20 h – 24 h, 96 h, illetve 216 h - 240 h) adatait tekintve, mindkét kutatás mérési eredményei alapján csökkenő tendencia mutatható ki totál-fenol tartalom tekintetében, kocsánytalan tölgy faanyag esetében. A további, különböző időpontokban mérhető totál-fenol tartalom eredmények között jelentős mértékű különbség fedezhető fel, amely a különböző helyről származó, különböző fenolos extrakt anyag összetétel hatására alakulhat ki, így módosítva a fenolos összetevők mennyiségére vonatkozó vizsgálati eredményeket. További magyarázatot adhat a két kutatás eredményei közti különbségekre a jelen kutatómunkában alkalmazott metanol, mint extraháló szer alkalmazása, amely Viriot és munkatársai (1994) szerint, bizonyos tölgy faanyagokban jelen lévő fenolos összetevők bomlásában szerepet játszhat, így módosítva a fenolos összetevők mennyiségére vonatkozó vizsgálati eredményeket.

A, Zahri és munkatársai (2007) által végzett kutatómunka elsődleges célja a tölgy fafelületeken detektált színváltozás (DL*, Da*, Db* és DE*) fenolos összetevőkkel (gallusz- és ellágsav) való összefüggésének bizonyítása volt, de nem vizsgálták a felületi energiával

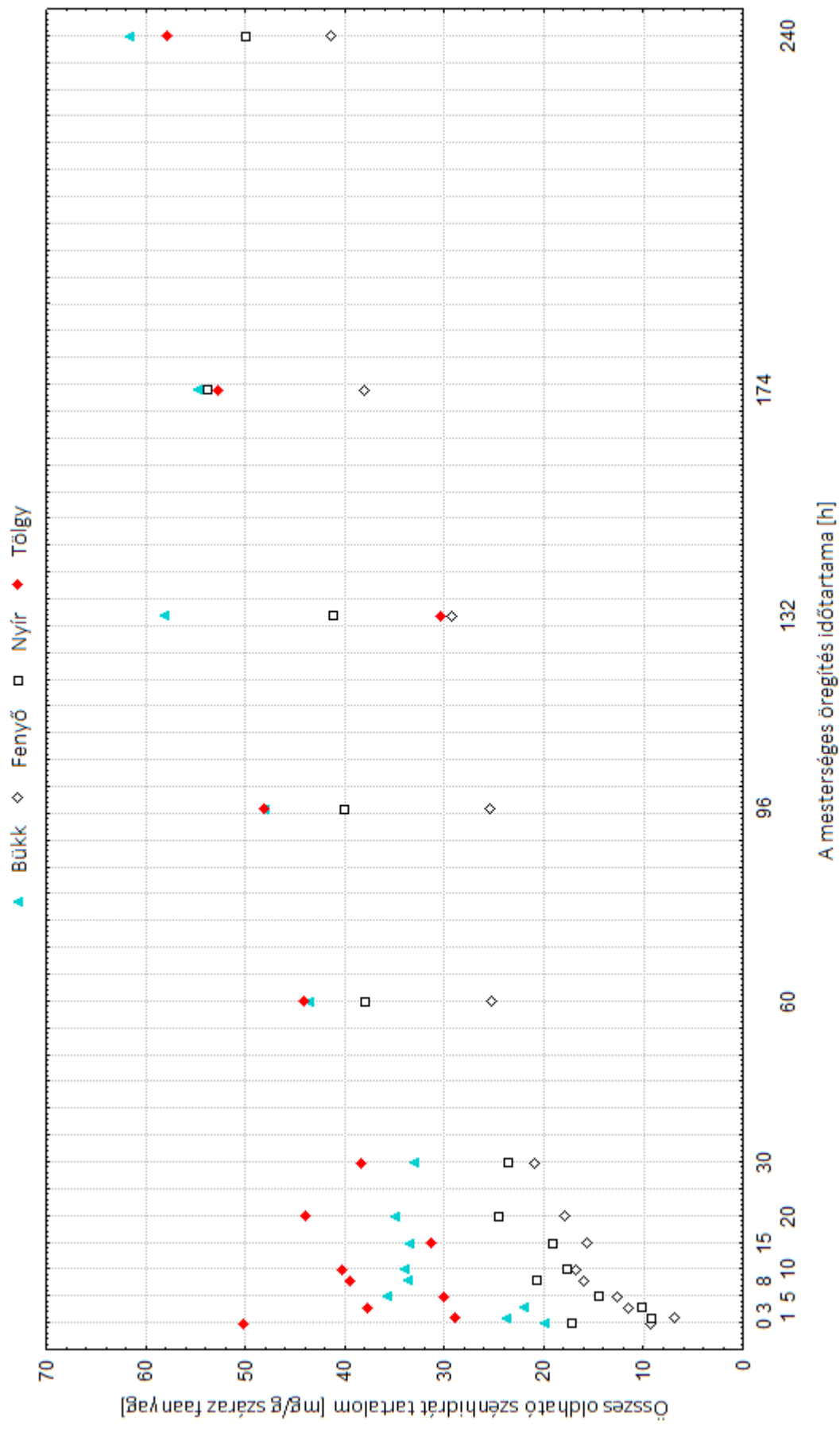
való összefüggését.

A jelen kutatómunka során végzett totál-fenol vizsgálat felületi energia, összes kioldható szénhidrát tartalom és FTIR vizsgálatokkal való kombinációja új kutatási eredmények létrejöttét tette lehetővé további három fafaj esetében, a nedvesíthetőség vonatkozásában is.

5.3.3. Az összes kioldható szénhidrát tartalom vizsgálatok eredményeinek értékelése

Annak kiderítésére, hogy mesterséges fénybesugárzás során a fafelületek (ezzel együtt a vizsgált felületi réteg) lignin komponensén kívül, a másik két fő összetevő (cellulóz és hemicellulózok) mennyisége miként változik, a mesterséges öregítés mérési időpontjaiban összes kioldható szénhidrát tartalom vizsgálatok elvégzésére került sor, a korábbi 4.5.4. fejezetben tárgyaltak szerint. Az így kapott vizsgálati eredményekből (19. ábra) (VII. sz. melléklet) jó közelítéssel következtethetünk a cellulóz és hemicellulózok bomlására, illetve az így létrejövő extrahálható cukoregységek mennyiségére. A cukoregységek mennyiségének növekedése, amely a felületekre ejtett – elsősorban poláris és diszperzív - folyadékcseppek peremszögének csökkenését, ezen túl pedig azok területét kedvező mértékben befolyásolja.

Az összes kioldható szénhidrát tartalom vizsgálatok során megállapítható, hogy a vizsgált faanyagok esetében, mesterséges xenon izzós öregítés hatására a felületi rétegben növekvő tendenciát mutat. Bár kocsánytalan tölgy faanyag esetében, a mesterséges öregítés kezdeti ~ 30 h időintervallumában némi ingadozás fedezhető fel az összes kioldható szénhidrát tartalom tekintetében, azonban a mesterséges öregítés teljes, 240 h időtartamú intervallumában az összes kioldható szénhidrát tartalom növekvő tendenciát mutat.



19. ábra Az összes oldható szénhidrát tartalom változása különböző fajok esetében, mesterséges öregítés (0-240h) hatására (átlagértékek) (0h: kontroll minta)

5.3.4. A totál-fenol és összes kioldható szénhidrát tartalom vizsgálatok eredményeinek összesített értékelése

A totál-fenol és összes kioldható szénhidrát tartalmak, illetve azok változásai a fafelületek nedvesíthetőségére különböző mértékű és minőségű hatással vannak. Annak érdekében, hogy komplex képet alkothassunk a fafelületeken lezajló változások befolyásoló tényezőiről, a két vizsgálat eredményeit egyben kell értékelnünk.

A totál-fenol és összes kioldható szénhidrát tartalom vizsgálatok eredményei, mennyiségi változás tekintetében eltérést mutatnak. A különböző faanyagok totál-fenol tartalma (kocsánytalan tölgy kivételével) ~ 1 mg/g száraz faanyag értékről ~ 15 mg/g száraz faanyag értékre növekszik a mesterséges öregítés teljes időtartamát tekintve. Ezzel párhuzamosan, az összes kioldható szénhidrát tartalom eredményei (mind a négy vizsgált fafaj esetében) ~ 7 mg/g száraz faanyag értékről ~ 45-60 mg/g száraz faanyag értékre növekedtek a mesterséges öregítés teljes időtartama alatt. Jól látható, hogy az összes kioldható szénhidrát tartalom tekintetében, a totál-fenol tartalom vizsgálatokhoz képest közel 3-4-szeres mennyiségi változás tartozik.

A fent leírt mennyiségi változás összhangban van a mesterségesen öregített fafelületeken mért peremszög értékek változásával, azaz, bár a totál-fenol tartalom közel 15-szeresére növekszik 240 h mesterséges xenon izzós besugárzás hatására, ezzel párhuzamosan, az összes kioldható szénhidrát 6-8-szoros mennyiségi növekedése, illetve alapvetően nagyobb mértékű jelenléte, nagyobb mértékben befolyásolja a felületre ejtett folyadékcsepp peremszögét, amely csökkenése alapján a vizsgált fafelületek nedvesíthetőségének javulására következtethetünk.

A faanyag összetevői közül fotodegradációra legérzékenyebb összetevői a lignin és a járulékos anyagok. Az 5.3.1. fejezetben említett peremszög vizsgálati eredmények magyarázata, hogy a besugárzás első 15-20 órájában a lignin és a járulékos anyagok bomlása kezdődik meg. Így a totál-fenol vizsgálati eredményekben növekedés figyelhető meg. Az ezt követő sugárzási intervallumban a fotodegradációra kevésbé érzékeny cellulóz és hemicellulózok bomlása is megkezdődik. Az azok bomlásából keletkező szénhidráttartalom is növekszik, így kiegyenlítve a hidrofób természetű fenolos anyagok peremszögre gyakorolt hatását. Mivel a fafelületen (illetve a faanyagban) alapvetően nagyobb mennyiségben vannak jelen a cellulóz és a hemicellulózok, a besugárzás későbbi intervallumában a hidrofil természetű fő komponensek dominanciája figyelhető meg, amelyhez csökkenő peremszög érték párosul.

5.4. Mesterségesen öregített fafelületek FTIR vizsgálatai

A fafelületeken mesterséges öregítés hatására bekövetkező változások, a már bemutatott vizsgálatokon túl FTIR spektroszkópiás mérésekkel is értékelésre kerültek. Az FTIR vizsgálatokat elsősorban a totál-fenol és összes oldható szénhidrát tartalom vizsgálatok eredményeinek megerősítésére alkalmaztam.

A 3.3.2. fejezetben bemutatott kutatási eredményeknek megfelelően a korábban más kutatók által azonosított, a ligninre, a cellulózra és a hemicellulózokra jellemző csúcsok változásának kiértékelése került elvégzésre. Az FTIR vizsgálatok elsődleges oka jelen kutatómunka esetében a mesterségesen öregített fafelületeken végbemenő kémiai változások optikai detektálása volt. A korábban azonosított, a faanyag összetevőire jellemző csúcsok változását a különbségi színeképek ujjlenyomat tartományának felhasználásával vizsgáltam. Az FTIR eredményeket a totál-fenol és összes oldható cukor vizsgálatok alapján meghatározott jellemző mérési pontoknál (1 h, 8 h, 96 h és 240 h) végeztem el. Az FTIR vizsgálatok során kapott összes mérési eredményt fafajonként ábrába rendezve a VII. sz. melléklet tartalmazza.

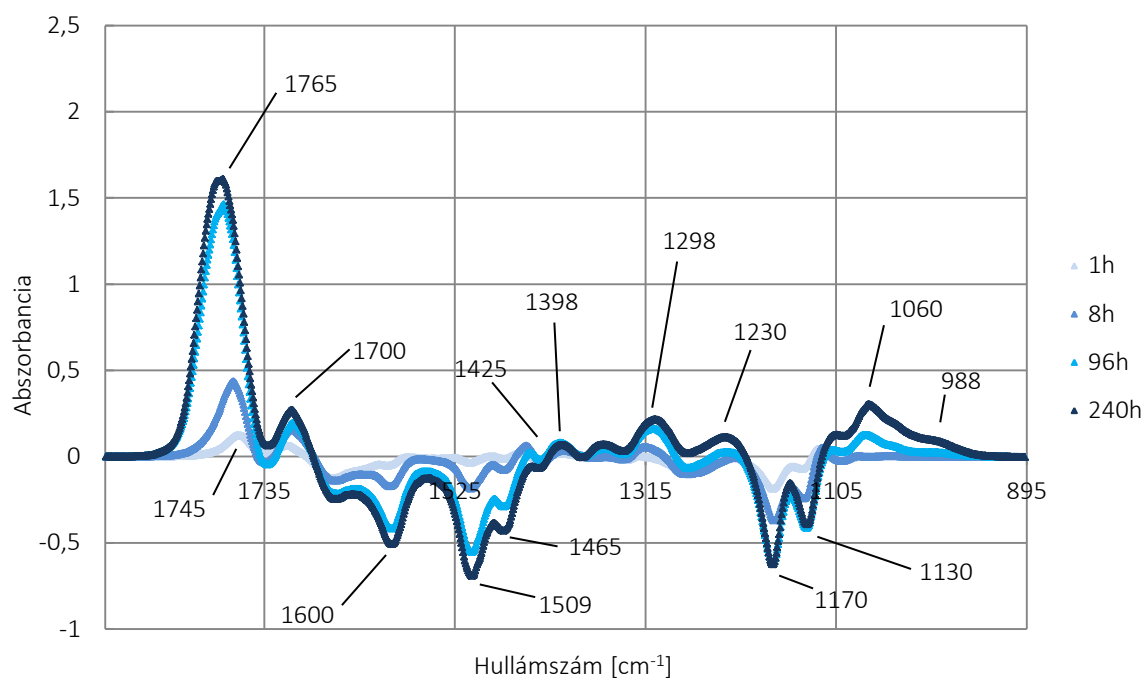
5.4.1. Bükk faanyagon végzett FTIR vizsgálatok értékelése

Bükk faanyag különbségi színeképeinek (20. ábra) elemzésekor a legszembetűnőbb, egyben legnagyobb mértékű intenzitásnövekedés 1745 cm^{-1} környékén látható. E hullámszám környékén a nemkonjugált karbonil, illetve karboxil csoportok (Pandey, 2005/b) változása észlelhető, amely a lignin oxidációjának köszönhető (Csanády et al., 2015). Növekedése egyértelmű jelzője a fotodegradációnak, amely elsőként a kromofór csoportokat nagy mennyiségben tartalmazó lignint és a járulékos anyagokat érinti.

Az ábrán továbbá jól kivehető az említett hullámszám környékén, a mesterséges öregítés időintervallumának növelésével párhuzamosan bekövetkező sávszélesedés. A besugárzás első óráját követő csúcs maximum pontja 1745 cm^{-1} környékén van. Az ezt követő besugárzás idejéhez tartozó színeképeken megfigyelhető, hogy a sáv egyre magasabb hullámszám érték felé tolódó maximummal rendelkezik, illetve jelentős mértékben kiszélesedik. Ennek magyarázata, hogy a fotodegradáció hatására a nemkonjugált karbonil csoportokban bekövetkező, FTIR vizsgálatok során 1745 cm^{-1} környékén azonosítható sáv komplex sáv (Tolvaj, 2013). Ez a sáv több kisebb sávból épül fel, amelyek különböző mértékű változáson mennek keresztül (Varga et al., 2017). Ezen sávok közül a nagyobb növekedést (más sávok esetén akár csökkenést) mutató sáv dominanciája miatt (pl.: alifás és aromás vegyületek 1765 cm^{-1} környékén (Wegener és Strobel, 1992)), a komplex sáv gyakran eltolódik magasabb hullámszámok irányába, ahogy az jelen esetben is látható. Ennek oka Wegener és Strobel (1992) munkája alapján a fenolos OH csoportok megnövekedett mennyisége. A mesterséges öregítés 8. órájától kezdődően kialakul 1700

cm^{-1} környékén is egy kisebb, határozott csúcs, amely egy órányi besugárzás hatására csak az 1745 cm^{-1} környéki csúcs vállaként jelentkezik. E csúcs – az 1765 cm^{-1} hullámszámnál jelentkező csúccsal összhangban – a fenolos vegyületek felhalmozódásának eredményeképp jön létre.

1600 cm^{-1} hullámszámnál mesterséges öregítés hatására bekövetkező jelentős mértékű intenzitás csökkenés tapasztalható. Ez a sáv a lignin (Tolvaj és Faix, 1995) jelentős mértékű módosulását mutatja, illetve fenolos molekulák módosulásáról, valamint aromás vázrezgésekről ad információt (Todaro et al., 2014).



20. ábra Bükk faanyag különbségi színeképei 1, 8, 96 és 240h idejű mesterséges öregítés hatására (ujjlenyomat tartomány, $1900\text{-}900 \text{ cm}^{-1}$)

Az 1509 cm^{-1} hullámszám környékén detektálható erőteljes intenzitás csökkenés a lignin aromás gyűrűjének módosulásáról (Pandey, 2005/b) ad információt. A csökkenés intenzitása a besugárzás kezdeti időszakát követően jelentős mértékben lassul. Az intenzitás csökkenésének mértéke egy órányi besugárzási időre vetítve, a kezdeti (kontroll – 8h besugárzás) értékről a besugárzás végéhez közeledve (96 h – 240 h besugárzás) több nagyságrendnyit csökken. Az e hullámszámnál tapasztalható intenzitás csökkenés összhangban van a totál-fenol vizsgálatok során kapott tendenciával.

Az 1465 cm^{-1} környékén észlelhető intenzitáscsökkenés, hasonlóan az eddig részletezett sávokhoz, a lignin degradációjával (Wang et al., 2009), oxidációjával (Rosu et al., 2010) áll összefüggésben. E sávnál – hasonlóan az 1509 cm^{-1} esetében tapasztaltakhoz – egyre lassuló ütemű intenzitáscsökkenés tapasztalható, amely a lignin fotodegradáció hatására bekövetkező, fokozatos bomlásának jelzője.

Az 1425 cm^{-1} hullámszámnál mért kismértékű intenzitáscsökkenés a cellulóz (C-H deformáció (aszimm.)) (Colom et al., 2003; Pandey, 2005/b; Tolvaj, 2013) módosulását jelzi. Az 1460 és 1395 cm^{-1} hullámszámok közti tartományban mesterséges öregítés hatására 1398 cm^{-1} környékén szintén kialakul egy viszonylag alacsony intenzitásnövekedést mutató csúcs. Ebben a sávban aszimmetrikus C-H deformációk (Miao et al., 2017) zajlanak le a cellulózban, hasonlóan a 1425 cm^{-1} hullámszámhoz. Az intenzitás változásának mértéke e sávok tekintetében nagymértékben elmarad a további sávokon tapasztaltaktól, azonban a cellulóz degradációjának jelzésére alkalmasak.

Hasonlóan az 1298 cm^{-1} hullámszámhoz, 1230 cm^{-1} hullámszám értéknél intenzitásnövekedést látunk a bükk faanyagon végzett FTIR vizsgálatok különbségi színekpein. Az e hullámszámokhoz tartozó gvajacil gyűrűrezgés (Colom et al., 2003; Preklet, 2006; Watkins et al., 2014) a faanyag felületén a ligninben bekövetkező változás leírására alkalmas. Bár a csúcsok intenzitásnövekedése elmarad más csúcsokétól, a lignin degradálódását határozottan jelzik. Fokozatosan növekvő tendenciát mutatnak, amelyek a többi csúcstól eltérő módon nem a besugárzás első néhány órájában, hanem a későbbi, 96 és 240 h közti időszakban erősödnek.

Az 1170 cm^{-1} hullámszámnál látható fokozatos intenzitáscsökkenés a cellulózhoz köthető változást jelez (Colom et al., 2003; Tolvaj, 2013), amely intenzitáscsökkenés jól láthatóan elmarad a ligninhez köthető csúcsok intenzitásváltozásához képest. Az összes kioldható szénhidrát tartalom vizsgálatok során tapasztalt, a besugárzási idő növekedésével párhuzamosan növekvő szénhidrát tartalom összhangban van az e sávban tapasztalható intenzitásváltozással. Hasonlóan az összes kioldható szénhidrát tartalomhoz, jelen sávnál is a besugárzás első 8 órájában történik a legjelentősebb változás. A későbbiekben, a besugárzás további 232 órájában egyre lassuló ütemű intenzitáscsökkenés tapasztalható. Szembetűnő változást jelez a besugárzás időtartam alatt az 1130 cm^{-1} hullámszám környékén megfigyelhető, a cellulózban és hemicellulózokban létrejövő vegyértékrezgéshez (C-O) köthető (Jankowska et al., 2017) csúcs. Az intenzitáscsökkenés üteme az 1170 cm^{-1} hullámszámnál tapasztaltakhoz hasonló, a legjelentősebb intenzitáscsökkenés jelen esetben is a besugárzás első 8 h időtartama alatt következik be.

További figyelemreméltó intenzitásváltozás következett be az 1060 cm^{-1} környékén, amely növekvő tendenciájával a cellulóz és hemicellulózok degradációjával áll kapcsolatban (Baeza és Freer, 2001), ezzel együtt pedig a szénhidrátok degradációjának változásának követésére alkalmas (Nishiyama et al., 2003). Az e hullámszám környékén található sáv jól látható intenzitásnövekedése mellett a besugárzás hatására fokozatos sávszélesedés is bekövetkezik. Az eredmény jól korrelál a szénhidrát tartalom vizsgálatok során tapasztaltakkal, a legjelentősebb intenzitásnövekedés a besugárzási idő első néhány óráját követően mutatkozik.

A korábbiakban részletezett sávokon túl, bükk faanyag különbségi színekpeinek összehasonlításakor 988 cm^{-1} környékén tapasztalható kismértékű változás. Jól elkülönülő

csúcs nem jön létre 240 h mesterséges öregítés hatására, azonban a mesterséges besugárzás idejének növelésével párhuzamosan bekövetkező intenzitásnövekedés a szénhidrátok degradációját jelzi (Abidi et al., 2011). A sáv intenzitásnövekedésének hangsúlyos szakasza 96 h mesterséges öregítést követően jelentkezik.

5.4.2. Lucfenyő faanyagon végzett FTIR vizsgálatok értékelése

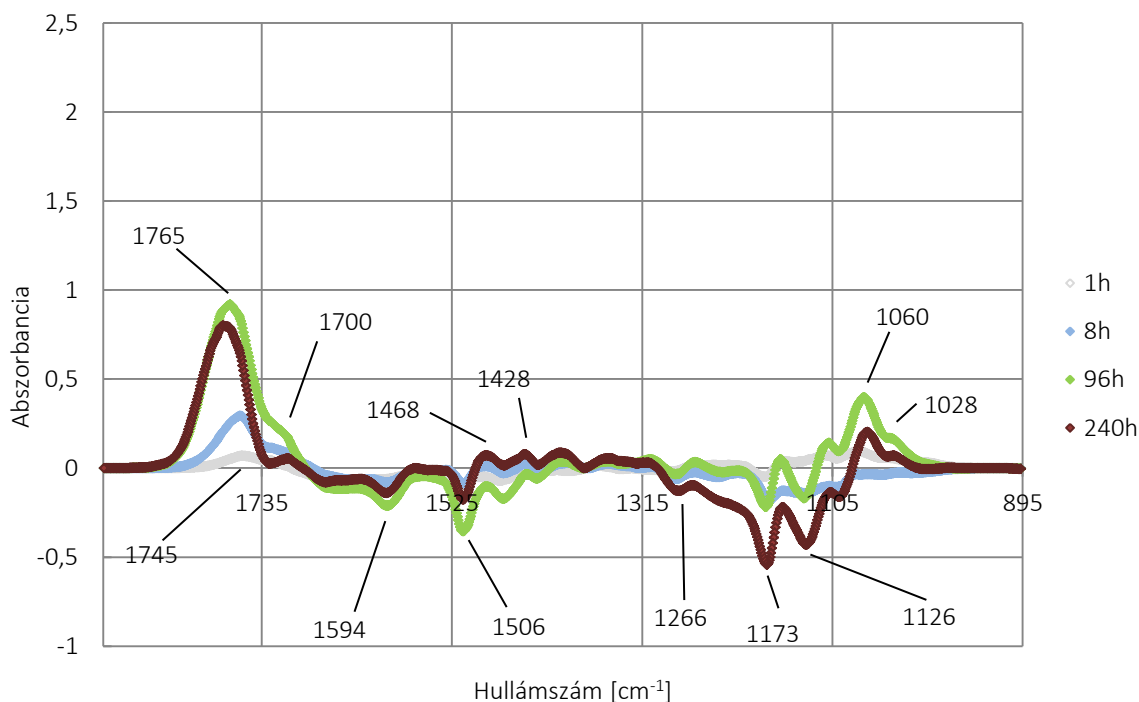
Mesterséges öregítés hatására lucfenyő faanyag felületén bekövetkező abszorpciós sávok változását mutatja be a 21. ábra. Az ábrán az előre meghatározott öregítési ciklusokat követően (1 h, 8 h, 96 h és 240 h) létrehozott különbségi színeképek kerültek bemutatásra.

Lucfenyő faanyag vizsgálatakor, hasonlóan a bükk faanyag felvett színeképekhez, a leghangsúlyosabb intenzitásnövekedés 1745 cm^{-1} környékén látható. A sáv a lignin és a járulékos anyagok oxidációjának (Csanády et al., 2015) hatására nagy mennyiségben keletkező fenolos OH csoportok jelzésére alkalmas. E sávban, bükk faanyaghoz hasonló módon, a mesterséges öregítés hatására több irányú változás észlelhető. A nagymértékű intenzitásnövekedés mindösszesen az öregítés 96 h időintervallumáig tart. Ezt követően a mesterséges öregítés során fokozatosan magasabb hullámszám irányába eltolódó maximumú csúcs kissé alacsonyabb értéket mutat. Az enyhén csökkenő maximum értékkel párhuzamosan azonban az ábrán jól kivehető módon, már a besugárzás 8. órájától kezdődően kialakul 1700 cm^{-1} környékén egy kisebb, határozott csúcs. Az 1745 cm^{-1} környékén detektálható sáv komplex sáv. Ennek maximuma a mesterséges öregítés hatására fokozatosan az alifás és aromás vegyületek 1765 cm^{-1} hullámszámnál detektálható (Wegener és Strobel, 1992) értékéhez közeledik. A sáv szélesedése (1-96 h besugárzás), majd két csúcsra tagolódása (96 – 240 h), illetve az 1700 cm^{-1} hullámszámnál kialakuló váll létrejötte (8-96 h besugárzás), a ligninből és járulékos anyagokból származó fenolos vegyületek felhalmozódásának eredménye, amely eredmény jól korrelál a totál-fenol tartalom vizsgálatok során kapott eredménnyel.

Lucfenyő faanyag esetében az 1594 cm^{-1} hullámszámnál tapasztalható (aromás vázrezgés (lignin), fenolos molekulák módosulása (Tolvaj és Faix, 1995; Papp et al, 2005/b; Todaro et al, 2014)) csúcsban intenzitáscsökkenés következik be a mesterséges öregítés első 96 h időintervallumában, majd ezt követően kismértékű növekedés jelentkezik.

A mesterséges öregítés során több új, határozott csúcs is keletkezik az ujjlenyomat tartomány középső harmadában, 1506 cm^{-1} , 1468 cm^{-1} és 1428 cm^{-1} hullámszámoknál. Ezek az új csúcsok 96 és 240 h besugárzási idők között nagyfokú intenzitásváltozáson (jellemzően növekedés) mennek keresztül.

Az 1506 cm^{-1} hullámszámnál azonosított csúcs (lignin, aromás vázregzés (Preklet, 2006)) esetében a kezelés első 96 órájában intenzitáscsökkenés, ezt követően pedig intenzitásnövekedés tapasztalható. Az e csúcs esetében tapasztalható csökkenő-növekvő intenzitásbeli változás épp ellentétes irányú, mint az $1745\text{-}1765\text{ cm}^{-1}$ hullámszámnál tapasztalható változás.



21. ábra Lucfenyő faanyag különbségi színeképei 1, 8, 96 és 240h idejű mesterséges öregítés hatására (ujjlenyomat tartomány, $1900\text{-}900\text{ cm}^{-1}$)

1468 cm^{-1} hullámszámnál az első 8 h intervallumú besugárzás hatására intenzitásnövekedés, majd 96 h időintervallumig csökkenés, ezt követően pedig ismét szignifikáns intenzitásnövekedés tapasztalható. Ez a ligninhez köthető csúcs a metil- és metilén-csoportok modifikációjáról ad képet (Capobianco et al., 2016), amely esetében a változás mértéke jól kivehető, míg a változás iránya nem kiegyensúlyozott a teljes kezelési időt tekintve.

Az előbbi csúcshoz hasonló, de kisebb mértékű változás zajlik le az 1428 cm^{-1} közelében. A cellulózhoz (Tolvaj, 2013) köthető csúcs esetében szintén változó előjelű az intenzitás alakulása. A legjelentősebb intenzitásnövekedés a besugárzás második (96h – 240h) szakaszában zajlik le. Ezt megelőzően kismértékű növekedés (1h-8h), majd pedig kissé nagyobb mértékű csökkenés (8h-96h) észlelhető.

További határozott csúcs fedezhető fel a különbségi színeképeken 1266 cm^{-1} hullámszámnál. A gvajacil gyűrű rezgéséhez tartozó (Rosu et al., 2010; Tolvaj, 2013) csúcs esetében a besugárzás kezdeti szakaszában (1h-8h) intenzitáscsökkenés, majd kismértékű intenzitásnövekedés (8h-96h), végül pedig ismételt (96h-240h) intenzitáscsökkenés

észlelhető. Amelyből a faanyag felszínén jelenlévő xilánok (Preklet, 2006) mennyiségének egyértelmű megváltozására következtethetünk, amely a mesterséges öregítés teljes időtartama alatt kiegyensúlyozatlan.

Az előzőekben tárgyalt csúcsoktól eltérő módon, egyirányú változás fedezhető fel az 1173 cm^{-1} , 1126 cm^{-1} , 1060 cm^{-1} és 1028 cm^{-1} csúcsok esetében. E csúcsok közül azonban, 1h időtartamú besugárzás hatására, mindössze az 1173 cm^{-1} -nél jelentkező csúcs vehető ki élesen.

1173 cm^{-1} hullámszámnál jelentkező intenzitáscsökkenés, amely a teljes besugárzás alatt egyértelműen követhető csökkenést produkál, a cellulóz módosulásáról (Colom et al., 2003; Tolvaj, 2013) ad információt. Az e sávban tapasztalható intenzitáscsökkenés az összes kioldható szénhidrát tartalom vizsgálatok során tapasztaltakkal összhangban van. A szénhidráttartalom vizsgálatok lucfenyő esetében a kezdeti, néhány órás besugárzás hatására hasonló mértékű változás zajlik le, mint a besugárzás második felében (96h-240h).

1126 cm^{-1} hullámszám értéknél az 1173 cm^{-1} környékén tapasztaltakkal szinte megegyező változás tapasztalható a különbségi színeképek összehasonlításakor. A csúcs a cellulózban és hemicellulózokban létrejövő vegyértékrezgéshez (C-O) köthető (Jankowska et al., 2017) az 1060 cm^{-1} hullámszámnál jelentkező csúccsal közösen. Az 1126 cm^{-1} -nél jelentkező csúcs a mesterséges öregítés során fokozatos intenzitáscsökkenésen megy keresztül. Maximum értékét, a vizsgált öregítési ciklusok közül a 240 h időtartamú esetén éri el. Az 1060 cm^{-1} környékén detektálható csúcs intenzitásnövekedést mutat a besugárzás 96 h időtartamáig, majd intenzitása némiképp lecsökken. A két csúcs maximum intenzitásának abszolút értéke a teljes öregítési ciklust tekintve közelítőleg azonos.

Lucfenyő faanyag különbségi színeképeit az ujjlenyomat tartományon tekintve jelentkező csúcs fedezhető fel 1028 cm^{-1} közelében. A mesterséges öregítés első 8 h intervallumában még nem élesen kivehető a csúcs, azonban a besugárzás előrehaladtával határozottan elkülönül. A mesterséges besugárzás kezdeti szakaszában – hasonlóan az 1700 cm^{-1} környékén tapasztaltakhoz – mindössze az 1060 cm^{-1} környéki csúcs vállaként jelentkezik. Határozott elkülönülése – a részletes elemzésnek alávetett időpontok közül – 96 h öregítés idején jelentkezik. A csúcs a gvajacil lignin összetevőinek (Sakakibara és Sano, 2001) degradációjával áll összefüggésben, a csúcs 96 h időtartamú mesterséges öregítés során intenzitásnövekedést, majd a további besugárzás hatására intenzitáscsökkenést mutat.

5.4.3. Nyír faanyagon végzett FTIR vizsgálatok értékelése

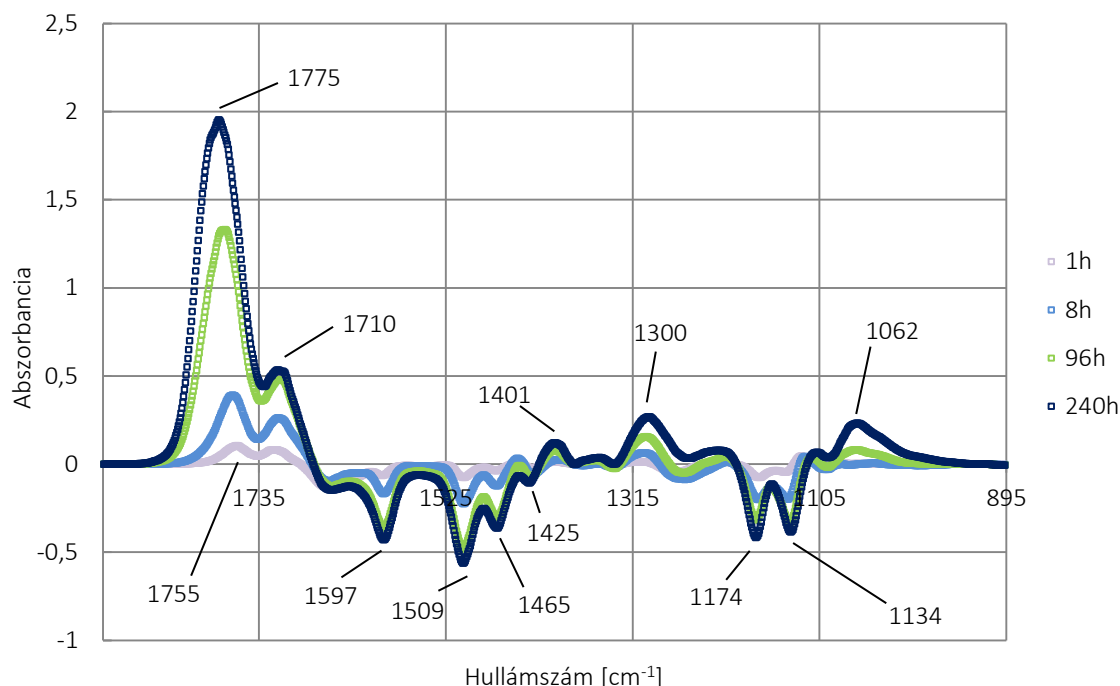
Mesterségesen öregített nyír faanyag különbségi színeképeit mutatja be a 22. ábra. Az ábrán – a többi vizsgált faanyaghoz hasonlóan - az előre meghatározott öregítési ciklusokat követően (1 h, 8 h, 96 h és 240 h) létrehozott különbségi színeképek kerültek bemutatásra.

Nyír faanyag FTIR vizsgálatakor felvett különbségi színeképek elemzésekor, más faanyagokhoz hasonlóan, a legjelentősebb intenzitásváltozás a korábban részletezett 1755 cm^{-1} környékén van. Nyír faanyag esetében ez a sáv kissé magasabb hullámszám értéknél jelentkezik, azonban egyértelműen azonosítható a kezelési idő növelésével jelentkező sáveltolódás magasabb hullámszám tartomány irányába. A csúcs maximuma 1 órás öregítést követően 1755 cm^{-1} környékén van, míg a kezelés végén (240 h) 1775 cm^{-1} hullámszámnál található a maximális intenzitásérték. Nyír faanyag esetében sokkal lépcsőzetesebb a sáv intenzitásnövekedése bükk faanyaghoz viszonyítva. Ebben a sávban a lignin degradációjából származó anyagok detektálhatók (karbonil- és karboxil csoportok), amelyek mennyisége a felületen, illetve a felületi rétegben fokozatos növekedésen megy keresztül fotodegradáció hatására. A sáv magasabb hullámszám irányába való eltolódása kiválóan jelzi a felületen, a lignin és a járulékos anyagok degradációjának hatására megnövekedett mennyiségben jelenlévő bomlástermékeket.

1710 cm^{-1} környékén, bükk faanyaghoz hasonlóan, már az öregítés első óráját követően kialakul egy határozott csúcs. E sáv intenzitásnövekedése sokkal élénkebben következik be, mint bükk faanyagon. A sáv intenzitása a mesterséges besugárzás 96 órás intervallumáig lépcsőzetesen növekszik, esetében intenzitáscsökkenés nem tapasztalható. Az $1700\text{-}1710\text{ cm}^{-1}$ környékén jelentkező csúcs kiválóan jelzi a felületen fotodegradáció hatására megnövekedett mennyiségben jelenlévő fenolos anyagokat. A sáv intenzitásváltozása alapján levonható következtetések jól korrelálnak a totál-fenol tartalom vizsgálatok eredményeivel.

Az 1597 cm^{-1} hullámszámnál jelentkező csúcs fokozatos intenzitáscsökkenésen megy keresztül a mesterséges öregítés ideje alatt. A teljes besugárzás során létrejövő intenzitáscsökkenés kismértékben elmarad a bükk faanyagon tapasztalhatótól, azonban a csökkenés fokozatossága nagyon hasonló ahhoz. Jelen sáv, a lignin (Tolvaj és Faix, 1995) jelentős mértékű módosulását mutatja fotodegradáció hatására. Ezen túl a fenolos molekulák módosulásáról, illetve aromás vázreagensekről ad további információt (Todaro et al., 2014).

A különbségi színeképek elemzésekor következő, jelentős mértékű intenzitáscsökkenést mutató sáv 1509 cm^{-1} hullámszámnál jelentkezik. A lignin aromás gyűrűjének módosulását jelölő sáv a mesterséges öregítés vizsgált időintervallumai közt folyamatos csökkenést mutat. A csúcs már az első órás besugárzás hatására jól kivehető a különbségi színeképen, majd fokozatos intenzitáscsökkenés során éri el a 240 h mesterséges öregítés hatására kialakuló minimum értékét. Az 1509 cm^{-1} hullámszámnál jelentkező csúcshoz hasonlóan, a 1465 cm^{-1} -nél jelentkező sávban is egyértelmű intenzitáscsökkenés tapasztalható nyír faanyag mesterséges öregítése során. Ez utóbbi, a lignin degradációját, illetve oxidációját jelző sáv is fokozatos csökkenést mutat, amelynek legnagyobb része az öregítés első 96 órás intervalluma alatt következik be. A lignin fokozatos bomlásának e hullámszámoknál tapasztalható üteme, a totál-fenol tartalom vizsgálatokkal összhangban van. A két említett sávban jelentkező, 96 h besugárzást követő lassuló tendencia a totál-fenol tartalom vizsgálatok során is tapasztalható.



22. ábra Nyír faanyag különbségi színepei 1, 8, 96 és 240h idejű mesterséges öregítés hatására (ujjlenyomat tartomány, $1900-900\text{ cm}^{-1}$)

A következő, a cellulózban fotodegradáció hatására bekövetkező (C-H deformáció) intenzitáscsökkenés 1425 cm^{-1} hullámszámnál jelentkezik. Az e csúcs esetében tapasztalható intenzitásváltozás mértéke jelentős mértékben elmarad a korábbi részletesen bemutatott sávok esetében tapasztalhatóaktól. A sávban bekövetkező változás jól szemlélteti a cellulóz nagyobb mértékű ellenálló képességét a fotodegradációval szemben, amely a kromofór csoportok csekély mennyiségére vezethető vissza. Az összes szénhidrát tartalom vizsgálatok eredményeivel egyértelmű korreláció fedezhető fel jelen sáv esetén, a vizsgált öregítési ciklusok összevetésekor. A mesterséges öregítés első vizsgált szakaszában (1h-8h) az intenzitás értéke megkétszereződött, amely mérték a szénhidráttartalom vizsgálatok eredményeivel összhangban van. A további kettő, 8-96 h, 96-240 h szakaszok összevetésekor is összhang fedezhető fel a két vizsgálati típus eredményei közt. Előbbi esetében közel kétszeres, míg a második szakasz esetében közelítőleg 60%-os fejlődés tapasztalható, mind a különbségi színeképek, mind pedig a szénhidrát tartalom vizsgálatok esetén.

Az 1460 és 1395 cm^{-1} hullámszámok közti tartományban nyír faanyag mesterséges öregítése hatására 1401 cm^{-1} környékén szintén kialakul egy viszonylag alacsony intenzitásnövekedést mutató csúcs. Ebben a sávban – hasonlóan az 1425 cm^{-1} hullámszámnál megállapíthatókhöz – aszimmetrikus C-H deformációk (Miao et al., 2017) zajlanak le a cellulózban. Bár a teljes ujjlenyomat tartományban felfedezhető sávok intenzitásváltozásának mértékétől e sávok változása elmarad, a cellulóz degradációjának megbízható jelzésére mindenképp alkalmasak.

A nyír faanyaghoz tartozó különbségi színeképeken 1300 cm^{-1} hullámszám értéknél intenzitásnövekedést látunk. Az e hullámszámnál azonosított gvajacil gyűrűrezgés (Watkins et al., 2014) a ligninben bekövetkező változás leírására alkalmas. A csúcs intenzitásnövekedése a lignin degradálódását határozottan jelzi. Fokozatosan növekvő tendenciát mutat, amely a besugárzás teljes időszakában erősödik.

Az 1174 cm^{-1} hullámszámnál látható fokozatos intenzitáscsökkenés a cellulózhoz köthető változást jelez (Colom et al., 2003; Tolvaj, 2013). A csúcs intenzitáscsökkenése az összes kioldható szénhidrát tartalom vizsgálatok során tapasztaltakkal összhangban van. Az összes kioldható szénhidrát tartalomhoz hasonlóan, jelen sávnál is a besugárzás első 8 órájában történik a legjelentősebb változás. A későbbiekben, a besugárzás további 232 órájában egyre lassuló ütemű, de jelentős mértékű intenzitáscsökkenés tapasztalható.

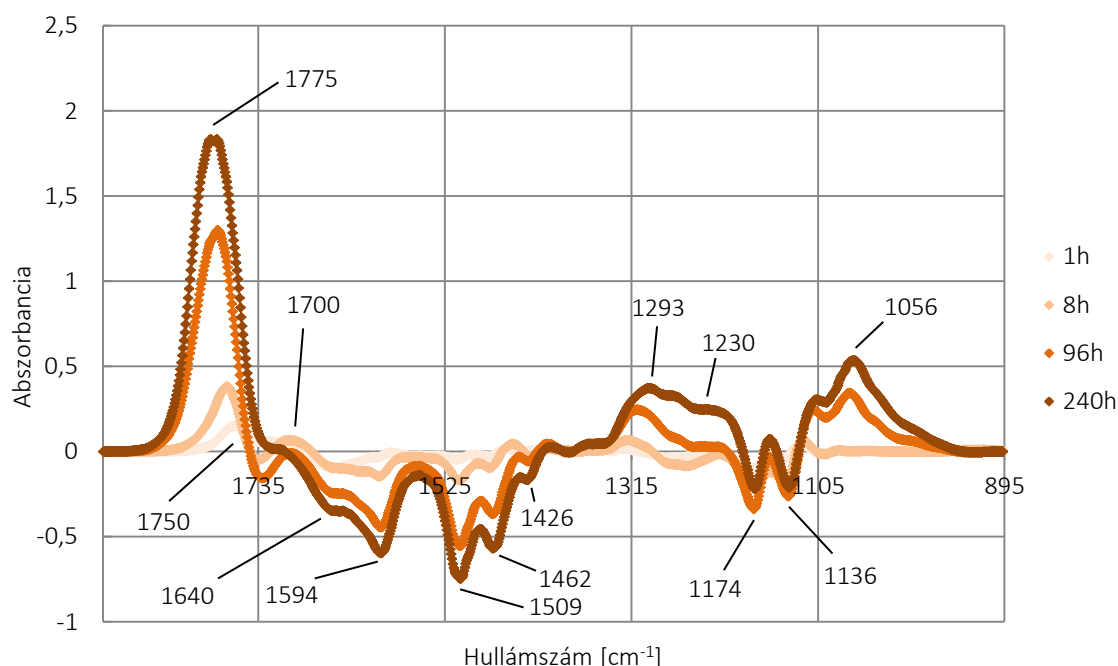
Fontos, a cellulózban és a hemicellulózokban bekövetkező vegyértékrezgéshez köthető (Jankowska et al., 2017) változást mutatnak nyír faanyag különbségi színeképein az 1134 cm^{-1} és 1062 cm^{-1} hullámszámok közelében létrejövő csúcsok. Bár a csúcsok intenzitásváltozása ellentétes irányú, a szénhidrátok degradációját, módosulását kiválóan jelzik. Az 1134 cm^{-1} környékén detektálható sáv intenzitáscsökkenése egyenletes lefolyású, a legszembetűnőbb csökkenés az elemzett intervallumok közül a besugárzás első 8 órás intervallumában zajlik le. Az 1062 cm^{-1} hullámszámnál jelentkező csúcs esetében éppen fordítva, a besugárzás utolsó, 96 és 240 óra közti szakaszában jelentkezik nagymértékű intenzitásnövekedés. A két csúcs elemzésekor tapasztalt intenzitásnövekedés, illetve csökkenés a szénhidrát tartalom vizsgálatokkor kapott eredményt erősíti, az első 8 órás öregítés alatt, illetve a 96 és 240 órás öregítési ciklusok között nagymértékű szénhidrát tartalom változás következett be.

5.4.4. Kocsánytalan tölgy faanyagon végzett FTIR vizsgálatok értékelése

Mesterségesen öregített kocsánytalan tölgy faanyag FTIR vizsgálati eredményeiből készített különbségi színeképeket mutat be a 23. ábra. Az ábrán az előre meghatározott öregítési ciklusokat követően (1 h, 8 h, 96 h és 240 h) létrehozott különbségi színeképek kerültek feltüntetésre.

A kocsánytalan tölgy faanyag FTIR vizsgálatai alapján létrehozott különbségi színeképeken ugyanúgy, mint az eddig bemutatott faanyagok esetében, a legmarkánsabb intenzitásnövekedés a karbonil- és karboxil-csoportok sávjában, $1750\text{-}1775\text{ cm}^{-1}$ hullámszám környékén jelentkezik. A sávban jelentkező csúcs, a többi faanyaghoz hasonlóan, magasabb hullámszám felé tolódik a mesterséges öregítés időintervallumának növelésével párhuzamosan. Az öregítés előrehaladtával tisztán kivehető továbbá a sáv szélesedés ebben a tartományban. A sáv jól láthatóan – nyír faanyaghoz hasonló módon - az öregítés teljes ideje alatt növekvő intenzitásértéket mutat, amely elsősorban a lignin és a járulékos anyagok fokozatos degradációját bizonyítja.

A mesterséges öregítés első óráját követően, 1700 cm^{-1} környékén, az 1750 cm^{-1} , majd 1775 cm^{-1} hullámszám értéknél jelentkező csúcs vállaként kezd kialakulni egy újabb csúcs, amely a ligninből származó fenolos anyagok jelzésére alkalmas. Az új, 1700 cm^{-1} környékén detektálható csúcs már 8 órás öregítés hatására elkülönül, hasonlóan a vizsgált lombos faanyagokhoz. A csúcs intenzitása az öregítés első 8 órás intervallumában növekvő tendenciát mutat. Az öregítés további szakaszában, 96 órás besugárzás hatására az intenzitásban visszaesés tapasztalható. Ezt követően, az öregítési ciklus végén már nem beszélhetünk jól elkülönülő csúcsról 1700 cm^{-1} hullámszám értéknél.



23. ábra Kocsánytalan tölgy faanyag különbségi színeképei 1, 8, 96 és 240h idejű mesterséges öregítés hatására (ujjlenyomat tartomány, $1900\text{--}900\text{ cm}^{-1}$)

1640 cm^{-1} hullámszám környékén már 1 h időintervallumú mesterséges öregítés hatására elkezd kialakulni az aromás ketonokban bekövetkező C=O nyújtáshoz tartozó (Rosu et al., 2010) csúcs. Határozott elkülönülése csak a mesterséges öregítés 96 h intervallumát követően tapasztalható. A csúcs fokozatos, egyértelmű intenzitáscsökkenésen megy keresztül a mesterséges öregítés időtartamának növelésével.

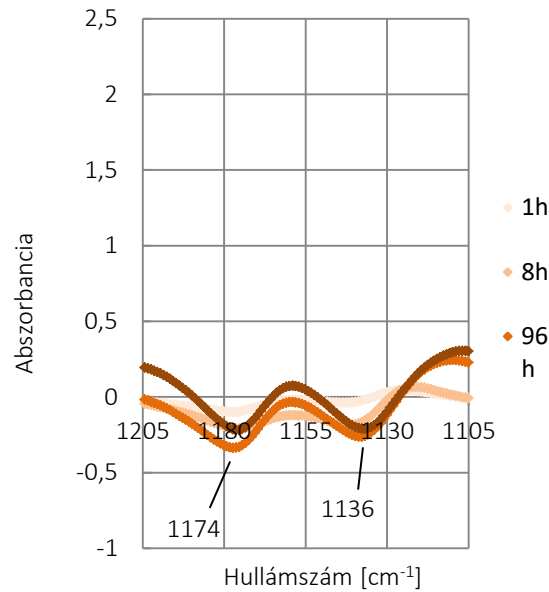
Az 1594 cm^{-1} hullámszám környékén detektálható, a ligninben bekövetkező aromás vázregzéshez kapcsolódó csúcs a kezelés 8. óráját követően alakul ki. Ez a sáv, a lignin (Tolvaj és Faix, 1995) módosulását mutatja fotodegradáció hatására, hasonlóan, mint bükk és nyír faanyagok esetében. Ezen túl a fenolos molekulák módosulásáról, illetve aromás vázregzésekről ad további információt (Todaro et al., 2014). Intenzitáscsökkenésének mértéke a kezelés végéhez közeledve kis mértékben lassul, amely változás összhangban van a totál-fenol mérések során kapott eredménnyel kocsánytalan tölgy faanyag esetében.

Az ábrán jelentős mértékű intenzitáscsökkenés figyelhető meg 1509 cm^{-1} hullámszám környékén, amely a lignin aromás vázrezgéseként azonosított. A mesterséges öregítés vizsgált időintervallumai között fokozatos intenzitáscsökkenés tapasztalható e csúcs esetében. A csúcs már a kezelés első óráját követően elkülöníthető a különbségi színeképen, majd a mesterséges öregítés 240. órájában éri el minimumát, a besugárzás 240 h időintervallumát tekintve. Ehhez a csúcshoz hasonlóan, 1462 cm^{-1} hullámszám környékén is jelentős intenzitáscsökkenés tapasztalható kocsánytalan tölgy faanyag mesterséges öregítése hatására. Ez a sáv, amely a lignin degradációját (oxidáció) jelzi, a mesterséges öregítés során fokozatos csökkenést mutat, minimum értékét a 240 órás öregítés hatására éri el. A lignin alkotórészeiben bekövetkező bomlás üteme a totál-fenol vizsgálati eredményekkel korrelál, a változás legnagyobb hányada a mesterséges öregítés első 96 h intervallumában következik be.

Kocsánytalan tölgy faanyag színeképein 1426 cm^{-1} környékén jelentkező intenzitáscsökkenést mutató csúcs a cellulózban fotodegradáció hatására bekövetkező C-H deformációról ad információt. A sáv fokozatos csökkenő tendenciát mutat, amelynek mértéke a mesterséges öregítés végéhez közeledve sem lassul. A sávban tapasztaltak a kocsánytalan tölgy faanyag esetében végzett szénhidráttartalom vizsgálatokkal egybecsengenek, az intenzitás változása és az összes kioldható szénhidrát tartalom mennyisége növekedést mutat a vizsgált időpontok esetében.

A kocsánytalan tölgy faanyaghoz tartozó különbségi színeképeken 1293 cm^{-1} környéki maximum értékkel rendelkező csúcs esetében fokozatos intenzitásnövekedés tapasztalható. Ennél a hullámszámnál jelentkező változások a gvajacil gyűrűrezgéssel állnak kapcsolatban, a lignin degradációját jelölik. E csúcs esetében a mesterséges öregítés 96 h időintervallumáig beszélhetünk határozottan elkülönülő csúcsról. Az 1293 cm^{-1} környéki csúcs intenzitásnövekedésével párhuzamosan növekvő tendenciát mutat a 1230 cm^{-1} környéki sáv is, amely szintén a gvajacil gyűrűrezgéssel áll kapcsolatban. Tölgy faanyag esetében kevésbé különül el egyértelműen a két említett csúcs, a mesterséges öregítés kezdeti szakaszától eltekintve. A további, vizsgálat alá vont faanyagoktól némiképp eltérő módon, kocsánytalan tölgy faanyag esetében az 1300 és 1200 cm^{-1} közötti teljes sáv egyértelmű növekedése figyelhető meg a teljes öregítési időintervallumát tekintve.

További intenzitásváltozás tapasztalható a különbségi színeképeket tekintve, 1174 cm^{-1} és 1136 cm^{-1} környékén (24. ábra). Ezek a csúcsok a cellulóz degradációját (vegértékrezgés) jelzik. Az intenzitás csökkenése a mesterséges öregítés első 96 órás intervallumáig tart mindkét csúcs esetében, ezt követően a besugárzás 240 órás időtartamának végéhez közeledve (174 h mesterséges besugárzás után) intenzitásnövekedés látható. Az e csúcsok esetében tapasztalható intenzitásváltozás ciklikussága az összes kioldható szénhidrát tartalom vizsgálatok során kapott eredménnyel összhangban van.



24. ábra Kocsánytalan tölgy faanyag különbségi színeképei 1, 8, 96 és 240h idejű mesterséges öregítés hatására, 1105 és 1205 cm^{-1} hullámszám tartományon

A színeképek összehasonlítását bemutató ábrán (23. ábra), 1056 cm^{-1} hullámszám környékén erőteljes intenzitásnövekedés figyelhető meg. A csúcs a cellulóz és a hemicellulózok degradációjával áll összefüggésben, valamint a szénhidrátok degradációjának követésére alkalmas. A fotodegradáció hatására bekövetkező intenzitásnövekedés mellett a sáv szélesedése is jól kivehető az ábrán. Az e csúcs esetében kapott eredmény jól korrelál a szénhidráttartalom vizsgálatok során tapasztaltakkal. A legjelentősebb intenzitásnövekedés – más fafajoktól eltérő módon – nem a besugárzási idő első néhány óráját követően mutatkozik, a szénhidrát tartalom mennyiségi változásának trendje a teljes öregítési ciklus második felében (96 h – 240 h) alakul ki.

Az FTIR vizsgálatok eredményeiből néhány, korábban kutatók által azonosított, ligninre és cellulózra jellemző csúcs változását a különbségi színeképek ujjenyomat tartományának felhasználásával, a legkisebb maradék elvének alkalmazása mellett, normál eloszlású (Gauss) görbék segítségével is illesztettem. A burkológörbék szorosságát $0,95 \leq r^2$ -ben állapítottam meg. A burkológörbék felbontása PeakFit 4 (SYStat Software Inc., USA) program segítségével került elvégzésre, a totál-fenol és összes oldható cukor vizsgálatok során kapott eredmények jellemző mérési pontjainál (1 h, 8 h, 96 h és 240 h). Ennek eredményeire a dolgozat kiegészítéseként tekinthetünk, konkrét megállapítások létrejöttét azonban nem szolgálják. Az így kapott eredményeket a IX. melléklet tartalmazza.

5.4.5. Az FTIR vizsgálatok összesített és kritikai értékelése

A faanyag váz-polimereiben bekövetkező minőségi változások nyomon követésére jól alkalmazható az FTIR mérés, azonban mennyiségi elemzésre nem használható megbízhatóan. A mesterséges öregítés hatására, a felületek kémiai összetevőiben létrejövő mennyiségi változások megismerése, a totál-fenol és összes oldható szénhidrát tartalom vizsgálatok által valósulhat meg.

A különbségi színeképeket tekintve szembeűnő, hogy a lombos és fenyő faanyagok eltérő sávokban mutatnak jelentős változásokat mesterséges öregítés hatására. Bár a fő, ligninnel kapcsolatos (1745 cm^{-1} , 1506 cm^{-1}), illetve a cellulózhoz (1170 cm^{-1}) és hemicellulózokhoz köthető (1130 cm^{-1}) főbb csúcsok az összes vizsgált fafaj esetében jelentkeznek, azok intenzitásváltozása között jelentős különbségek fedezhetők fel. Erre kiváló példát szolgáltat az említett $1745\text{-}1775\text{ cm}^{-1}$ környéki sáv teljes intenzitásváltozása, amelynek mértéke lombos faanyagok esetében közel 2 relatív értéknyi növekedést mutat. Ettől jelentősen elmaradó növekedés fedezhető fel lucfenyő vizsgálati eredményeiben, annak intenzitásnövekedése közelítőleg 1 relatív egységen belül marad, a teljes besugárzási időt tekintve. Az FTIR vizsgálatok eredményei alapján, az 1745 cm^{-1} környéki sávok intenzitásnövekedése és sávszélesedése összhangban van korábbi vizsgálati eredményekkel (Tolvaj, 2013).

A vizsgált lombos faanyagok esetében a $1700\text{-}1710\text{ cm}^{-1}$ környéki csúcs kialakulása rövidebb, 8 h időintervallumú öregítés hatására végbemegy. Esetükben kevésbé tapasztalható a „vállasodás”, mint lucfenyő esetében, ahol a különálló csúcs mindössze az 240 h öregítés hatására alakul ki.

Az $1594\text{ - }1600\text{ cm}^{-1}$ hullámszám környékén detektálható, a ligninben bekövetkező aromás vázrezgéshez kapcsolódó csúcsok intenzitásában szintén jelentős eltérések fedezhetőek fel, a lombos és fenyő faanyagok összehasonlításakor, ahogy arra korábban Tolvaj és Faix (1995) is rámutatott. Vizsgálataim alapján, lombosok esetében e sáv intenzitáscsökkenése 0,5 relatív értékhez közelít, akár meg is haladja azt (bükk és tölgy), míg lucfenyő faanyag esetén jóval elmarad ettől az értéktől, közelítőleg 0,2 relatív egységnyi változás tapasztalható.

Vizsgálataim alapján $1505\text{ - }1509\text{ cm}^{-1}$ hullámszámnál intenzitáscsökkenés figyelhető meg mesterséges fénybesugárzás hatására, amely változás megfelel korábban kutatók által leírtaknak (Tolvaj és Faix, 1995; Müller és társai, 2003; Pandey, 2005/a; Pandey, 2005/b; Rosu et al., 2010). Korábbi vizsgálatokkal (Wang et al., 2009) egybehangzóan a fapelületeken bekövetkező változások a lignin degradációjával állnak összefüggésben, amely változások 1465 és 1505 cm^{-1} hullámszámok környékén detektálható csúcsok változásán keresztül figyelhetőek meg (Todaro et al., 2014).

Jelen kutatómunkában vizsgált fafajok esetében elvégzett kísérletek alapján megállapítható, hogy a faanyag felületén és felületi rétegében jelen lévő, a nedvesíthetőséget nagymértékben befolyásoló fenolos anyagok elsősorban a lignin degradációjából származnak. Ez az eredmény egybevág korábbi (Wegener és Strobel, 1992) kutatómunkában leírtakkal.

A kutatómunka FTIR vizsgálataiból kitűnik, hogy a fafelületeken létrejövő legnagyobb mértékű változások a faanyag váz-polimerjei közül elsősorban a lignin és építőegységeinek degradációjából fakadnak. Ennek oka, hogy a lignin a faanyag legjobb fényelnyelő tulajdonságokkal rendelkező váz-polimere, a benne nagy mennyiségben jelen lévő kromofór csoportoknak köszönhetően. A cellulóz és a hemicellulózok csak kis mennyiségben tartalmaznak kromofór csoportokat, emiatt a fényt jóval kisebb mértékben abszorbeálják (Zbrowska et al., 2014). A cellulózhoz és hemicellulózokhoz köthető sávok intenzitásváltozásának mértéke ennek megfelelően elmarad a ligninhez köthető sávokon tapasztalhatóaktól, amely jól szemlélteti a kromofór csoportokat kisebb mennyiségben tartalmazó összetevők nagyobb fokú ellenálló képességét fotodegradációval szemben.

6. Összefoglalás

Jelen kutatómunka elsősorban folyadékok peremszögének változását vizsgálta különböző faanyagok (*Picea abies*, *Fagus sylvatica* L., *Betula pendula*, *Quercus petraea*) (hibamentes, $u\%=12\%$) felületén, csiszolás, illetve természetes és mesterséges öregítés hatására. Ezen túl, a dolgozatban bemutatásra került a fotodegradáció során létrejövő kémiai változások nedvesíthetőségre gyakorolt hatásának széleskörű vizsgálata.

A felületi érdesség változás hatására bekövetkező nedvesíthetőség változás monitorozására, desztillált víz peremszögének vizsgálatával került sor. A csiszolószemcse finomság felhasználásával, a dolgozatban bemutatott egyenlet segítségével a várható peremszög értéke, poláris és diszperzív folyadék esetében kiszámítható. A vizsgált érdesség tartományban (csiszolószemcse finomság: 60-600) végzett kutatás alapján, peremszög változás tekintetében három jól elkülöníthető érdesség tartomány határozható meg, minden vizsgált fafaj esetében.

Mesterséges öregítés hatására bekövetkező, a faanyag felületi rétegében fellépő változások tanulmányozására, poláris és diszperzív, illetve diszperzív folyadékok peremszög vizsgálatain túl, kémiai és optikai vizsgálatokkal került sor.

A felületi réteg kémiai összetételének fotodegradáció hatására bekövetkező változása, fafajtól és járulékos anyag tartalomtól függetlenül, a folyadékok peremszögét jelentős mértékben módosítja. A bekövetkező felületi kémiai változások poláris és diszperzív folyadékok peremszögében nagyobb mértékű változást okoznak a tisztán diszperzív folyadék peremszög változásához viszonyítva. A vizsgált mesterséges öregítés teljes időtartama során a fafelület degradációjának hatására, a felületen mérhető peremszög (poláris és diszperzív folyadék) a kezdeti, frissen megmunkált faanyagon mérhető érték alá csökkent. Ennek magyarázata a fotodegradáció hatására a faanyag összetevőiben bekövetkező bomlás, majd az emiatt keletkező bomlástermékek további degradálódása.

A felületi réteg kémiai változásait a faanyag fő összetevőinek (cellulóz, hemicellulózok és lignin) degradációja befolyásolja, amely változás totál-fenol és összes oldható szénhidrát tartalom, valamint FTIR vizsgálatokkal megfelelően nyomon követhető. A dolgozatban bemutatott, a faanyagok felső, vékony, $\sim 75\text{-}100\ \mu\text{m}$ vastagságú rétegének felhasználásával meghatározott totál-fenol és összes kioldható szénhidrát tartalom vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a fotodegradáció hatására mindkét vizsgált anyagtartalom nagymértékű változásokon esik át, azonban az összes kioldható szénhidrát mennyiségi növekedése, illetve alapvetően nagyobb mértékű jelenléte, nagyobb mértékben befolyásolja a felületre ejtett folyadéksepp peremszögét.

A természetes öregítés eredményeit viszonyítási alapként kezelve megállapítható, hogy a mesterséges öregítés hatására bekövetkező felületi módosulások eltérő minőségű változást okoznak peremszög tekintetében, a természetes öregítéshez viszonyítva. A

teljes értékű összehasonlításához elengedhetetlen a különböző sugárzásforrások által létrehozott sugárzások spektrális összetételének összehasonlítása is.

A bemutatott kutatómunka legjelentősebb eredménye, hogy az alkalmazott mérési technikákkal sikerült új szempontból vizsgálni a faanyag felületén csiszolás, illetve öregedés és öregítés hatására végbemenő változásokat a felületek nedvesíthetőségének szemszögéből.

A bemutatott vizsgálati módszerek és azok kombinációjának segítségével eddigi ismereteink bővítése valósulhatott meg, a fafelületek nedvesíthetőségét befolyásoló felületi változásokat tekintve. A dolgozatban megismert eredmények új összefüggések megértéséhez segíthetik hozzá a hasonló témában tevékenykedő kutatókat.

A dolgozatban bemutatott eredmények gyakorlati alkalmazhatósága főként felületkezelési és ragasztási kérdésekben jelentős. A vizsgálati eredmények alapján levont következtetések segítségével számos, gyakran előforduló nedvesíthetőséggel és tapadással kapcsolatos probléma magyarázható.

Az érdesség és nedvesíthetőség kapcsolatának vizsgálata alapján kapott eredmény a korábbi, magasabb érdességhez magasabb fokú nedvesítést feltételező nézetet megkérdőjelezi. A vizsgálati eredmények egyértelműen mutatják, hogy a vizsgált érdesség-skálán optimális nedvesíthetőség a meghatározott három érdesség-tartomány közül a másodikban (P120-320) érhető el. A dolgozatban bemutatott egyenlet segítségével, adott szemcsefinomsághoz tartozó, fafajonként különböző, várható peremszög érték kalkulálható.

A vizsgált faanyagok felületén öregítés hatására bekövetkező felületi energia változás vizsgálatának újszerűsége a vizsgálatok kombinációjában rejlik. Emiatt, a kapott eredmények - korábbi kutatásokhoz képest - sokrétűbben támasztják alá a kapott eredményt.

7. Tézisek

1. tézis

Megállapítottam, hogy desztillált víz peremszögének változása a szemcsefinomság függvényében, három jól elkülöníthető periódusra bontható a vizsgált fafajok esetében, az alkalmazott érdesség tartományon belül, az illesztett görbe lefutása alapján, amelynek egyenlete a következő:

$$y = b_5 * \left(\sin \left\{ b_4 * \left(1 - e^{-(b_3 * (x - b_2))^{b_1}} \right) \right\} \right) + b_0, \text{ ahol}$$

y: a desztillált víz peremszöge [°],

x: a szemcsefinomság értéke.

A három meghatározott tartomány közül az első, élesen csökkenő szakasz a 60 és 100, a második kiegyensúlyozott szakasz a 120 és 320, a harmadik, enyhén növekvő szakasz pedig a 400 és 600 szemcsefinomságok között határozható meg.

2. tézis

Megállapítottam, hogy fafelületek esetében a hosszú idejű beltéri öregítés, illetve imitálására alkalmazott mesterséges öregítés során, desztillált víz peremszöge a kezdeti növekedést követően, a kezdeti, kontroll érték közelébe csökken. Az intenzív változást felületi kémiai módosulások okozzák, amelyek a faanyag fő összetevőinek bomlásából származnak. A kémiai változások a felületi polaritás változásán keresztül a fafelületek nedvesíthetőséget kezdetben negatívan befolyásolják, az öregítés utolsó vizsgált szakaszában javítják azt.

3. tézis

A mesterségesen öregített felületeken más, erőteljesebb változások következnek be a desztillált vízzel folytatott peremszög mérések alapján, mint természetes öregítés hatására. Természetesen öregített (240 h időtartam) fafelületeken, desztillált vízzel végzett peremszög mérések eredményei kisebb mértékű maximális eltérést mutatnak a kezdeti értékhez viszonyítva, mint a mesterségesen öregített (240 h időtartam) felületeken mért peremszög értékek. Ez az eltérés 50 h időtartamú öregítés után válik kimutathatóvá.

4. tézis

Megállapítottam, hogy hosszú időtartamú (240 h) mesterséges öregítés hatására a fafelületek polaritása poláris irányba erősödik, emiatt a poláris és diszperzív (desztillált víz) folyadék peremszöge nagyobb mértékű változást mutat a diszperzív folyadék (dijódmétán) peremszögéhez viszonyítva. A fafelületek felületi energiája 60 h mesterséges öregítést követően növekszik a kezdeti fölé, amelyből a felületek nedvesíthetőségének javulására következtethetünk.

5. tézis

Megállapítottam, hogy a vizsgált faanyagok esetében, mesterséges xenon izzós öregítés során, a felületi rétegben (75-100 μm) a kioldható összes szénhidrát tartalom növekvő tendenciát mutat. A faanyagok felületi rétegében az extrahálható fenolos anyagok növekvő mennyiségben vannak jelen, a növekedés üteme a mesterséges öregítés időtartama alatt lassul. A 240 h mesterséges öregítés hatására az összes kioldható szénhidrát tartalom 6-8-szorosára, a totál-fenol tartalom 15-szeresére növekszik. Bár a szénhidrátok és fenolos anyagok mennyisége egyaránt növekszik és a fenolos anyagok össznövekedése nagyobb, mint a szénhidrátoké, a szénhidrátok alapvetően nagyobb mértékű jelenlétük miatt, nagyobb befolyással vannak a peremszög alakulására, mint a fenolos anyagok.

6. tézis

A kutatómunka során elvégzett FTIR vizsgálatok alapján, a vizsgált fafajok (bükk (*Fagus sylvatica* L.), nyír (*Betula pendula*), kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*), illetve lucfenyő (*Picea abies*)) esetében megállapítottam, hogy folyadékok peremszögét, ezzel együtt pedig a nedvesíthetőséget nagymértékben befolyásoló,- a faanyag felületén és felületi rétegében jelen lévő fenolos anyagok a lignin degradációjából származnak.

8. Javaslatétel további kutatási feladatokra

A felületi érdesség befolyásoló hatásának még pontosabb feltérképezése, a felület megmunkálásából származó por hatásainak figyelembe vétele mellett.

A felületi érdesség felületi energiára gyakorolt hatásának további vizsgálata, a különböző szemcsefinomságú csiszolópapírral csiszolt felületek FTIR vizsgálatával.

A faanyag sűrűségének és a felületi energia összefüggésének vizsgálata, annak megállapítására, hogy a különböző sűrűségű – és lehetőség szerint hasonló járulékos anyag tartalommal rendelkező – faanyagok mutatnak-e jelentős különbséget – azonos megmunkálás, illetve a megmunkálástól számított kor mellett – felületi energia tekintetében. A vizsgálatokhoz alkalmazandó mérési módszerként dinamikus peremszög mérési eljárás ($t=30$ s) javasolt, az abszorpció minőségének megfelelő leírása érdekében.

Természetes beltéri öregítés hatásainak vizsgálata FTIR, totál-fenol és összes kioldható szénhidrát tartalom vizsgálatokkal, további fafajok esetében.

Irodalomjegyzék

Ábel, M. (2016): Mezőgazdasági hulladékok hasznosításának és az alkalmazott enzim visszanyerésének lehetőségei. Doktori disszertáció. SzTE-KDI

Abidi, N. – Hequet, E. – Cabrales, L. (2011): Applications of Fourier Transform Infrared Spectroscopy to Study Cotton Fibers. In: Fourier Transforms – New Analytical Approaches and FTIR Strategies (Ed.: Nicolic, G.) ISBN: 978-953-307-232-6 InTech Europe, Croatia. pp. 89-114.

Agresti, G. - Calienno, L. - Lo Monaco, A. - Pelosi, C. - Picchio, R. (2013): Experimental investigation on colour and chemical modifications of normal and red heartwood beech (*Fagus sylvatica* L.). In: Proceedings of the 4th International Scientific Conference on Hardwood Processing, Florence, Italy, 7-9 October 2013. pp. 109-116.

Amorim, M. R. S. - Ribeiro, P. G. - Martins, S. A. - del Menezzi, C. H. S. - de Souza, M. R. (2013): Surface wettability and roughness of 11 Amazonian tropical hardwoods. Floresta e Ambiente. 20 (1) pp. 99-109.

Anjos, J. P. - Cardoso, M. G. - Saczk, A. A. - Dórea, H. S. - Santiago, W. D. - Machado, A. M. R. - Zacaroni, L. M. - Nelson (2011): Evolution of the concentration of phenolic compounds in cachaça during aging in an oak (*Quercus* sp.) barrel. Journal of the Brazilian Chemical Society 22 (7) 1307-1314.

Ayadi, N. - Lejeune, F. - Charrier, F. - Charrier, B. - Merlin, A. (2003): Color stability of heat-treated wood during artificial weathering. Holz als Roh- und Werkstoff 61 pp. 221–226.

Ayadi, N. (2004): Vieillissement climatique d'un système bois-vernis-absorbeur UV inorganique. Doktori disszertáció. Université de Nantes – Sciences des Matériaux

Baar, J. - Ondrušková, J. - Rademacher, P. (2015): Change of wood moisture content during artificial light irradiation and its influence on colour measurement. Drvna Industrija 66 (3) pp. 189-193.

Bach, E. L. (1991): Oxidative activation of wood surfaces for glue bonding. Forest Products Journal 41 (2) pp. 30–36.

Baeza, J. – Freer, J. (2001): Chemical Characterization of Wood and Its Components. In: Wood and cellulosic chemistry. 2nd Edition. Chapter 8. (Eds: Hon, D. N. S. - Shiraishi, N.) Marcell-Decker NY, pp. 341.

Barbarisi, M. J. (1967): Relationship between wettability and adhesion of polyethylene. Nature 215 pp. 383-384.

- Barker, B. – Owen, N. L. (1999): Identifying softwoods and hardwoods by infrared spectroscopy. *Journal of Chemical Education* 76 (12) pp. 1706-1709.
- Bengt, K. - Holmberg, K. - Lindman, B. (2014): Surface chemistry of surfactants and polymers. John Wiley & Sons, UK. (ISBN: 978-1-119-96124-6) pp. 381-382.
- Boehme, C. - Hora, G. (1996): Water absorption and contact angle measurement. *Holzforschung* 50. pp. 269-276.
- Bogner, A. – Grbac, I. – Despot, R. (2002): Adhesion and optimum surface tension of adhesives. *Devársky Výskum* 47 (4) pp. 17-26.
- Bogner, A. – Turkulin, H. – Mihulja, G. (1999): Determination of optimum surface tension of coatings and adhesives. In: Surface properties and durability of exterior wood building components. (Ed.: Turkulin, H.) International Conference, Zagreb, Croatia, 30 April 1999. (ISBN: 953-6307-38-3) pp. 7.
- Borgin, K. – Faix, O. – Schweers, W. (1975): The effect of aging on lignins of wood. *Wood Science and Technology* 9 pp. 207-211.
- Burtin, P. – Jay-Allemand, C. – Charpentier, J-P. – Janin, G. (1998) : Natural wood colouring process in *Juglans* sp. (*Juglans nigra* 23 x *Juglans regia*) depends on native phenolic compounds accumulated in the transition zone between sapwood and heartwood. *Trees* 12 pp. 258-264.
- Burtin, P. – Jay-Allemand, C. – Charpentier, J-P. – Janin, G. (2000): Modifications of hybrid walnut (*Juglans nigra* 23 x *Juglans regia*) wood colour and phenolic composition under various steaming conditions. *Holzforschung* 54 pp. 33-38.
- Cabrita, M. J. – Barrocas Dias, C. – Costa Freitas, A. M. (2011): Phenolic acids, phenolic aldehydes and furanic derivatives in oak chips: American vs. French oaks. *South African Journal for Enology and Viticulture* 32 (2) pp. 204-210.
- Campbell, M. M. – Sederoff, R. R. (1996): Variation in lignin content and composition. *Plant Physiology* 110 (1) pp. 3-13.
- Capobianco, G. - Calienno, L. - Pelosi, C. - Scacchi, M. - Bonifazi, G. - Agresti, G. - Picchio, R. - Santamaria, U. - Serranti, S. - Lo Monaco, A. (2016): Protective behavior monitoring on wood photo-degradation by spectroscopic techniques coupled with chemometrics. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 172 pp. 34-42.
- Chen, C. (1970): Effect of extractive removal on adhesion and wettability of some tropical woods. *Forest Products Journal* 1 pp. 36-40.

Collett, B. M. (1972): A review of surface and interfacial adhesion in wood science and related fields. *Wood Science and Technology* (6) pp. 1-42.

Colom, X. - Carrillo, F. - Nogues, F. - Garriga, P. (2003): Structural analysis of photodegraded wood by means of FTIR spectroscopy. *Polymer Degradation and Stability* 80 pp. 543–549.

Csanády, E. – Magoss, E. – Tolvaj, L. (2015): *Quality of Machined Wood Surfaces*. Springer International Publishing Switzerland. ISBN: 978-3-319-22418-3. Chapter 2. pp. 32.

Csiha, Cs. (2003): Faanyagok felületi érdességének vizsgálata „P” és „R” profilon, különös tekintettel a nagyedényes fajokra. Doktori disszertáció NyME-FMK pp. 7.

Csiha, Cs. – Gurau, L. (2011): Study on the influence of surface roughness on the adhesion of water based PVAC. In: *Proceedings of International Conference “Wood Science and Engineering” ICWSE 2011” 2-4 November Brasov, Romania*. pp. 411-419.

Csóka, L. – Zhu, J. – Takata, K. (2005): Application of the Fourier analysis to determine the demarcation between juvenile and mature wood. *Journal of Wood Science* 51 pp. 309-311.

Daudt, C. E. – Fogaça, A. O. (2013): Phenolic compounds in Merlot wines from two wine regions of Rio Grande do Sul, Brazil. *Food Science and Technology* 33 (2) pp. 355-361.

de Meijer, M. – Haemers, S. – Cobben, W. – Militz, H. (2000): Surface energy of wood: Comparison of methods and wood species. *Langmuir* 16 (24) pp. 9352-9359.

Dubois, M. - Gilles, K. A. - Hamilton, J. K. - Rebers, P. A. - Smith, F. (1956): Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28 pp. 350 – 356.

Esteves, B. - Velez Marques, A. - Domingos, I. - Pereira, H. (2013): Chemical changes of heat treated pine and eucalypt wood monitored by FTIR. *Ciencia y tecnología* 15 (2) pp. 245-258.

Evans, P. D. (2008): *Weathering and Photoprotection of Wood*. In: ACS Symposium Series, Vol. 982.(ISBN: 978-0-8412-3951-7) American Chemical Society Chapter 5. pp. 69-117.

Faix, O. – Böttcher, J. H. (1992): The influence of particle size and concentration in transmission and diffuse reflectance spectroscopy of wood. *Holz als Roh- und Werkstoff* 50 pp. 221-226.

Frihart, C. R. (2005/a): Wood adhesion and adhesives. In: Handbook of wood chemistry and wood composites (Ed.: Rowell, R. M.) Taylor and Francis CRC Press. ISBN: 978-0-8493-1588-3. Chapter 9. pp. 231.

Frihart, C. R. (2005/b): Wood adhesion and adhesives. In: Handbook of wood chemistry and wood composites (Ed.: Rowell, R. M.) Taylor and Francis CRC Press. ISBN: 978-0-8493-1588-3. Chapter 9. pp. 235.

Garai, R. M. – Sánchez, I. C. – García, R. T. – Valverde, M. A. R. - Vílchez, M. A. C. – Hidalgo-Álvarez, R. (2005): Study on the effect of raw material composition on water-repellent capacity of paraffin wax emulsion on wood. *Journal of Dispersion Science and Technology* 26 pp. 9-18.

Gardner, D. J. (1996): Application of the Lifshitz-Van der Waals acid-base approach to determine wood surface tension components. *Wood and Fiber Science* 28 (4) pp. 422-428.

Gardner, D. J. - Generalla, N. C. - Gunnells, D. W. - Wolcott, M. P. (1991): Dynamic wettability of wood. *Langmuir* 7 pp. 2498-2502.

Gardner, D. - Oporto, G. - Tze, W. (2016): Wood and fiber-based composites: Surface properties and adhesion (Eds.: Belgacem, N. - Pizzi, A.) Scrivener Publishing - John Wiley & Sons. ISBN 978-1118-77352-9. Chapter 14. pp. 365.

Gindl, M. – Reiterer, A. – Sinn, G. – Stanzl-Tschegg, S. E. (2004): Effects of surface ageing on wettability, surface chemistry and adhesion of wood. *Holz als Roh- und Werkstoff* 62 pp. 273-280.

Gindl, M. – Sinn, G. – Gindl, W. - Reiterer, A. – Tschegg, S. (2001/a): A comparison of different methods to calculate the surface free energy of wood using contact angle measurements. *Colloids and Surfaces* 181 pp. 279-287.

Gindl, M. - Sinn, G. - Reiterer, A. - Tschegg, S. (2001/b): Wood surface energy and time dependence of wettability: A comparison of different wood surfaces using an acid-base approach. *Holzforschung* 55 pp. 433-440.

Gindl, M. - Sinn, G. - Stanzl-Tschegg, S. E. (2006): The effects of ultraviolet light exposure on the wetting properties of wood. *Journal of Adhesion Science and Technology* 20 (8) pp. 817-828.

Good, R. J. – Chaudhury, M. K. – Yeung, C. (1998): A new approach for determining roughness by means of contact angles on solids. In: *Proceedings of the 1st International Congress on Adhesion Science and Technology*. (Eds.: W. J. van Ooij, H. R. Anderson Jr.) pp. 181-197.

- Good, R. J. – Girifalco, L. A. (1960): A theory for the estimation of surface and interfacial energies – III. Estimation of surface energies from contact angle data. *Journal of Physical Chemistry* 64 (5) pp. 561-565.
- Gray, V. R. (1962): The wettability of wood. *Forest Products Journal* 12 pp. 452-461.
- Gurau, L. (2013): Analysis of roughness of sanded oak and beech surfaces. *Pro Ligno* 9 (4) pp. 741-750.
- Gurau, L. - Mansfield-Williams, H. - Irle, M. (2013): The influence of measuring resolution on the subsequent roughness parameters of sanded wood surfaces. *European Journal of Wood Products* 71 pp. 5-11.
- Hendarto, B. – Shayan, E. – Ozarska, B. – Carr, R. (2006): Analysis of roughness of a sanded wood surface. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 28 pp. 775-780.
- Herczeg, A. (1965): Wettability of wood. *Forest Products Journal* 15 pp.499-505.
- Hon, D. N. S. (1983): Weathering reactions and protection of wood. *Journal of Applied Polymers Science – Applied Polymers Symposium* 37. Conference 9. – Cellulose conference, Syracuse, NY, USA. 24 May.
- Hon, D. N. S. (1994): Degradative effects of ultraviolet light and acid rain on wood surface quality. *Wood and Fiber Science* 26 (2) pp. 185-191.
- Hon, D. N. S. - Clemson, S. C. - Feist, W. C. (1986): Weathering characteristics of hardwood surfaces. *Wood Science and Technology* 20 pp. 169-183.
- Hon, D. N. S. – Ifju, G. (1978): Measuring of light into wood by detection of photo-induced free radicals. *Wood Science* 11 (2) pp. 118-127.
- Horn, B. A. – Qui, J. – Owen, N. L. Feist, W. C. (1994): FT-IR studies of weathering effects in western red cedar and southern pine. *Applied Spectroscopy* 48 (6) pp. 662-668.
- Hórvölgyi, Z. (2011): A nanotechnológia kolloidkémiai alapjai. (Ed.: Hargitainé Tóth, Á.) *Typotex Kiadó* pp. 91. (ISBN: 978-963-279-467-9)
- Hse, C. (1972): Wettability of southern pine veneer by phenol-formaldehyde wood adhesives. *Forest Products Journal* 22 (1) pp. 51-56.
- Hse, C. – Kuo, M. (1988): Influence of extractives on wood gluing and finishing – a review. *Forest Products Journal* 38 (1) pp. 52-56.

Jaić, M. - Živanović, R. - Stevanović-Janežić, T. - Dekanski, A. (1996): Comparison of surface properties of beech and oak wood as determined by ESCA method. Holz als Roh- und Werkstoff 54 pp. 37-41.

Jankowska, A. – Reder, M. – Gołofit, T. (2017): Comparative study of wood color stability using accelerated weathering process and infrared spectroscopy. Wood Research (SK) 62 (4) pp. 549-556.

Jirouš-Rajković, V. - Bogner, A. - Mihulja, G. - Vrsaljko, D. (2007): Coating adhesion and wettability of aged and preweathered fir wood and pine wood surfaces. Wood Research 52 (2) pp. 39-48.

Jirouš-Rajković, V. – Turkulin, H. – Miller, E. R. (2004): Depth profile of UV-induced wood surface degradation. Surface Coatings International Part B. Coatings Transactions 87 (B4) pp. 235-308.

Juhász, Gy. (2012): Ragasztástechnika jegyzet. Debreceni egyetem pp. 8. (<http://www.eng.unideb.hu/userdir/juhasz/letoltesek/Ragasztastechnika.pdf>) (letöltés ideje: 2017.02.06.)

Jusoh, I. - Rahman, M. - Affan, A. - Hamdan, S. - Salam, A. (2012): Treatability of tropical wood using newly synthesized organotin(IV) complexes. Journal of Applied Sciences 12 (6) pp. 535-543.

Kähkönen, M. P. – Hopia, A. I. – Vuorela, H. J. – Rauha, J-P. – Pihlaja, K. – Kujala, T. S. – Heinonen, M. (1999): Antioxidant activity of plant extracts containing phenolic compounds. Journal of Agricultural and Food Chemistry 47 pp. 3954-3962.

Kajita, H. - Skaar, C. (1992): Wettability of the surfaces of some American softwoods species. Mokuzai Gakkaishi. (japán nyelven, angol nyelvű összefoglalóval) 38 (5) pp. 516-521.

Kalnins, M. A. - Katzenberger, C. - Schmieding, S. A. - Brooks, J. K. (1988): Contact angle measurement on wood using videotape technique. Journal of Colloid and Interface Science 125 (1) pp. 344-346.

Kataoka, Y. – Kiguchi, M. – Evans, P. D. (2004) Photodegradation depth profile and penetration of light in Japanese cedar earlywood (*Cryptomeria japonica* D. Don) exposed to artificial solar radiation. Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions. 87 (B3) pp. 149-234.

Kataoka, Y. – Kiguchi, M. – Williams, R. S. – Evans, P. D. (2006): The effects of wavelength on photodegradation depth profiles in Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don) earlywood. In: Proceedings of the Fifth International Wood Coatings

Congress – Enhancing Service Life, 2006 October 17-18, Prague, Czech Republic. pp. 6.

Kataoka, Y. – Kiguchi, M. – Williams, R. S. – Evans, P. D. (2007): Violet light causes photodegradation of wood beyond the zone affected by ultraviolet radiation. *Holzforschung* 61 pp. 23-27.

Kilic, M. - Hizirolu, S. - Burdurlu, E. (2006): Effect of machining on surface roughness of wood. *Building and Environment* 41 pp. 1074-1078.

Kishino, M. - Nakano, T. (2004): Artificial weathering of tropical woods. Part 1: Changes in wettability. *Holzforschung* 58 pp. 552-557.

Kocaefe, D. – Huang, X. – Kocaefe, Y. – Boluk, Y. (2012): Quantitative characterization of chemical degradation of heat-treated wood surfaces during artificial weathering using XPS. *Surface and Interface Analysis* 45 (2) pp. 639-649.

Koch, G. W. – Sillett, S. C. – Jennings, G. M. – Davis, S. D. (2004): The limits to tree height. *Nature* 428 pp. 851-854.

Kuo, M. - Hu, N. (1991): Ultrastructural changes of photodegradation of wood surfaces exposed to UV. *Holzforschung* 45 (5) pp. 347-353.

Kúdela, J. (2014): Wetting of wood surfaces by a liquids with different polarity. *Wood Research (Slovakia)* 59 (1) pp. 11-24.

Laina, R. – Sanz-Lobera, A. – Villasante, A. – López-Espí, P. – Martínez-Rojas, J. A. – Alpuente, J. – Sánchez-Montero, R. – Vignote, S. (2017): Effect of the anatomical structure, wood properties and machining conditions of surface roughness of wood. *Maderas Ciencia Y Tecnología* 19 (2) pp. 203-212.

Liptáková, E. – Kúdela, J. (1994): Analysis of the wood wetting process. *Holzforschung* (48) pp. 139-144.

Loureiro da Seca, A. M. – Domingues, F. M. J. (2006): Basic density and pulp yield relationship with some chemical parameters in eucalyptus trees. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41 (12) pp. 1687-1691.

Mantanis, G. I. - Young, R. A. (1997): Wetting of wood. *Wood Science and Technology* 31 pp. 339-353.

Marian, J. E. (1963): Surface texture in relation to adhesive bonding. *ASTM Special Technical Publication No. 340* pp. 122.

Marian, J. E. - Stumbo, D. A. (1962): Adhesion in Wood. Part II. Physico-chemical surface phenomena and the thermodynamic approach to adhesion. *Holzforschung* 16 (6) pp. 168–180.

Mazzola, L. - Bemporad, E. - Carassitit, F. (2012): An easy way to measure surface free energy by drop shape analysis. *Measurement* 45 pp. 317-324.

Miao, J. – Yu, Y. – Jiang, Z. – Tang, L. – Zhang, L. (2017): Partial delignification of wood and membrane preparation using a quaternary ammonium ionic liquid. *Scientific Reports* 7 Article number: 42472.

Mihulja, G. - Bogner, A. - Turkulin, H. (1999): Modification of beech wood surface by UV-irradiation. *Drvna Industrija* 50 (3) pp. 133–140.

Mittal, K. L. (1977): The role of the interface in adhesion phenomena. *Polymer Engineering and Science* 17 (7) pp. 467-473.

Moghaddam, M. S. - Claesson, P. M. - Wålinder, M. - Swerin, A. (2014): Wettability and liquid sorption of wood investigated by Wilhelmy plate method. *Wood Science and Technology* 48 pp. 161-176.

Molnár, Zs. - Magoss, E. - Tolvaj, L. (2013): A fotodegradáció okozta felületérdesedés vizsgálata. *FAIPAR* 61 (2) pp. 26-32.

Müller, U. – Rätzsch, M. – Schwanninger, M. – Steiner, M. – Zöbl, H. (2003): Yellowing and IR-changes of spruce wood as result of UV-irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 69 pp. 97–105.

Németh, K. (1998): A faanyag degradációja. *Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest*. pp. 53-58.

Németh, K. – Faix, O. (1994): Beobachtung der Photodegradation des Holzes durch quantitative DRIFT-Spektroskopie. *Holz als Roh- und Werkstoff* 52 pp. 261-266.

Nguyen, T. – Johns, W. E. (1979/a): Polar and dispersion force contributions to the total surface free energy of wood. *Wood Science and Technology* (12) pp. 63-74.

Nguyen, T. - Johns, W.E. (1979/b): The effects of aging and extractives on the surface free energy of Douglas-fir and redwood. *Wood Science Technology* 13 pp. 29-40.

Niemz, P. – Hofmann, T. – Rétfalvi, T. (2010): Investigation of chemical changes in the structure of thermally modified wood. *Maderas Ciencia Y Tecnologia* 12 (2) pp. 69-78.

- Nishiyama, Y. – Sugiyama, J. – Chanzy, H. – Langan, P. (2003): crystal Structure and Hydrogen Bonding System in Cellulose I_α from Synchrotron X-ray and Neutron Fiber Diffraction. *Journal of the American Chemical Society* 125 (47) pp. 14300-14306.
- Nowak, E. – Combes, G. – Stitt, E. H. – Pacek, A. W. (2013): A comparison of contact angle measurement techniques applied to highly porous catalyst supports. *Powder Technology* 233. pp. 52-64.
- Nuopponen, M. – Vuorinen, T. – Jämsä, S. – Viitaniemi, P. (2004): Thermal modifications in softwood studied by FT-IR and UV resonance Raman spectroscopies. *Journal of Wood Chemistry and Technology*. 24 (1) pp. 13-26.
- Nussbaum, R. M. (1996): The critical time limit to avoid natural inactivation of spruce surfaces intended for painting and gluing. *Holz als Roh- und Werkstoff* 54(1) pp. 26.
- Nussbaum, R. M. (1999): Natural surface inactivation of Scots pine and Norway spruce evaluated by contact angle measurements. *Holz als Roh- und Werkstoff* 57 pp.419-424.
- Nussbaum, R. (2001): Surface interactions of wood with adhesives and coatings. *Doktori disszertáció, KTH – Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.*
- Oliver, J. P. – Huh, C. – Mason, S. G. (1980): An experimental study of some effects of solid roughness on wetting. *Colloids and Surfaces* 1 (1) pp. 79-104.
- Owens, D. K. – Wendt, R. C. (1969): Estimation of the surface free energy of polymers. *Journal of Applied Polymer Science* 13 pp. 1741-1747.
- Öner, D. - McCarthy, T. J. (2000): Ultrahydrophobic surfaces. Effects of topography length scales on wettability. *Langmuir* 16 pp. 7777-7782.
- Özgenç, Ö. – Durmaz, S. – Boyacı, I. H. – Eksi-Kocak, H. (2016): Determination of chemical changes in heat-treated wood using ATR-FTIR and FT Raman spectrometry. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 171 pp. 395-400.
- Pandey, K. K. (2005/a): A note on the influence of extractives on the photo-discoloration and photo-degradation of wood. *Polymer Degradation and Stability* 87 pp. 375-379.
- Pandey, K. K. (2005/b): Study of the effect of photo-irradiation on the surface chemistry of wood. *Polymer Degradation and Stability* 90 pp. 9-20.
- Pandey, K. K. - Pitman, A. J. (2003): FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation* 52 (3) pp. 151–160.

Papp, É. A. (2012): Különböző fafajú és korú faanyagok felületi feszültségének vizsgálata, illetve befolyásolási lehetőségei. In: Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola – Doktorandusz Konferencia Kiadvány, Sopron, Magyarország, 2012. június 1. pp.22.

Papp, G. – Barta, E. – Preklet, E. – Tolvaj, L. – Berkesi, O. – Nagy, T. – Szatmári, S. (2005/a): Changes in DRIFT spectra of wood irradiated by UV laser as a function of energy. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 173 pp. 137-142.

Papp, Gy. – Tolvaj, L. – Barta, E. (2005/b): Changes in DRIFT spectra of silver maple and lignin extracted from the same wood caused by 248.5 nm laser. *Acta Sylvatica et Lignaria Hungarica* 1 pp. 83-91.

Persze, L. (2011): Magyarországi fafajok fotodegradációjának összehasonlítása: Színváltozás. *FAIPAR* 59 (2-3) pp. 35-46.

Petrič, M. – Kutnar, A. – Kričej, B. – Pavlič, M. – Kamke, F. A. – Šernek, M. (2009): Surface free energy of viscoelastic thermal compressed wood. In: *Contact Angle, Wettability and Adhesion*. (Ed.: Mittal, K. L.) VSP/Brill, Leiden. Vol. 6. pp. 301–309.

Petrič, M. - Oven, P. (2015): Determination of wettability of wood and its significance in wood science and technology: A critical review. *Reviews of Adhesion and Adhesives* 3 (2) pp. 121-187.

Preklet, E. (2006): A faanyag fotodegradációjának vizsgálata különböző hullámhosszúságú ultraibolya és látható lézerténnel történő besugárzás esetén. Doktori értekezés. NymE - FMK.

Ramirez-Ramirez, G. - Lubbers, S. - Voilley, A. - Charpentier, C. - Feuillat, M - Chassagne, D. (2001): Aroma compound sorption by oak wood in a model wine *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49 pp. 3893-3897.

Resnik, J. – Sovinc, T. (2002): Effect of duration of storage of MUF resin on the wetting angle on beech wood. *Drvna Industrija* 53 (2) pp. 69-75.

River, B. H. - Vick, C. B. - Gillespie, R. H. (1991/a): Treatise on Adhesion and Adhesives. In: *Wood as an adherend*. (Ed.: Minford, J. D.) Marcel Decker, NY. Vol. 7. Chapter 1. pp. 87-98.

River, B. H. - Vick, C. B. - Gillespie, R. H. (1991/b): Treatise on Adhesion and Adhesives. In: *Wood as an adherend*. (Ed.: Minford, J. D.) Marcel Decker, NY. Vol. 7. Chapter 1. pp. 134-162.

Rodrigues, J. – Faix, O. – Pereira, H. (1998): Determination of lignin content of *Eucalyptus globulus* wood using FTIR spectroscopy. *Holzforschung* 52 pp. 46-50.

Rodríguez-Valverde, M. A. - Cabrerizo-Vílchez, M. A. - Páez-Dueñas, A. - Hidalgo-Álvarez, R. - Rosales-López, P. (2002): Contact angle measurements on two (wood and stone) non-ideal surfaces. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 206. pp. 485–495.

Rossi, D. - Rossi, S. - Morin, H. - Bettero, A. (2012): Within-tree variations in the surface free energy of wood assessed by contact angle analysis. *Wood Science and Technology* 46 pp. 287-298.

Rosu, D. – Teaca, C-A. – Bodirlau, R. – Rosu, L. (2010): FTIR and color change of the modified wood as a result of artificial light irradiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 99 pp. 144-149.

Rowell, R. M. – Pettersen, R. – Han, J. S. – Rowell, J. S. – Tshabalala, M. A. (2005): Cell Wall Chemistry. In: *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites Part I. 3rd Edition* Chapter (Ed.: Rowell, R. M.) Taylor and Francis CRC Press Florida, USA (ISBN: 978-0-84931-588-3) pp. 53.

Rozumek, P. O. - Elbez, G. (1985): Étude de la Mouillabilité du Pin Maritime par une Réine Uree-Formol. *Holzforschung* 39 pp. 239-243.

Rubina, T.; Stalidzans, E.; Diminš, F.; Kuka, P.; Morozovs, A. (2009): Determination of the characteristic value of the contact angle and surface energy for wood. *Latvijas Lauksaimniecības Universitāte - Raksti* 22 pp. 100-112.

Sakakibara, A. – Sano, Y. (2001): Chemistry of Lignin. In: *Wood and cellulosic chemistry. 2nd Edition*. Chapter 4. (Eds: Hon, D. N. S. - Shiraishi, N.) Marcell-Decker NY, pp. 114.

Salame, I. I. - Bandosz, J. T. (2003): Role of surface chemistry in adsorption of phenol on activated carbons. *Journal of Colloid and Interface Science* 264 pp. 307-312.

Sandak, J. – Negri, M. (2005): Wood surface roughness – what is it? In: *Proceedings of the 17th International Wood Machining Seminar (IWMS 17)*, Rosenheim, Germany, 26-28 September.

Santoni, I. – Pizzo, B. (2013): Adhesion and penetration of polyvinyl acetate (PVAc) glues on some commercially valuable hardwood species. In: *Proceedings of the 4th International Scientific Conference on Hardwood Processing*. 7th – 9th October. Florence, Italy pp. 109-116.

Santos-Buelga, C. - Gonzalez-Manzano, S. - Dueñas, M. - Gonzalez-Paramas, A. M. (2012): Extraction and Isolation of Phenolic Compounds. In: *Natural Products Isolation 3rd Edition Volume 864* (Eds.: Sarker, S. D., Nahar, L.) Humana Press NY (ISBN: 978-1-61779-623-4) pp. 427-464.

Sarni, F. – Moutounet, M. – Puech, J-L. – Rabier, P. (1990): Effect of heat treatment of oak wood extractable compounds. *Holzforschung* 44 pp. 461-466.

Scheikl, M. - Dunky, M. (1996): Softwareunterstützte statische und dynamische Kontaktwinkelmessmethoden bei der Benetzung von Holz. *Holz als Roh- und Werkstoff* 54 pp. 113-117.

Scheikl, M. - Dunky, M. (1998): Measurement of dynamic and static contact angles on wood for the determination of its surface tension and the penetration of liquids into the wood surface. *Holzforschung* 52 pp. 89-94.

Schwanninger, M. – Rodrigues, J. C. – Pereira, H. - Hinterstoisser, B. (2004): Effects of short-time vibratory ball milling on the shape of FT-IR spectra of wood and cellulose. *Vibrational Spectroscopy* 36 pp. 23-40.

Singleton, V. L. - Rossi, J.A. (1965): Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16 pp. 144–158.

Sinn, G. – Gindl, M. – Reiterer, A. – Stanzl-Tschegg, S. (2004): Changes in the surface properties of wood due to sanding. *Holzforschung* 58 (3). pp. 246-251.

Snoeijer, J. H. - Andreotti, B. (2008): A microscopic view on contact angle selection. *Physics of Fluids* 20 pp. 1-11.

Stachowiak-Wencek, A. – Zborowska, M. – Waliszewska, B. - Prądzyński, W. (2015): FTIR and colour change of pine wood as a result of xenon irradiation. *Forestry and Wood Technology* 92 pp. 425-429.

Subedi, D. P. (2011): Contact angle measurement for the surface characterization of solids. *The Himalayan Physics* 2 pp. 1-4.

Syofuna, A. - Banana, A. Y. - Nakabonge, G. (2012): Efficiency of natural wood extractives as wood preservatives against termite attack. *Maderas Science Technology* 14 (2) pp. 155-163.

Tesfaye, W. – Morales, M. L. – García-Parilla, M. C. – Troncoso, A. M. (2002): Evolution of phenolic compounds during an experimental aging in wood of sherry vinegar. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 50 (24) pp. 7053-7061.

Thoma, H. - Peri, L. - Lato, E. (2015): Evaluation of wood surface roughness depending on species characteristics. *Maderas Science Technology* 17 (2) pp. 285-292.

Timar, M. C. - Varodi, A. - Hacibektasoglu, M. - Campean, M. (2016): Color and FTIR analysis of chemical changes in beech wood (*Fagus sylvatica* L.) after light steaming

and heat treatment in two different environments. *BioResources* 11 (4) pp. 8325-8343.

Tjeerdsma, B. F. - Militz, H. (2005): Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood. *Holz als Roh- und Werkstoff* 63 pp. 102-111.

Todaro, L. – D’Auria, M. – Langerame, F. – Salvi, A. M. – Scopa, A. (2014): Surface characterization of untreated and hydro-thermally pre-treated Turkey oak woods after UV-C irradiation. *Surface and Interface Analysis* 47 pp. 206-215.

Tolvaj, L. (2005): Lombos fafajok gőzöléssel történő faanyagramesítése és a faanyagok fotodegradációjának vizsgálata. Akadémiai doktori értekezés. Sopron.

Tolvaj, L. (2013): A faanyag optikai tulajdonságai. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, Magyarország, (ISBN: 978-963-359-012-6).

Tolvaj, L. - Bartha, E. - Preklet, E. - Papp, Gy. (2010): A faanyag fotodegradációjának vizsgálata infravörös spektroszkópiás módszerrel. *GÉP - A gépipari tudományos egyesület műszaki folyóirata* 61 (1) pp. 19-23.

Tolvaj, L. – Faix, O. (1995): Artificial ageing of wood monitored by DRIFT spectroscopy and CIE L*a*b* color measurements. *Holzforschung* 9 pp. 397-404.

Tolvaj, L. – Mitsui, K. (2005): Light source dependence of the photodegradation of wood. *Journal of Wood Science* 51 pp. 468-473.

Tolvaj, L. - Persze, L. (2011): A napsugárzás mesterséges fényforrásokkal történő imitálásának problémája. *FAIPAR* 59 (2-3) pp. 19-26.

Tolvaj L. - Persze, L. - Albert, L. (2011): Thermal degradation of wood during photodegradation. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 105. pp. 90-93.

Tolvaj, L. - Varga, D. (2012): Photodegradation of timber of three hardwood species caused by different light sources. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 8 pp. 145-155.

Tomczak, F. - Riedl, B. (2013): Contact angle on two Canadian woods: Influence of moisture content and plane section. In: *Advances in Contact Angle, Wettability and Adhesion.* (Ed.: K. L. Mittal) Vol. 1. Scrivener Publishing. New Jersey. (ISBN: 978-1-118-47292-7) pp. 297-310.

Tóth, Z. (2009): A légkör rövidhullámú sugárzásátbocsátásának hosszú távú változása Budapest felett. *Magyar Tudomány* 4 pp. 428-440.

Trapp, S. - Miglioranza, K. S. - Mosback, H. (2001): Sorption of lipophilic organic compounds to wood and implications for their environmental fate. *Environmental Science and Technology* 35 (8) pp. 1561-1566.

Tshabala, M. A. (2005/a): Surface characterization. In: *Handbook of wood chemistry and wood composites*. (Ed.: Rowell, R. M.) Taylor and Francis. CRC Press. (ISBN: 978-0-8493-1588-3) Chapter 8. pp. 194.

Tshabala, M. A. (2005/b): Surface Characterization. In: *Handbook of wood chemistry and wood composites* (Ed.: Rowell, R. M.) Taylor and Francis CRC Press. (ISBN: 978-0-8493-1588-3) Chapter 8. pp. 236.

Tüske, Zs. (2006): A felületi szabadenergia hatása az előállított pelletek paramétereire. Doktori értekezés. SzTE-GYTI, Szeged.

Umezawa, T. (2001): Chemistry of extractives. In: *Wood and cellulosic chemistry*. 2nd Edition. (Eds: Hon, D. N. S. - Shiraishi, N.) Marcell-Decker NY, pp. 213-241.

Unger, A. - Schniewind, A. P. - Unger, W. (2001): Conservation of wood artifacts. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp. 578.

Varga, D. – Tolvaj, L. – Tsuchikawa, S. – Bejő, L. – Preklet, E. (2017): Temperature dependence of wood photodegradation monitored by infrared spectroscopy. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 348 pp. 219-225.

Vek, V. – Oven, P. (2010): Variability in content of total phenols in beech stem. In: *Proceedings of the 1st Serbian Forestry Congress, Belgrade, Serbia, 11-13 November 2010*. pp. 1539-1547.

Vick, C. B. (1999): Adhesive bonding of wood materials. In: *Wood Handbook – Wood as an engineering material*. Chapter 9. General technical report. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Wisconsin, USA. pp. 199.

Viriot, C. – Scalbert, A. – Hervé du Penhoat, C. M. – Moutounet, M. (1994): Ellagitannins in woods of sessile oak and sweet chestnut dimerization and hydrolysis during wood ageing. *Phytochemistry* 36 (5) pp. 1253-1260.

Visiné Rajczi Eszter (2008): Bükk (*Fagus sylvatica* L.) extrakt anyagok képződése, akkumulációja és megoszlása. Doktori disszertáció. NyME-EMK, Sopron.

Wang, S. - Zhang, Y. - Xing, C. (2007): Effect of drying method on the surface wettability of wood strands. *Holz als Roh- und Werkstoff* 65 pp. 437-442.

Wålinder, M. (1999): Wetting phenomena on wood - Factors influencing measurements of wood wettability. Doctoral thesis. Stockholm, Sweden, KTH-Royal Institute of Technology.

Wålinder, M. - Gardner, D. J. (2002/a): Acid-base characterization of wood and selected thermoplastics. *Journal of Adhesion Science and Technology* 16 (12) pp. 1625-1649.

Wålinder, M. - Gardner, D. J. (2002/b): Factors influencing the determination of wood contact angles and wettability - extractives contamination, wicking, and bulk sorption effects. In: *Advances in Contact Angle, Wettability and Adhesion* (Ed.: K. L. Mittal) Wiley&Sons, New Jersey Vol. 2. pp. 215-238.

Wålinder, M. – Ström, G. (2001): Measurement of wood wettability by the Wilhelmy method – Part 2. Determination of apparent contact angles. *Holzforschung* 55 pp. 33-41.

Wang, X. – Fei, B. – Ren, H. (2009): FTIR spectroscopic studies of the photo-discoloration of Chinese fir. *Spectroscopy and Spectral Analysis*. (kínai nyelven, angol nyelvű összefoglalóval) 29 (5) pp. 1272-1275.

Watkins, D. – Nuruddin, M. – Hosur, M. – Tcherbi-Narteh, A. – Jeelani, S. (2014): Extraction and characterization of lignin from different biomass resources. *Journal of Material Research and Technology* 4 (1) pp. 26-32.

Wegener, G. – Strobel, C. (1992): Bestimmung der phenolischen Hydroxylgruppen in Ligninen und Ligninfraktionen durch Aminolyse und FTIR Spektroskopie. *Holz als Roh- und Werkstoff* 50 pp. 417-420.

Wei, S. - Shi, J. - Wang, D. - Zhang, Y. (2012): Dynamic wettability of wood surface modified by acidic dyestuff and fixing agent. *Applied Surface Science* 258 pp. 1995-1999.

Wenzel, R. N. (1936): Resistance of solid surfaces to wetting by water. *Industrial and Engineering Chemistry* 28 (8) pp. 988-994.

White, M. S. – Ifju, G. – Johnson, J. A. (1974): The role of extractives in the hydrophobic behavior of loblolly pine rhytidome. *Wood and Fiber Science*. 5 (4) pp. 353-363.

Wiedenhoeft, A. C. – Miller, R. B. (2005): Structure and Function of Wood. In: *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites Part I*. 2nd Chapter (Ed.: Rowell, R. M.) Taylor and Francis CRC Press Florida, USA (ISBN: 978-0-84931-588-3) pp. 29-38.

Williams, R. S: (2005): Weathering of wood. In: *Handbook of Wood Composites* (Ed: Rowell, R. M.) CRC Press (ISBN:978-0-8493-1588-6) Chapter 7. pp. 142-178.

Williams, R. S. – Jourdain, C. – Daisey, G. I. – Springate, R. W. (2000): Wood properties affecting finish service life. *Journal of Coatings Technology* 72 (902) pp. 35-42.

Wolkenhauer, H. - Avramidis, G. - Hauswald, E. - Militz, H. - Viol, W. (2009): Sanding vs. plasma treatment of aged wood - A comparison with respect to surface energy. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 29 pp. 18-22.

Young, R. A. (1976): Wettability of wood pulp fibers. *Wood Fiber Science* 8 pp.120-128.

Yuan, Y. – Lee, T. R. (2013): Contact angle and wetting properties. In: *Surface Science Techniques*. Springer Series in Surface Sciences (Eds: Bracco, G., Holst, B.) Springer-Verlag Berlin Heidelberg 51 pp. 3-34.

Zahri, S. - Belloncle, C. - Charrier, F. - Pardon, P. - Quideau, S. - Charrier, B. (2007): UV light impact on ellagitannins and wood surface colour of European oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*). *Applied Surface Science* 253 pp. 4985-4989.

Zbrowska, M. – Stachowiak-Wencek, A. – Waliszewska, B. - Prądyński, W. (2014): Comparative studies of ipe (*Tabebuia* spp.) wood photodegradation cause by treatment with outdoor and indoor UV-A light irradiation. *Forestry and Wood Technology* 88 pp. 292-296.

Zhong, Z. W. - Hizioglu, S. - Chan, C. T. M. (2013): Measurement of the surface roughness of wood based materials used in furniture manufacture. *Measurement* 46 pp. 1482-1487.

A kutatási témában megjelent saját publikációk

Papp, É. A. – Csiha, Cs. (2017): Contact angle as function of surface roughness of different wood species. *Surfaces and Interfaces* 8 pp. 54-59.

Papp, É. A. – Csiha, Cs. – Tolvaj, L. – Csóka, L. (2016): Investigation of artificial aged beech wood surfaces with FTIR spectroscopy. In: *Proceedings of Eco-efficient resource Wood with Special Focus on Hardwoods* (eds.: Teischinger, A. – Németh, R. – Rademacher, P. – Bak, M. – Fodor, F.), Sopron, Hungary, 8-9 September 2016. pp. 28-29.

Csiha, Cs. – Papp, É. A. (2014): Gyalult lucfenyő (*Picea abies*) felületi paraméterének vizsgálata mesterséges öregítés hatására. In: *Az 5. Báthory-Brassai Konferencia tanulmánykötetei*, Budapest, Magyarország, 21-22 Május 2014. pp. 417-421. (ISBN: 978-615-5460-38-8).

Csiha, Cs. – Papp, É. A. (2014): Surface tension measurement of differently rough sanded oak surfaces. In: *International Conference on Processing Technologies: Proceedings of the 3rd Conference for the Forest and Bio-based Products Industries (PTF BPI 2014)*, Kuchl, Austria, 24-26 September 2014.

Papp, É. A. – Csiha, Cs. (2014): Tölgy fafelületek néhány paraméterének vizsgálata megmunkálás után. *FAIPAR* 62 (1) pp. 63-67.

Papp, É. A. – Csiha, Cs. (2013): Surface analysis of sanded and planed wood surfaces. In: *Proceedings of the 'Science for Sustainability' International Scientific Conference for PhD Students* (eds.: Neményi, M. – Varga, L. – Facskó, F. – Lőrincz, I.), Győr, Hungary, 19-20 March 2013. (ISBN: 978-963-3341-03-2) pp. 22-27.

Csiha, Cs. – Papp, É. A. – Valent, J. (2012): Feature of contact angle of ageing Beech and Birch surfaces. In: *The 5th Conference on Hardwood Research and Utilization in Europe 2012: Proceedings of the 'Hardwood Science and Technology'* (eds.: Németh, R. – Teischinger, A.), Sopron, Hungary, 10-11 September 2012. (ISBN: 978-963-9883-97-0) pp. 41-49.

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni témavezetőimnek, Dr. habil Csiha Csillának és Prof. Dr. Csóka Leventének a kutatás során nyújtott szakmai útmutatást és bátorítást.

A kutatás során sokan segítettek munkámat szakmai hozzáértésükkel és tanácsaikkal. Emiatt köszönet illeti a következőket:

- Prof. Dr. Tolvaj Lászlót, az FTIR vizsgálatok kivitelezésében és feldolgozásában nyújtott segítségéért,
- Dr. habil Hofmann Tamást, a felületi kémiai vizsgálatok kivitelezésében és feldolgozásában nyújtott szakmai segítségéért,
- Dr. Bak Miklóst, a SEM felvételek elkészítésében nyújtott segítségéért,
- Dr. Elek Lászlót és Koroknai Lászlót, a számtalan vizsgálati minta kialakításáért,
- Dr. Csanády Viktóriát, a függvényillesztések során nyújtott segítségéért,
- Dr. Makk Nándort, a kutatómunka sokszínűségének biztosításáért,
- Mandl Évát és Tóth Zoltán légkörfizikust, az Országos Meteorológiai Szolgálat munkatársait, a globálsugárzás adatok szolgáltatásáért és feldolgozásáért,
- Dr. Halász Katát, az FTIR vizsgálati eredmények feldolgozásában nyújtott segítségéért és a kitartó baráti támogatásáért,
- a munkahelyi vitára beadott dolgozat bírálóját, Dr. Preklet Edinát és Dr. Németh Lászlót, amiért kritikai észrevételeikkel és alapos bírálatukkal hozzájárultak a dolgozat jobbá tételéhez, valamint
- Dr. Yanin Hosakunt, a PeakFit program kezelésében nyújtott segítségéért (**ขอบคุณ**)

Köszönet illeti továbbá Worakan Hosakunt (**ขอบคุณ**) és Tóth Annamáriát, valamint a SoE mindazon dolgozóit, akik bármilyen módon hozzájárultak e kutatómunka elkészítéséhez.

Nagyon köszönöm Családomnak, kicsiknek és nagyoknak egyaránt, hogy a kutatómunkával töltött évek során irántam tanúsított türelmük végtelen, biztatásuk és szeretetük pedig határtalan volt.

Végül, de nem utolsó sorban köszönet illeti
Dr. Kálmán Attilát (†), Kovács Pétert (†) és Dr. Korsós Bálintot (†),
amiért sokunkat töretlenül tanítottak a következőre:

„Istennek, Hazának, Tudománynak.”

A kutatás a TÁMOP 4.2.4. A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

MELLÉKLETEK

I. sz. melléklet: A felületi érdességmérések eredményei

Bükk - Felületi érdesség (R_z) értékek [μm]													
Szemcsefinomság													
	60	80	100	120	150	180	220	240	280	320	400	500	600
	42,39	28,98	27,71	24,63	22,78	14,03	15,97	13,58	11,76	9,59	11,03	10,51	9,55
	40,19	30,27	26,45	26,16	14,24	14,35	25,28	12,45	13,61	9,77	9,16	8,66	7,06
	35,62	30,07	33,06	20,06	19,27	17,16	16,34	15,01	14,29	14,16	13,20	8,16	8,83
	42,38	31,18	22,58	17,26	11,50	22,16	17,12	11,54	14,31	9,35	14,50	8,46	8,10
	41,55	32,75	26,96	20,93	16,73	16,15	19,01	13,57	13,02	11,15	13,67	14,34	7,58
	36,91	32,18	21,25	16,71	16,94	15,59	13,27	15,06	12,12	15,18	13,04	14,61	9,25
	37,57	33,16	20,32	23,56	15,32	27,13	24,65	16,50	10,62	12,76	9,91	8,95	7,78
	39,81	38,49	32,83	13,82	28,43	22,81	17,70	11,61	15,46	12,79	11,39	8,68	7,71
	41,09	26,22	26,66	15,97	19,59	14,09	14,94	13,07	12,05	11,04	12,41	7,59	9,13
	33,87	33,47	28,59	26,19	24,62	20,73	13,08	16,77	10,33	10,29	9,53	8,25	8,41
átlag:	39,14	31,68	26,64	20,53	18,94	18,42	17,74	13,92	12,76	11,61	11,78	9,82	8,34
szórás:	2,98	3,25	4,35	4,49	5,13	4,52	4,23	1,87	1,67	2,02	1,86	2,57	0,83
konf.	1,85	2,02	2,69	2,78	3,18	2,80	2,62	1,16	1,04	1,25	1,15	1,59	0,51

Lucfenyő - Felületi érdesség (Rz) értékek [μm]

	Szemcsefinomság												
	60	80	100	120	150	180	220	240	280	320	400	500	600
	44,55	49,61	29,89	24,94	25,13	34,73	21,66	20,44	17,02	14,25	12,50	9,49	9,94
	45,06	46,91	28,26	32,60	30,26	33,42	21,94	23,59	20,25	14,42	14,54	9,62	6,90
	44,15	47,13	33,64	36,89	27,35	26,33	28,39	23,29	19,11	16,51	14,97	9,16	9,28
	53,29	51,36	34,19	35,94	23,09	27,26	23,99	22,73	18,08	13,31	15,98	7,94	10,88
	54,72	37,25	34,88	36,72	23,80	29,04	31,30	30,60	22,25	13,87	12,33	7,58	7,07
	39,44	44,85	33,15	36,71	29,14	28,16	27,16	23,39	16,45	13,34	14,99	7,93	9,52
	49,01	47,78	28,45	34,65	34,36	33,24	21,54	21,37	16,27	16,08	12,27	8,91	9,70
	47,94	39,71	30,86	24,75	32,73	24,27	25,94	19,43	13,91	16,78	12,34	9,85	9,49
	54,72	43,28	38,07	31,06	33,84	27,91	23,34	26,89	13,55	18,98	14,57	7,11	8,83
	48,62	39,22	40,51	28,04	36,20	25,74	26,54	26,97	18,71	18,56	13,31	10,81	8,79
átlag:	48,15	44,71	33,19	32,23	29,59	29,01	25,18	23,87	17,56	15,61	13,78	8,84	9,04
szórás:	5,03	4,73	4,01	4,83	4,66	3,58	3,25	3,39	2,70	2,09	1,38	1,17	1,23
konf.	3,12	2,93	2,48	2,99	2,89	2,22	2,01	2,10	1,68	1,29	0,86	0,72	0,76

Nyír - Felületi érdesség (Rz) értékek [μm]

	Szemcsefinomság												
	60	80	100	120	150	180	220	240	280	320	400	500	600
	36,83	36,64	34,03	26,14	28,50	20,32	18,73	15,88	12,06	8,38	9,82	9,02	5,43
	39,55	30,87	34,92	23,11	21,26	18,96	17,09	14,63	14,86	11,06	8,69	9,84	6,80
	47,71	44,41	30,46	21,26	23,01	15,65	16,09	15,29	9,68	7,73	13,34	6,45	8,04
	46,97	46,10	26,66	16,23	17,90	16,12	17,32	12,69	11,36	8,24	10,34	5,75	6,41
	47,18	36,39	35,54	23,44	24,17	22,07	14,83	14,86	9,64	12,39	11,31	7,62	6,39
	38,77	39,95	29,53	15,46	22,21	24,92	21,16	16,35	13,01	11,12	9,08	8,93	7,60
	45,86	36,18	27,92	19,27	18,51	22,42	13,69	18,94	12,55	12,68	11,90	7,68	6,16
	45,89	34,42	26,96	18,36	19,61	13,31	19,80	15,36	9,78	9,67	7,55	5,24	6,51
	44,60	34,80	33,09	24,35	18,94	16,03	13,41	12,54	12,48	7,44	8,09	6,51	6,13
	33,60	38,04	31,44	24,64	16,69	15,07	15,07	13,19	11,31	10,18	10,39	6,69	8,01
átlag:	42,70	37,78	31,06	21,23	21,08	18,49	16,72	14,97	11,67	9,89	10,05	7,37	6,75
szórás:	5,05	4,61	3,28	3,72	3,53	3,82	2,59	1,92	1,68	1,91	1,79	1,51	0,87
konf.	3,13	2,86	2,03	2,30	2,19	2,37	1,61	1,19	1,04	1,18	1,11	0,94	0,54

Kocsánytalan tölgy - Felületi érdesség (Rz) értékek [μm]

	Szemcsefinomság												
	60	80	100	120	150	180	220	240	280	320	400	500	600
	48,69	43,44	32,10	33,13	32,06	23,50	21,64	18,74	20,73	18,91	16,46	15,14	12,32
	55,98	46,16	33,10	32,04	28,13	20,59	24,59	23,46	20,61	23,57	14,33	13,91	11,68
	48,97	48,20	41,68	28,96	25,88	23,37	29,13	21,37	18,79	19,52	16,14	16,71	9,48
	52,82	43,49	34,92	29,67	33,42	26,25	27,92	16,26	19,59	19,87	15,55	10,54	11,44
	45,56	43,07	32,95	28,90	26,86	22,36	24,63	19,08	18,93	18,61	12,27	11,84	13,31
	49,16	46,40	37,84	33,89	25,72	28,73	21,99	23,19	19,80	17,69	13,34	13,99	11,34
	56,42	41,74	30,02	25,91	34,14	32,37	25,40	19,26	26,53	23,14	17,56	13,48	11,49
	45,91	42,16	37,64	37,16	28,39	32,89	31,47	19,51	15,04	21,98	17,49	12,64	9,13
	54,18	47,29	32,64	24,28	23,76	25,64	30,82	15,84	20,03	17,19	14,16	12,93	10,43
átlag:	50,13	44,17	34,72	30,15	28,53	25,89	26,47	19,32	20,12	19,96	15,24	13,49	11,23
szórás:	4,51	2,73	3,43	3,92	3,51	4,21	3,42	2,71	2,83	2,21	1,74	1,70	1,25
konf.	2,80	1,69	2,13	2,43	2,18	2,61	2,12	1,68	1,76	1,37	1,08	1,05	0,78

II. sz. melléklet: Különböző érdességű faanyagok peremszög méréseinek eredményei (desztillált víz)

		Bükk - Peremszög értékek [°]												
		Szemcsefinomság												
		60	80	100	120	150	180	220	240	280	320	400	500	600
		71,3	72,1	60,6	56,1	49,5	45,9	43,3	50,5	54,5	47,3	56,3	64,3	62,7
		76,5	66,0	58,8	50,5	45,7	47,9	51,2	56,7	44,9	64,5	58,4	52,2	51,3
		80,1	64,1	49,3	46,2	43,7	44,7	43,6	41,8	54,5	52,8	67	55,0	55,7
		79,5	75,4	43,7	56,8	43,4	43,7	49,9	56,6	46,9	53,1	47,4	58,4	53,5
		70,9	62,9	47,6	47,6	42,4	38,5	45,9	47,2	43,8	47,3	53,3	57,6	64,3
		78,2	66,2	46,0	42,7	53,2	49,6	46,4	54,4	53,9	49,7	56,4	55,7	58,4
		73,4	73,5	46,6	47,8	46,5	43,7	38,9	57,9	49,9	55,8	55,8	58,2	57,3
		71,0	58,3	58,5	51,6	45,9	43,5	52,2	45,8	51,2	50,7	64,4	63,0	68,3
		80,7	66,8	57,4	52,4	49,4	39,8	45,3	48,9	53,6	56,8	57,1	63,3	58,5
		74,7	54,7	52,6	55,9	49,6	41,6	53,6	54,9	52,6	53,9	58,5	52,4	61,1
		81,8	64,0	49,5	47,8	46,0	43,2	52,9	52,6	53,8	56,9	63,5	57,7	64,0
		79,2	67,9	52,5	46,4	54,6	38,3	51,9	53,8	49,1	49,8	59,4	63,0	61,1
		72,8	67,4	56,6	50,9	48,3	50,8	51,6	49,7	48,7	59,4	57,9	56,1	59,9
		75,1	59,3	53,1	48,5	57,9	51,9	51	51,9	47,2	50,6	56,5	61,3	55,3
		67,8	57,8	50,3	43,3	46,6	48,6	54,3	46,1	53,5	52,4	49,3	56,5	56,3
		63,7	67,6	52,7	52,9	42,6	40,7	43,1	52,7	44,4	60,7	60,2	54,0	58,3
		79,8	61,6	49,5	47,9	40,1	48,4	44,1	45,7	48,1	47,6	58,4	58,5	68,6
		73,7	59,8	57,8	51,3	45,0	49,1	52,9	55,8	56,4	57,1	62,7	53,9	49,8
		77,9	63,5	57,9	48,1	51,6	50,7	49,8	44,3	49,1	53	57,8	52,9	48,3
		75,6	78,7	61,3	47,2	48,7	47,3	46,1	48,7	55,9	53,9	58,9	62,0	51,4
átlag:		75,19	65,38	53,12	49,60	47,54	45,40	48,40	50,80	50,60	53,67	57,96	57,80	58,21
szórás:		4,71	6,18	5,24	3,93	4,44	4,24	4,41	4,64	3,92	4,62	4,62	3,90	5,73
konf.		2,06	2,71	2,30	1,72	1,94	1,86	1,93	2,03	1,72	2,03	2,03	1,71	2,51

Lucfenyő - Peremszög értékek [°]

	Szemcsefinomság												
	60	80	100	120	150	180	220	240	280	320	400	500	600
	90,9	71,8	92,6	59,8	75,0	76,1	69,9	83,4	64,7	66,4	67,9	82,7	78,5
	91,2	91,0	86,4	73,4	80,9	59,7	83,8	81,6	84,2	78,2	64,2	86,4	73,1
	80,4	89,4	85,7	76,2	67,9	66,0	67,1	64,9	70,6	67,4	76,4	86,9	74,8
	88,3	70,0	84,3	75,5	67,1	76,9	66,5	76,6	67,6	65,3	68,9	73,2	71,6
	97,2	88,5	91,5	71,2	80,0	63,3	67,2	67,5	70,2	80,2	89,0	92,4	81,9
	84,1	77,2	90,5	77,7	64,8	59,0	68,8	80,2	67,7	75,2	76,9	86,8	71,4
	83,5	74,6	78,2	69,2	61,8	77,0	68,1	81,6	65,8	66,4	72,3	81,5	81,3
	66,3	82,5	79,5	68,1	69,9	69,7	64,7	67,8	73,0	81,4	73,4	79,3	74,4
	94,6	69,2	77,3	62,8	59,6	75,4	66,9	79,1	86,8	68,4	86,4	81,9	70,2
	86,5	76,0	83,0	77,0	59,1	69,0	71,0	70,8	65,7	66,7	79,5	86,2	63,9
	95,5	90,2	75,7	70,9	60,2	64,0	89,0	74,3	71,2	76,5	76,0	76,9	69,1
	69,7	83,6	84,9	58,9	78,1	74,3	75,5	69,2	67,9	67,1	77,6	84,3	64,0
	89,3	67,7	94,7	65,0	77,5	73,1	77,9	77,5	74,1	73,2	84,1	82,6	69,6
	85,2	86,4	78,4	81,0	73,9	57,2	69,9	71,0	63,7	59,3	77,6	79,3	75,8
	89,4	80,0	89,6	57,3	68,8	67,0	66,8	76,1	75,7	66,8	74,8	75,6	78,0
	92,1	75,2	86,5	76,4	68,3	67,9	80,6	83,6	71,0	69,6	83,2	75,9	59,7
	66,7	76,6	71,6	73,3	78,7	71,6	76,8	81,8	72,3	63,8	69,9	84,5	83,6
	69,8	80,3	98,2	70,7	69,2	62,1	64,6	80,6	67,0	78,2	89,3	79,1	74,0
	93,2	78,1	76,4	71,0	72,6	56,5	67,9	69,2	73,4	69,9	75,2	89,5	75,5
	92,7	86,3	77,4	72,8	59,6	66,8	68,2	85,6	72,6	77,2	86,0	80,4	79,8
átlag:	85,33	79,73	84,12	70,41	69,65	67,63	71,56	76,12	71,26	70,86	77,43	82,27	73,51
szórás:	9,80	7,29	7,22	6,65	7,27	6,64	6,78	6,33	5,92	6,18	7,12	4,96	6,31
konf.	4,29	3,20	3,16	2,91	3,19	2,91	2,97	2,78	2,59	2,71	3,12	2,17	2,77

Nyír - Peremszög értékek [°]

	Szemcsefinomság												
	60	80	100	120	150	180	220	240	280	320	400	500	600
	74,9	69,9	61,9	61,0	52,1	56,4	53,0	50,4	55,3	52,9	59,4	52,4	58,3
	75,7	67,1	61,3	64,2	58,4	52,6	46,9	66,1	45,0	53,1	61,3	53,1	67,0
	70,6	71,5	74,7	59,3	52,5	50,9	54,6	61,1	47,4	52,5	56,1	56,4	59,9
	73,9	74,2	61,9	58,5	56,1	51,7	62,5	58,8	57,0	46,8	53,1	51,4	62,0
	71,1	59,1	68,0	64,6	59,2	52,3	50,7	59,5	49,3	56,7	47,2	50,0	56,9
	73,8	67,8	60,9	65,8	59,7	60,7	49,0	57,6	53,9	57,3	58,2	61,5	45,9
	75,9	60,7	59,6	65,0	58,5	49,1	53,1	65,2	41,0	53,2	47,6	60,3	54,9
	66,1	66,5	60,3	67,4	51,4	54,4	49,7	55,7	49,0	47,4	49,9	54,8	53,8
	67,5	74,1	65,2	61,5	48,2	52,8	55,9	54,0	45,7	48,6	48,2	59,3	66,3
	74,6	78,6	74,5	56,4	52,9	48,6	45,9	67,3	53,2	56,0	59,8	49,5	56,9
	73,7	62,2	67,8	57,9	51,0	51,3	51,9	52,4	51,9	49,1	48,2	62,0	61,7
	71,6	73,4	62,9	61,3	64,3	51,6	50,3	58,3	47,9	42,5	49,2	50,7	59,1
	70,7	71,2	59,2	62,5	59,0	57,4	52,6	56,2	52,9	49,4	52,8	52,8	59,7
	74,4	78,2	68,8	66,7	61,9	57,4	51,4	58,4	49,8	47,6	47,6	53,1	66,4
	71,6	75,3	63,2	65,0	51,4	52,0	55,6	52,2	48,4	49,0	54,8	48,3	65,2
	72,0	69,0	59,4	58,0	52,7	57,6	47,6	63,6	49,3	57,4	59,7	58,3	63,4
	77,6	73,0	66,1	56,2	57,1	55,4	51,4	57,6	59,1	51,0	52,7	61,4	64,1
	73,4	68,7	58,4	59,0	59,3	58,6	53,5	62,1	47,3	48,2	57,0	51,3	67,1
	75,1	71,3	56,8	57,3	58,6	43,1	52,4	60,7	46,6	51,1	52,7	55,1	51,3
	59,6	67,5	58,1	57,6	59,6	50,0	60,0	54,8	62,1	53,9	56,7	54,4	54,7
átlag:	72,19	69,97	63,45	61,26	56,20	53,20	52,40	58,60	50,61	51,19	53,61	54,81	59,73
szórás:	4,07	5,28	5,13	3,66	4,33	4,12	4,06	4,72	5,11	3,97	4,73	4,32	5,76
konf.	1,79	2,32	2,25	1,60	1,90	1,81	1,78	2,07	2,24	1,74	2,07	1,90	2,53

Kocsánytalan tölgy - Peremszög értékek [°]

	Szemcsefinomság												
	60	80	100	120	150	180	220	240	280	320	400	500	600
	108,2	98,4	97,0	66,9	61,1	75,1	68,6	63,6	73,0	79,9	82,5	98,8	88,1
	96,9	97,4	82,5	71,4	60,8	59,7	65,2	58,2	74,4	77,7	94,8	88,7	84,0
	104,3	105,1	91,9	67,3	62,1	65,5	62,0	47,4	72,1	83,2	84,2	95,6	80,4
	115,5	98,5	87,8	60,5	65,7	71,6	61,9	68,2	62,2	77,9	74,9	83,4	91,7
	101,0	84,7	83,8	67,1	65,4	67,3	55,3	65,4	82,5	90,2	79,7	98,7	81,9
	100,3	95,5	95,2	70,2	64,8	69,7	64,5	61,8	65,3	75,5	90,9	83,1	92,9
	116,7	97,1	94,3	72,1	66,8	72,5	60,3	71,4	81,3	71,1	94,1	88,5	81,4
	112,0	101,7	94,7	82,6	66,9	70,4	63,6	55,8	80,0	94,6	76,1	81,7	87,7
	98,2	91,2	94,4	69,7	69,7	68,2	64,5	72,6	79,3	84,0	90,2	87,2	89,1
	105,0	91,4	99,2	67,1	67,3	63,8	61,2	60,4	76,4	83,7	74,7	88,6	83,9
	113,7	95,1	91,1	79,0	73,6	73,7	56,1	67,6	75,3	80,3	88,7	79,8	82,4
	107,8	92,6	89,6	66,3	70,6	74,2	55,5	61,0	81,0	87,3	85,8	81,2	97,6
	88,4	97,7	87,9	73,1	66,2	70,6	59,0	65,7	70,2	84,9	92,4	93,9	79,8
	108,8	99,7	94,0	70,5	77,1	67,4	57,8	47,6	60,1	78,9	87,3	75,1	91,9
	104,4	98,0	96,3	83,5	67,8	68,1	61,1	71,4	71,1	71,4	88,4	78,5	85,8
	111,7	97,5	87,3	87,1	61,7	69,0	68,3	65,3	76,7	84,8	73,8	81,6	81,3
	102,8	97,2	88,1	64,5	62,9	72,1	67,8	61,9	80,1	94,1	91,7	96,3	87,4
	100,3	99,0	91,8	69,0	65,5	59,7	63,0	66,2	72,5	81,6	90,6	88,7	83,6
	104,9	84,7	95,2	68,4	59,3	63,0	64,4	64,1	71,4	73,0	85,3	78,0	82,7
	108,3	100,4	93,3	64,5	59,8	72,6	67,9	69,5	80,1	84,0	74,2	88,3	84,9
átlag:	105,46	96,15	91,77	71,04	65,76	68,71	62,40	63,26	74,25	81,91	85,02	86,79	85,93
szórás:	6,92	5,10	4,44	6,92	4,59	4,51	4,19	6,96	6,37	6,63	7,14	7,11	4,80
konf.	3,03	2,24	1,95	3,03	2,01	1,98	1,84	3,05	2,79	2,91	3,13	3,12	2,10

III. sz. melléklet: A természetes öregítés során elvégzett peremszög mérések eredményei

	A természetes öregítés időtartama [h]											
	0	1	3	5	8	10	15	30	60	96	174	240
	Peremszög [°]											
Bükk	48,0	46,5	65,3	54,2	66,0	55,1	55,2	54,6	43,9	50,6	46,2	33,6
	40,4	59,9	68,2	64,7	55,5	55,0	65,2	46,8	55,3	58,4	52,6	44,3
	42,9	51,4	59,3	57,4	67,7	63,7	65,7	53,9	55,3	47,0	40,6	31,6
	43,6	52,7	53,7	64,7	62,4	60,1	52,9	53,3	46,8	41,8	35,4	32,8
	42,9	60,2	58,3	48,8	64,4	49,9	61,0	50,1	47,6	42,4	37,2	33,0
	42,7	47,7	64,2	55,0	54,1	47,2	57,7	50,1	54,4	46,9	42,9	32,7
	40,5	50,9	60,7	57,1	66,1	65,8	48,8	54,6	47,7	48,3	41,3	34,2
	44,1	58,5	66,2	45,7	70,7	70,8	48,5	55,7	57,0	38,8	49,8	39,7
	45,1	60,4	61,7	61,7	53,8	64,8	68,8	59,2	54,8	40,0	36,6	34,2
	32,1	61,0	63,3	67,7	65,9	56,8	56,5	52,8	50,3	32,4	32,8	24,8
	47,1	57,1	64,3	48,7	54,3	54,6	62,4	56,4	48,5	46,7	40,6	35,8
	41,9	47,7	60,1	53,2	64,0	54,0	57,8	57,8	55,7	45,4	47,3	38,2
	40,7	50,4	62,9	63,1	70,7	60,9	51,4	56,6	56,7	46,6	45,8	35,3
	40,1	53,1	64,7	51,7	69,9	54,1	59,5	58,3	46,9	45,0	35,2	40,9
	52,2	53,5	55,0	59,4	67,0	52,0	61,0	47,1	51,3	49,1	38,1	38,0
	47,0	54,2	62,0	54,3	57,5	53,6	58,9	52,4	54,2	48,2	34,0	33,4
	47,2	49,9	60,1	52,3	65,6	59,9	55,4	51,6	52,4	45,4	41,2	40,6
	42,4	54,7	63,7	64,9	64,7	66,7	51,8	51,2	54,5	48,6	41,4	43,4
	49,4	55,0	61,9	49,7	70,9	64,9	59,9	48,2	53,4	46,2	35,3	35,6
	47,6	56,4	67,8	57,4	55,6	54,9	59,3	46,3	47,7	49,0	32,9	32,9
átlag:	43,90	54,06	62,17	56,59	63,34	58,23	57,88	52,84	51,71	45,84	40,36	35,74
szórás:	4,35	4,50	3,77	6,32	6,01	6,29	5,49	3,92	3,96	5,22	5,71	4,55
konf. int.:	1,91	1,97	1,65	2,77	2,63	2,76	2,41	1,72	1,74	2,29	2,50	1,99

		A természetes öregítés időtartama [h]											
		0	1	3	5	8	10	15	30	60	96	174	240
		Peremszög [°]											
Lucfenyő		62,3	69,2	69,0	77,3	96,8	97,2	104,8	116,5	107,4	94,9	87,1	78,4
		59,9	70,1	67,9	87,2	103,3	84,3	98,5	119,7	103,2	102,7	83,6	76,4
		63,8	68,5	83,7	85,5	100,5	93,4	103,8	116,1	102,5	97,2	74,0	59,5
		56,0	57,4	98,7	79,6	102,4	91,4	107,5	115,5	107,7	96,3	84,5	75,1
		62,3	61,4	67,5	94,2	90,6	99,8	104,5	113,3	87,7	91,3	88,6	75,2
		54,3	67,8	76,8	101,2	105,7	104,6	99,3	111,5	86,8	98,9	83,4	81,5
		52,4	68,8	78,1	85,1	88,4	98,5	99,2	120,9	100,7	91,7	89,4	67,4
		42,9	71,2	78,4	92,5	110,5	103,4	100,8	117,4	85,4	93,5	88,3	75,4
		61,7	60,5	77,6	85,9	84,6	90,9	111,6	101,1	91,6	88,5	79,5	72,9
		46,1	69,7	101,4	86,5	98,0	109,5	106,5	116,3	92,9	97,2	83,8	74,6
		56,9	72,7	68,7	85,3	109,2	94,6	104,4	112,3	84,0	76,6	68,4	55,4
		56,8	71,2	75,7	75,5	111,4	86,7	96,8	117,9	82,4	79,0	62,2	55,9
		68,1	72,0	81,4	78,3	100,4	89,7	103,9	116,1	80,5	76,8	67,4	47,5
		75,8	59,9	89,6	91,8	95,8	87,7	100,8	112,8	88,1	77,3	66,7	53,8
		49,9	56,3	86,5	84,9	97,5	93,9	101,3	110,7	79,1	81,5	60,6	49,3
		61,6	61,1	81,8	81,5	82,2	100,3	103,2	116,3	79,3	84,2	69,0	57,5
		52,5	64,7	78,9	73,6	84,3	93,8	100,1	120,5	84,0	72,8	61,3	49,9
	55,3	68,2	90,1	82,0	104,1	98,7	100,9	112,2	78,5	77,9	64,0	55,9	
	51,1	60,3	76,5	91,4	108,9	92,5	104,3	106,6	82,7	83,6	68,2	48,7	
	57,7	69,0	67,1	95,9	100,7	108,3	104,8	111,2	84,1	75,6	67,3	54,0	
átlag:		57,37	66,00	79,77	85,76	98,77	95,95	102,84	114,22	89,42	86,87	74,87	63,21
szórás:		7,55	5,24	9,82	7,18	8,89	6,96	3,50	4,76	9,68	9,37	10,36	11,77
konf. int.:		3,31	2,30	4,31	3,15	3,90	3,05	1,53	2,09	4,24	4,11	4,54	5,16

		A természetes öregítés időtartama [h]											
		0	1	3	5	8	10	15	30	60	96	174	240
		Peremszög [°]											
Nyír		49,3	67,5	86,2	99,5	117,7	126,8	121,6	120,3	111,9	108,5	98,4	81,9
		46,2	57,6	81,8	99,7	118,6	125,6	128,2	120,7	113,9	105,4	97,5	94,8
		44,4	65,5	81,3	93,0	114,2	120,7	127,6	119,9	114,5	109,7	91,2	90,6
		42,8	68,8	89,3	94,6	123,2	124,1	127,3	122,4	111,9	105,4	92,9	85,0
		42,8	64,6	80,4	91,4	115,5	117,7	131,7	125,3	114,5	109,1	97,0	91,4
		45,2	77,5	81,8	93,3	120,4	122,0	126,1	124,8	113,1	114,2	93,2	89,7
		63,2	74,0	84,3	91,4	124,3	115,0	127,0	122,1	116,3	112,5	94,1	91,4
		50,3	62,7	84,2	96,6	88,4	120,6	125,4	120,1	111,6	109,9	90,6	95,1
		57,7	72,7	77,1	102,4	114,0	125,3	123,4	124,5	115,1	111,4	95,3	92,8
		45,8	63,7	83,3	96,3	114,8	127,1	126,4	121,2	112,8	108,8	95,2	95,4
		46,8	62,3	84,6	96,3	122,4	123,4	123,8	119,7	109,5	108,3	96,2	86,0
		44,2	65,2	83,9	101,9	118,8	126,3	127,1	119,9	111,0	106,2	94,8	93,4
		42,0	57,7	82,2	98,5	117,1	121,9	124,8	120,5	111,3	107,9	93,1	93,8
		43,9	63,7	86,2	93,3	125,1	125,1	125,2	124,7	107,0	105,7	93,0	91,0
		45,5	64,2	84,2	94,7	117,8	122,4	128,9	125,7	108,3	107,1	97,0	90,7
		49,2	60,7	80,9	99,2	120,2	123,0	124,1	124,9	107,6	112,6	92,6	88,4
		48,7	71,1	86,7	96,2	126,2	121,5	126,0	123,6	112,2	112,3	93,6	89,2
	55,2	70,8	84,1	93,3	104,2	122,8	124,7	119,6	106,8	111,5	92,3	92,1	
	48,4	57,3	82,6	100,2	117,0	123,7	123,7	121,8	110,6	112,2	93,7	91,4	
	59,6	71,0	87,7	93,7	117,9	124,1	125,7	124,1	110,4	109,4	93,6	88,7	
átlag:		48,56	65,93	83,63	96,27	116,88	122,94	125,93	122,27	111,50	109,39	94,26	90,63
szórás:		5,95	5,66	2,80	3,38	8,29	2,99	2,25	2,19	2,72	2,65	2,12	3,47
konf. int.:		2,61	2,48	1,23	1,48	3,63	1,31	0,99	0,96	1,19	1,16	0,93	1,52

		A természetes öregítés időtartama [h]											
		0	1	3	5	8	10	15	30	60	96	174	240
		Peremszög [°]											
Kocsánytalan tölgy		57,8	74,4	104,7	96,8	100,2	86,3	103,9	104,9	98,2	98,4	73,3	65,0
		68,5	90,6	86,0	91,7	110,3	109,8	89,6	98,7	96,8	91,5	79,9	82,5
		70,4	84,6	97,5	99,4	89,6	105,9	104,0	101,2	92,7	84,8	73,2	68,1
		57,3	95,1	100,2	97,0	103,6	96,3	100,4	73,2	90,7	88,6	74,7	74,7
		58,0	90,6	96,6	106,7	105,5	87,7	100,3	98,0	100,5	84,9	74,5	69,0
		63,8	87,3	98,4	94,1	97,0	84,2	93,2	98,8	91,9	100,1	71,0	71,4
		52,6	83,6	91,4	107,4	88,6	100,7	117,6	91,0	92,4	97,1	84,9	70,3
		57,5	91,4	101,8	105,5	90,6	96,7	105,2	102,1	108,8	104,5	77,8	71,9
		63,1	90,3	105,7	92,7	103,0	101,6	104,8	100,0	100,1	96,6	74,2	69,4
		64,6	99,7	103,3	107,1	114,2	109,8	93,9	105,6	108,2	99,7	75,2	76,0
		70,1	86,4	101,4	95,9	103,1	85,7	106,5	97,0	96,1	92,2	73,7	68,5
		70,8	85,2	96,5	91,9	104,7	107,9	100,3	98,9	93,9	91,8	74,5	78,3
		54,7	81,7	101,8	95,2	91,8	101,0	105,5	98,1	96,9	88,4	72,6	65,6
		68,2	91,8	93,6	99,0	103,3	94,2	92,7	84,6	92,4	88,8	74,4	78,4
		68,0	86,1	96,8	107,9	102,8	91,4	94,7	98,0	100,8	88,5	75,8	74,0
		78,9	86,0	98,7	100,6	96,0	86,6	99,1	94,9	95,5	91,6	73,5	72,2
		66,3	90,5	97,7	101,2	98,3	100,9	107,3	97,0	97,7	91,1	80,5	74,2
		67,1	89,1	101,4	102,3	97,8	90,9	107,1	101,1	100,4	97,3	77,4	77,0
	70,4	85,8	104,4	93,4	107,5	101,8	99,9	95,5	100,5	91,8	74,6	76,7	
	69,3	85,2	97,2	101,1	112,1	105,4	90,0	104,8	99,6	99,9	71,6	78,5	
átlag:	64,87	87,77	98,75	99,33	101,00	97,23	100,79	97,16	97,70	93,37	75,35	73,07	
szórás:	6,68	5,26	4,77	5,47	7,32	8,47	7,00	7,40	4,94	5,49	3,32	4,73	
konf. int.:	2,93	2,30	2,09	2,40	3,21	3,71	3,07	3,24	2,16	2,41	1,45	2,07	

IV. sz. melléklet: A mesterséges öregítés során elvégzett peremszög mérések eredményei – desztillált víz

	A mesterséges öregítés időtartama [h]													
	0	1	3	5	8	10	15	20	30	60	96	132	174	240
	Peremszög [°]													
Bükk	42,5	83,0	105,5	106,7	113,8	106,6	109,4	92,6	67,3	74,4	23,5	18,0	21,4	13,4
	46,2	79,1	103,9	104,0	111,6	109,1	103,8	91,7	72,1	69,7	30,4	19,2	21,8	17,7
	46,8	80,6	113,0	111,6	112,7	110,4	106,1	92,8	69,6	71,1	19,5	17,7	25,0	18,2
	43,8	76,3	102,3	109,9	108,7	109,7	104,7	89,6	74,8	70,2	27,5	16,7	27,8	17,4
	48,9	77,8	106,3	103,9	114,4	109,8	110,6	90,4	69,8	70,4	23,3	18,0	22,3	17,8
	45,1	76,3	102,9	109,6	116,0	106,3	108,1	93,4	69,3	71,2	18,6	17,7	24,3	17,5
	43,1	82,8	106,1	106,6	113,6	110,7	107,4	93,8	81,5	66,8	19,7	16,2	31,0	18,2
	39,0	75,2	105,3	108,8	111,0	108,2	109,1	91,6	79,7	65,6	20,3	19,1	21,9	18,0
	45,3	77,7	107,3	108,3	110,8	108,0	109,0	92,2	75,5	66,8	23,6	19,8	29,0	16,0
	44,6	77,2	104,2	110,1	114,8	113,4	108,2	93,4	78,0	72,9	24,8	17,4	21,7	18,0
	47,0	80,0	110,9	108,4	114,5	108,1	108,8	91,2	68,6	73,7	31,0	16,9	22,8	12,7
	42,4	72,1	107,8	105,9	111,2	103,1	103,5	88,4	71,1	70,3	31,8	21,3	22,5	15,4
	50,5	78,1	110,0	112,1	107,3	103,8	104,1	86,6	68,1	71,1	19,9	15,3	21,9	16,3
	45,5	73,6	102,5	109,7	108,4	105,3	106,4	87,2	74,6	71,4	24,9	16,3	28,6	16,7
	52,7	81,5	100,6	101,7	119,8	110,6	110,2	87,8	71,6	73,7	27,6	16,9	22,6	18,6
	46,2	77,5	101,8	109,2	111,9	106,6	109,1	97,8	68,6	73,4	21,1	16,4	18,5	19,0
	43,2	79,6	102,2	106,1	110,1	115,4	111,7	95,6	81,9	71,5	17,4	17,4	34,0	17,4
	35,9	80,3	101,6	109,5	109,9	112,4	112,1	98,2	81,3	63,1	19,6	18,1	22,8	18,0
	48,5	84,4	102,5	107,5	107,6	113,0	110,9	87,4	77,9	64,5	22,2	18,6	28,0	16,9
	49,1	79,4	102,4	110,1	110,6	110,7	107,4	97,8	82,0	70,8	25,1	17,7	21,4	18,9
átlag:	45,30	78,61	104,95	107,97	111,92	109,05	108,02	91,98	74,15	70,11	23,58	17,72	24,46	17,09
szórás:	3,86	3,12	3,42	2,68	3,08	3,21	2,59	3,55	5,21	3,19	4,29	1,39	3,94	1,68
konf. int.:	1,69	1,37	1,50	1,18	1,35	1,41	1,14	1,56	2,29	1,40	1,88	0,61	1,73	0,73

		A mesterséges öregítés időtartama [h]													
		0	1	3	5	8	10	15	20	30	60	96	132	174	240
		Peremszög [°]													
Lucfenyő		84,8	90,2	118,2	109,3	100,4	97,5	74,5	87,3	67,7	62,3	28,0	18,9	34,0	16,2
		80,8	85,2	114,1	109,2	106,9	97,7	82,4	84,0	66,9	60,5	32,5	18,5	35,0	19,2
		82,6	92,9	109,6	107,1	105,1	103,3	89,3	90,3	62,9	62,9	27,1	16,7	36,8	18,7
		95,7	93,5	116,0	105,6	99,9	101,3	83,0	96,3	69,7	62,1	26,9	18,4	31,0	18,5
		83,8	94,4	111,1	111,2	98,7	98,9	86,6	91,7	74,1	60,4	27,5	18,9	31,1	17,0
		84,6	93,4	104,6	109,2	101,7	103,0	91,9	94,2	74,9	65,5	37,1	17,6	29,8	19,0
		86,9	97,0	114,6	105,0	98,6	99,6	84,3	91,2	70,4	60,7	38,5	17,8	29,9	19,9
		89,1	93,3	110,9	107,1	106,0	95,7	80,0	87,1	71,4	62,6	38,6	18,1	29,0	16,4
		92,8	94,1	105,7	107,3	100,3	100,5	77,6	88,8	67,0	66,0	35,7	17,6	30,8	16,9
		85,2	89,5	105,7	107,7	98,5	100,0	83,7	91,5	69,6	62,5	32,9	15,7	24,8	21,7
		85,6	87,3	120,3	108,6	99,7	94,9	71,9	81,6	68,3	62,5	24,0	19,7	37,0	16,4
		84,5	82,4	118,2	109,3	106,7	100,4	72,8	83,0	59,7	59,9	37,0	16,0	34,9	19,3
		83,1	97,7	112,2	104,2	103,2	104,5	89,5	88,5	59,8	58,8	24,2	15,4	35,6	22,4
		95,4	95,9	116,9	107,2	101,8	106,6	77,9	96,5	74,3	68,2	22,7	15,8	24,9	21,0
		82,5	95,7	107,2	117,4	100,3	98,8	93,2	94,4	75,2	64,7	28,0	17,8	30,1	16,9
		84,2	100,8	104,1	110,3	103,4	101,0	91,8	92,4	73,8	65,0	38,1	16,1	35,5	19,9
		83,7	103,0	119,1	103,0	100,1	102,1	85,6	90,3	75,8	60,3	36,9	15,6	29,8	20,7
	87,2	93,5	116,7	107,2	104,9	96,3	79,9	91,2	76,8	64,2	38,1	21,2	32,0	18,7	
	101,5	100,2	103,4	104,5	103,5	101,9	85,1	94,6	72,9	68,0	37,3	18,2	31,6	17,8	
	87,3	94,0	108,3	106,3	99,9	104,0	90,3	89,9	77,2	63,0	35,7	14,4	23,5	24,3	
átlag:	87,05	93,69	111,83	107,83	101,96	100,39	83,55	90,23	70,41	63,00	32,33	17,42	31,34	19,03	
szórás:	5,33	5,07	5,54	3,10	2,78	3,08	6,45	4,15	5,27	2,63	5,63	1,68	3,92	2,20	
konf. int.:	2,34	2,22	2,43	1,36	1,22	1,35	2,83	1,82	2,31	1,15	2,47	0,74	1,72	0,96	

		A mesterséges öregítés időtartama [h]													
		0	1	3	5	8	10	15	20	30	60	96	132	174	240
		Peremszög [°]													
Nyír		54,3	97,5	119,7	135,6	118,2	120,2	96,1	99,4	87,1	75,8	32,8	27,5	28,8	32,3
		51,9	95,7	115,0	130,9	119,6	118,1	110,1	97,1	85,8	75,8	29,2	32,5	26,0	31,4
		56,1	106,8	123,8	131,6	123,1	122,6	99,3	98,8	85,4	76,2	32,1	29,4	28,3	32,0
		54,4	112,0	125,6	127,3	121,7	115,8	111,3	103,5	85,5	79,7	34,2	33,1	27,0	30,2
		51,7	92,1	120,5	132,1	118,0	117,2	107,3	95,6	85,4	73,9	31,9	32,0	29,5	32,9
		55,8	88,7	116,1	128,9	120,2	122,7	125,8	113,8	84,6	79,0	28,9	36,8	33,0	28,4
		51,5	88,4	118,4	132,3	121,4	123,8	118,9	101,8	81,8	78,2	31,0	35,1	24,3	26,3
		51,9	98,8	120,9	125,4	119,0	121,9	106,0	99,6	84,1	76,5	36,9	36,4	30,9	24,4
		49,9	102,5	121,0	128,8	126,2	118,4	114,6	102,9	83,7	71,9	35,2	31,8	32,0	28,8
		47,5	101,7	117,3	126,6	118,4	118,3	115,3	104,6	84,2	78,1	26,7	32,7	28,8	28,7
		59,6	88,9	118,4	139,1	116,3	124,4	95,2	98,7	87,1	72,5	32,5	28,9	27,5	30,5
		51,8	87,3	115,9	125,8	113,2	117,1	102,2	95,2	82,5	77,6	29,4	31,0	22,0	28,8
		56,1	105,6	128,5	132,1	123,1	128,2	98,5	95,5	82,8	71,3	28,1	31,8	28,5	34,0
		53,8	118,9	126,1	127,6	117,4	114,6	118,5	104,9	86,9	79,4	33,3	33,2	26,0	29,3
		54,3	91,1	122,9	132,1	115,0	111,3	103,6	95,2	88,7	72,8	32,8	34,0	34,9	30,8
		57,5	85,4	115,2	126,7	115,3	125,3	134,5	108,9	82,2	78,9	24,7	36,6	35,9	28,8
		52,9	89,7	118,8	131,6	117,8	124,6	124,7	93,6	78,5	79,4	27,9	37,1	20,5	21,5
		48,8	100,6	123,8	124,8	113,9	121,7	115,0	91,2	82,2	73,0	41,8	39,8	32,8	23,7
	50,8	108,9	122,0	125,5	128,3	117,8	112,2	103,8	83,3	72,8	33,4	28,5	30,9	24,6	
	47,9	96,4	114,6	124,1	110,8	114,6	118,5	100,2	85,3	79,2	17,4	29,3	28,5	22,4	
	átlag:	52,91	97,84	120,22	129,43	118,83	119,92	111,37	100,21	84,34	76,09	31,00	32,87	28,79	28,48
	szórás:	3,19	9,24	4,01	3,91	4,32	4,31	10,55	5,47	2,34	2,91	4,98	3,32	3,95	3,58
	konf. int.:	1,40	4,05	1,76	1,71	1,89	1,89	4,62	2,40	1,03	1,28	2,18	1,46	1,73	1,57

		A mesterséges öregítés időtartama [h]													
		0	1	3	5	8	10	15	20	30	60	96	132	174	240
		Peremszög [°]													
Kocsánytalan tölgy		60,5	111,0	116,5	116,4	119,6	125,9	117,5	113,9	103,7	84,7	52,0	19,6	25,8	17,0
		63,9	115,8	117,4	118,6	113,0	124,8	113,5	113,2	107,4	85,8	52,7	24,3	24,6	15,5
		64,6	114,5	113,4	117,8	112,6	122,0	111,3	109,3	105,4	99,5	51,9	19,2	25,8	11,2
		65,0	110,4	117,8	117,6	113,4	120,5	114,5	107,2	110,8	92,9	51,7	24,1	28,7	12,5
		62,8	112,6	117,4	117,8	113,3	121,7	114,0	110,4	104,8	101,3	46,5	23,9	26,7	11,5
		58,6	113,8	116,5	121,0	110,8	124,8	114,6	111,2	107,6	98,8	48,7	20,4	27,9	18,0
		73,3	110,9	117,2	117,9	115,1	121,0	119,2	112,3	105,9	87,6	61,7	25,2	27,1	11,8
		64,3	113,0	124,6	120,1	116,3	123,1	113,5	105,3	105,5	92,1	62,2	26,5	24,6	11,1
		64,6	112,7	120,7	117,6	113,1	124,1	116,5	109,0	104,3	88,8	61,3	24,9	22,2	11,2
		61,8	107,3	118,3	120,8	117,2	122,4	114,2	110,0	104,1	101,7	61,2	23,8	22,7	12,8
		61,0	111,9	116,0	117,7	121,1	125,7	117,9	114,7	103,4	81,4	46,0	18,2	26,6	18,9
		58,8	108,7	120,7	116,1	111,0	123,5	114,9	116,3	104,8	86,6	45,4	20,6	28,2	13,0
		58,2	111,2	115,7	116,5	110,1	117,9	113,6	106,5	103,7	98,9	48,8	20,3	31,5	12,3
		60,0	117,8	114,6	117,1	113,8	118,9	114,9	104,4	113,6	96,7	46,3	22,1	27,4	10,9
		59,6	115,0	121,7	120,5	112,5	119,4	110,9	106,8	101,5	102,6	44,9	22,7	27,3	13,0
		67,1	112,4	118,9	120,9	110,6	124,5	116,1	109,4	109,1	99,5	47,4	22,8	29,8	19,9
		62,6	112,8	119,3	119,7	118,2	121,9	124,4	111,6	108,8	89,2	68,4	25,3	33,1	12,5
		69,6	113,9	127,1	118,1	114,6	124,2	119,0	107,6	103,9	99,1	65,4	27,0	26,1	12,1
	64,1	109,3	119,3	119,2	114,2	125,1	114,0	104,0	103,5	79,5	67,6	27,7	23,4	12,3	
	65,6	114,6	123,5	120,5	119,3	121,8	116,3	107,9	104,2	103,4	69,4	24,6	20,3	11,6	
átlag:	63,30	112,47	118,81	118,57	114,48	122,64	115,53	109,54	105,79	93,49	54,97	23,15	26,48	13,44	
szórás:	3,82	2,52	3,43	1,61	3,18	2,30	3,05	3,43	2,93	7,55	8,66	2,72	3,09	2,79	
konf. int.:	1,67	1,10	1,50	0,71	1,39	1,01	1,34	1,50	1,29	3,31	3,79	1,19	1,35	1,22	

V. sz. melléklet: A mesterséges öregítés során elvégzett peremszög mérések eredményei – diódmetán

	A mesterséges öregítés időtartama [h]													
	0	1	3	5	8	10	15	20	30	60	96	132	174	240
	Peremszög [°]													
Bükk	4,7	2,0	5,6	4,4	3,5	6,1	3,1	2,9	5,9	10,7	8,7	11,0	12,7	10,9
	4,5	2,3	5,1	5,2	3,9	5,9	3,6	3,2	6,4	9,8	10,4	9,7	12,0	11,4
	5,4	2,3	4,1	2,9	3,5	5,9	3,4	4,3	7,5	9,7	11,1	12,6	13,7	12,8
	6,2	2,7	5,2	3,5	3,2	4,7	3,1	2,7	7,6	9,1	10,3	12,6	10,2	13,1
	4,1	2,8	4,9	4,4	3,2	5,2	3,2	2,2	6,1	11,2	12,8	12,1	10,0	13,1
	4,9	1,8	5,9	3,6	4,2	5,6	4,4	1,9	4,6	11,8	12,1	14,7	11,1	13,9
	7,5	1,9	4,6	2,4	3,1	4,9	4,6	2,5	4,9	11,6	13,3	13,7	12,2	12,2
	7,2	3,3	3,5	4,1	4,5	5,3	3,5	2,7	6,1	12,3	10,9	12,4	11,1	12,5
	3,2	3,6	5,0	4,2	4,5	5,2	2,5	2,3	6,6	12,5	11,5	12,0	10,4	13,3
	5,8	2,7	3,7	4,7	2,7	5,9	4,0	2,9	5,1	13,8	10,4	12,0	10,3	14,4
	4,3	2,0	6,2	4,8	3,9	6,2	3,2	2,7	5,8	9,4	9,3	9,9	13,3	9,8
	4,0	2,3	6,1	5,4	3,8	6,7	3,2	2,4	7,7	10,5	8,7	11,3	8,9	10,8
	4,8	2,0	3,2	1,7	3,9	4,7	1,7	4,5	7,9	10,3	9,1	10,1	14,3	10,5
	5,3	2,1	4,3	1,9	2,4	4,4	3,2	3,3	7,1	10,2	10,6	11,1	8,3	12,1
	6,1	2,0	2,7	4,8	2,3	4,3	2,4	2,4	7,2	10,3	11,5	12,2	9,0	14,1
	4,7	1,6	4,8	4,1	2,3	4,2	3,8	1,8	7,1	10,5	12,2	13,3	10,1	15,7
	6,0	1,8	5,1	2,8	3,1	5,8	4,2	1,9	4,7	12,1	14,6	14,3	9,4	11,4
	6,4	2,6	3,9	5,2	4,0	4,5	2,9	2,4	5,1	12,5	10,8	11,7	8,2	12,0
	4,3	3,2	2,9	5,4	2,9	5,4	1,9	2,6	5,1	13,0	11,0	12,0	7,8	13,6
	5,6	2,4	4,3	4,3	3,3	4,8	3,0	2,7	4,2	14,6	10,7	11,9	7,6	14,7
átlag:	5,24	2,36	4,54	3,98	3,39	5,28	3,24	2,70	6,12	11,28	10,99	12,01	10,52	12,60
szórás:	1,11	0,54	1,03	1,14	0,68	0,71	0,76	0,69	1,17	1,51	1,51	1,33	1,99	1,54
konf. int.:	0,49	0,24	0,45	0,50	0,30	0,31	0,33	0,30	0,51	0,66	0,66	0,58	0,87	0,67

		A mesterséges öregítés időtartama [h]													
		0	1	3	5	8	10	15	20	30	60	96	132	174	240
		Peremszög [°]													
Lucfenyő		5,3	2,8	3,1	2,9	2,3	3,4	2,8	4,7	8,9	8,0	8,2	10,2	9,6	11,3
		5,6	2,6	2,7	3,4	1,8	3,8	3,0	4,2	8,2	7,5	9,3	9,5	8,7	10,0
		5,9	3,2	4,3	3,2	1,9	4,6	1,2	3,4	7,8	5,4	11,5	9,5	9,4	10,6
		6,3	3,9	4,4	2,3	2,4	3,7	2,1	6,2	7,1	7,0	9,3	9,6	10,0	11,0
		4,1	4,5	4,1	2,7	2,0	4,8	2,5	4,4	8,2	7,5	9,4	9,7	12,5	11,1
		4,7	2,6	3,5	2,7	4,1	3,2	1,5	6,2	7,2	8,8	9,9	10,2	12,0	10,1
		6,8	2,5	3,2	2,1	2,3	3,5	1,8	6,7	8,2	7,6	11,1	5,8	11,9	7,9
		4,6	5,1	2,5	3,2	2,5	5,5	1,1	2,6	8,4	7,7	10,7	8,7	12,4	8,6
		3,7	3,4	4,0	3,3	3,1	4,6	3,0	3,6	8,0	6,8	10,5	9,4	11,9	10,0
		5,8	3,1	2,6	3,9	1,9	4,2	1,5	3,1	7,5	7,3	8,2	9,5	11,5	11,8
		5,5	3,5	1,1	1,7	1,5	3,7	2,6	6,4	8,8	6,0	8,3	10,4	10,2	10,6
		6,2	2,8	1,4	1,7	1,5	3,5	2,0	3,3	8,3	6,0	10,5	9,9	9,4	12,0
		5,7	3,8	3,6	3,4	2,2	4,1	1,3	2,7	7,5	5,8	13,0	10,0	9,8	12,1
		5,5	2,6	2,7	2,5	3,0	3,4	1,1	6,4	7,1	6,0	11,5	10,2	10,0	12,0
		4,2	3,5	4,1	2,4	2,1	4,5	1,0	2,7	8,4	5,9	10,8	9,4	13,0	11,2
		4,4	3,2	2,9	3,4	2,2	2,4	0,9	6,4	8,4	9,5	10,7	9,3	12,9	10,2
	4,6	3,0	3,4	2,1	1,5	3,0	1,5	6,4	8,3	8,2	12,1	9,5	13,8	7,8	
	5,2	4,1	2,0	3,4	1,9	5,9	1,2	2,2	9,8	9,4	11,3	10,4	13,7	8,1	
	5,3	2,8	1,9	3,5	2,2	4,1	2,9	2,2	9,0	8,6	10,9	10,8	13,7	7,9	
	5,5	3,2	2,1	2,7	1,7	3,3	1,0	3,2	8,9	8,6	9,4	10,0	13,9	12,5	
átlag:		5,23	3,30	2,97	2,81	2,19	3,94	1,79	4,34	8,19	7,38	10,31	9,59	11,51	10,33
szórás:		0,80	0,69	0,95	0,63	0,63	0,84	0,75	1,66	0,71	1,25	1,32	1,03	1,72	1,54
konf. int.:		0,35	0,30	0,42	0,28	0,27	0,37	0,33	0,73	0,31	0,55	0,58	0,45	0,76	0,67

		A mesterséges öregítés időtartama [h]													
		0	1	3	5	8	10	15	20	30	60	96	132	174	240
		Peremszög [°]													
Nyír		4,7	5,2	2,4	5,0	2,1	3,4	2,7	6,7	10,3	11,5	9,4	10,9	11,6	9,5
		4,2	4,0	2,7	4,3	1,6	4,0	3,3	4,9	10,7	10,5	10,0	11,3	12,1	9,3
		4,5	7,0	2,7	4,8	2,0	3,7	1,3	6,5	12,1	12,3	11,3	12,2	9,3	8,6
		4,2	6,2	4,7	6,3	1,8	3,1	2,8	7,8	11,7	13,1	10,0	12,5	10,3	9,2
		4,2	5,4	4,5	4,9	2,0	3,7	2,6	7,4	13,3	13,5	8,9	11,4	10,9	9,2
		3,9	6,4	3,5	4,3	4,3	3,3	2,6	6,7	11,0	12,2	10,3	12,8	9,5	11,6
		3,8	6,4	3,8	3,8	2,2	3,7	2,1	7,0	10,9	11,1	10,1	11,5	9,8	4,8
		4,1	4,7	5,4	3,3	2,1	4,4	1,7	8,0	13,1	12,5	10,7	12,0	10,5	8,1
		4,7	4,8	3,7	5,2	2,5	4,5	2,4	6,0	12,1	9,4	10,5	12,4	13,6	8,0
		5,0	6,5	2,7	4,7	2,1	4,5	3,2	7,6	11,2	12,7	9,8	12,1	11,5	10,2
		4,3	5,4	2,8	4,9	1,2	3,8	2,4	4,3	9,5	13,0	10,8	9,8	11,2	9,0
		3,4	2,9	3,1	4,6	1,2	3,9	2,6	4,8	9,4	12,0	11,9	12,6	16,1	9,5
		4,0	7,9	2,8	4,6	2,5	2,3	1,5	4,9	12,1	12,5	12,6	11,4	9,5	8,1
		4,3	5,4	4,2	6,5	1,9	2,2	2,6	9,5	12,3	13,1	13,0	11,9	10,6	9,3
		4,3	6,7	3,5	5,7	2,0	2,4	2,1	8,8	14,5	13,0	9,8	8,7	10,8	8,4
		3,7	7,8	5,0	4,5	2,5	2,5	3,2	7,4	11,9	11,4	11,6	13,6	8,9	12,1
		3,6	3,7	5,6	4,5	1,4	3,4	2,2	7,0	9,8	9,2	10,2	11,9	11,6	7,6
	5,1	5,4	4,8	3,5	1,2	3,7	2,3	6,9	13,1	13,0	11,3	12,0	11,9	9,2	
	4,3	7,5	3,4	4,4	0,9	4,0	1,8	6,9	11,2	7,7	10,9	11,7	15,1	8,0	
	3,9	6,9	2,3	6,3	2,1	3,9	4,3	6,1	12,4	13,4	12,5	10,1	12,0	11,3	
átlag:	4,19	5,80	3,68	4,79	1,97	3,51	2,48	6,75	11,62	11,85	10,77	11,63	11,33	9,04	
szórás:	0,44	1,37	1,03	0,87	0,71	0,70	0,70	1,33	1,33	1,58	1,11	1,11	1,86	1,58	
konf. int.:	0,19	0,60	0,45	0,38	0,31	0,31	0,30	0,58	0,58	0,69	0,49	0,49	0,81	0,69	

		A mesterséges öregítés időtartama [h]													
		0	1	3	5	8	10	15	20	30	60	96	132	174	240
		Peremszög [°]													
Kocsánytalan tölgy		3,4	2,4	1,9	3,6	4,6	5,7	4,6	1,9	3,6	6,9	8,3	7,0	11,2	8,9
		4,5	2,6	2,8	4,0	2,9	3,6	5,1	2,2	4,0	7,3	7,9	7,4	11,4	8,5
		3,8	3,7	2,6	4,1	4,3	3,9	3,8	1,4	2,4	7,9	8,3	6,8	10,9	9,8
		4,5	3,0	3,5	4,1	3,2	4,2	4,5	1,8	3,0	6,9	7,8	7,7	12,2	11,2
		4,3	2,2	3,4	4,2	3,4	4,4	4,0	2,3	2,9	7,4	7,7	7,8	12,8	12,6
		5,0	2,7	1,6	4,5	2,6	5,1	4,4	1,1	2,3	7,0	8,6	8,4	12,5	13,6
		4,4	2,1	1,6	4,6	4,2	5,0	4,0	2,5	2,0	7,3	7,0	8,0	10,6	11,7
		4,9	1,7	2,0	3,5	4,0	4,4	3,1	3,0	4,7	7,5	7,2	7,7	11,8	11,7
		3,4	1,7	1,6	4,6	2,9	4,6	4,2	2,3	5,1	7,6	8,5	7,3	11,3	12,3
		5,1	3,5	2,4	4,7	3,4	4,7	4,4	2,1	4,5	6,8	7,9	7,9	12,1	12,0
		3,8	1,7	1,7	3,2	4,2	5,4	4,1	2,7	4,2	6,8	7,6	6,9	9,4	8,8
		4,9	2,1	1,5	2,9	3,7	5,2	4,1	2,3	3,0	6,6	7,8	7,8	10,7	10,0
		2,5	2,3	3,2	3,2	3,5	3,8	2,5	1,8	1,8	6,7	7,5	6,0	10,8	9,6
		3,9	1,9	4,0	4,1	3,4	5,4	3,0	1,6	2,9	6,8	7,6	8,3	12,4	10,4
		5,5	1,4	2,7	4,4	2,7	3,8	2,9	1,6	2,8	6,7	8,4	7,3	12,5	13,1
		4,9	3,4	1,2	2,9	3,1	4,2	2,7	1,2	2,6	6,0	9,2	8,5	12,9	13,1
		4,7	2,2	1,2	4,1	2,4	5,0	3,0	3,0	2,9	7,5	8,0	7,5	10,2	12,4
	3,7	1,3	1,0	4,0	3,0	3,7	3,2	2,9	7,3	7,9	7,3	7,4	12,5	13,4	
	4,8	2,4	1,1	4,1	3,8	4,1	3,3	2,5	5,1	8,1	9,0	7,6	12,6	11,5	
	5,2	3,0	1,8	5,4	2,7	5,3	4,7	2,2	4,9	7,5	7,7	6,8	12,1	9,9	
átlag:	4,34	2,35	2,13	4,00	3,39	4,57	3,76	2,11	3,59	7,15	7,96	7,50	11,63	11,22	
szórás:	0,75	0,68	1,00	0,63	0,63	0,65	0,74	0,56	1,36	0,52	0,58	0,61	0,97	1,62	
konf. int.:	0,33	0,30	0,44	0,28	0,28	0,29	0,33	0,25	0,60	0,23	0,25	0,27	0,42	0,71	

VI. sz. melléklet: A mesterséges öregítés során elvégzett nedvességtartalom vizsgálatok eredményei

		Átlagos nedvességtartalom és szórás [%]							
		Bükk		Lucfenyő		Nyír		Tölgy	
		\bar{x}	D	\bar{x}	D	\bar{x}	D	\bar{x}	D
A mesterséges öregítés időtartama [h]	0 (kontrol)	9,65	0,05	9,30	0,00	9,65	0,05	10,12	0,03
	1	6,90	0,00	7,30	0,00	7,80	0,00	7,05	0,25
	3	6,90	0,00	7,30	0,00	7,80	0,00	6,75	0,05
	5	6,90	0,00	7,30	0,00	7,80	0,00	6,75	0,05
	8	6,90	0,00	7,30	0,00	7,80	0,00	6,70	0,00
	10	6,90	0,00	7,30	0,00	7,80	0,00	6,70	0,00
	15	6,90	0,00	7,30	0,00	7,80	0,00	6,70	0,00
	20	6,90	0,00	7,30	0,00	7,80	0,00	6,70	0,00
	30	6,90	0,00	7,30	0,00	7,78	0,03	6,70	0,00
	60	6,90	0,00	7,30	0,00	7,80	0,00	6,70	0,00
	96	6,90	0,00	7,30	0,00	7,80	0,00	6,70	0,00
	132	6,90	0,00	7,30	0,00	7,80	0,00	6,70	0,00
	174	6,90	0,00	7,30	0,00	7,80	0,00	6,70	0,00
	240	6,90	0,00	7,30	0,00	7,80	0,00	6,70	0,00

VII. sz. melléklet: A mesterséges öregítés során elvégzett totál-fenol és összes oldható szénhidrát vizsgálatok eredményei

		Totál-fenol tartalom átlagértékek [mg/g száraz faanyag]			
		Bükk	Lucfenyő	Nyír	Kocsánytalan tölgy
A mesterséges öregítés időtartama [h]	0	2,923	2,519	0,729	43,070
	1	4,706	2,127	2,533	12,481
	3	4,691	5,479	3,325	37,380
	5	5,974	6,805	3,665	11,201
	8	6,702	7,780	4,910	12,311
	10	6,867	7,119	4,328	29,842
	15	7,770	5,775	5,017	13,215
	20	7,819	7,732	5,328	33,759
	30	7,295	4,683	6,268	11,653
	60	9,113	6,807	8,108	12,208
	96	10,615	8,003	9,309	34,748
	132	13,613	10,804	10,095	7,503
	174	14,963	12,418	10,208	33,061
	240	17,041	13,371	10,281	23,380

		Összes oldható szénhidrát tartalom átlagértékek [mg/g száraz faanyag]			
		Bükk	Lucfenyő	Nyír	Kocsánytalan tölgy
A mesterséges öregítés időtartama [h]	0	19,762	9,255	17,177	50,172
	1	23,731	6,773	9,078	28,889
	3	21,906	11,468	10,058	37,681
	5	35,616	12,569	14,373	29,903
	8	33,638	15,849	20,624	39,438
	10	33,858	16,681	17,628	40,276
	15	33,459	15,555	19,073	31,259
	20	34,883	17,769	24,459	43,858
	30	32,876	20,903	23,505	38,251
	60	43,517	25,110	37,897	44,040
	96	47,914	25,370	39,954	47,991
	132	58,020	29,226	41,100	30,234
	174	54,711	38,010	53,740	52,610
	240	61,471	41,353	49,826	57,729

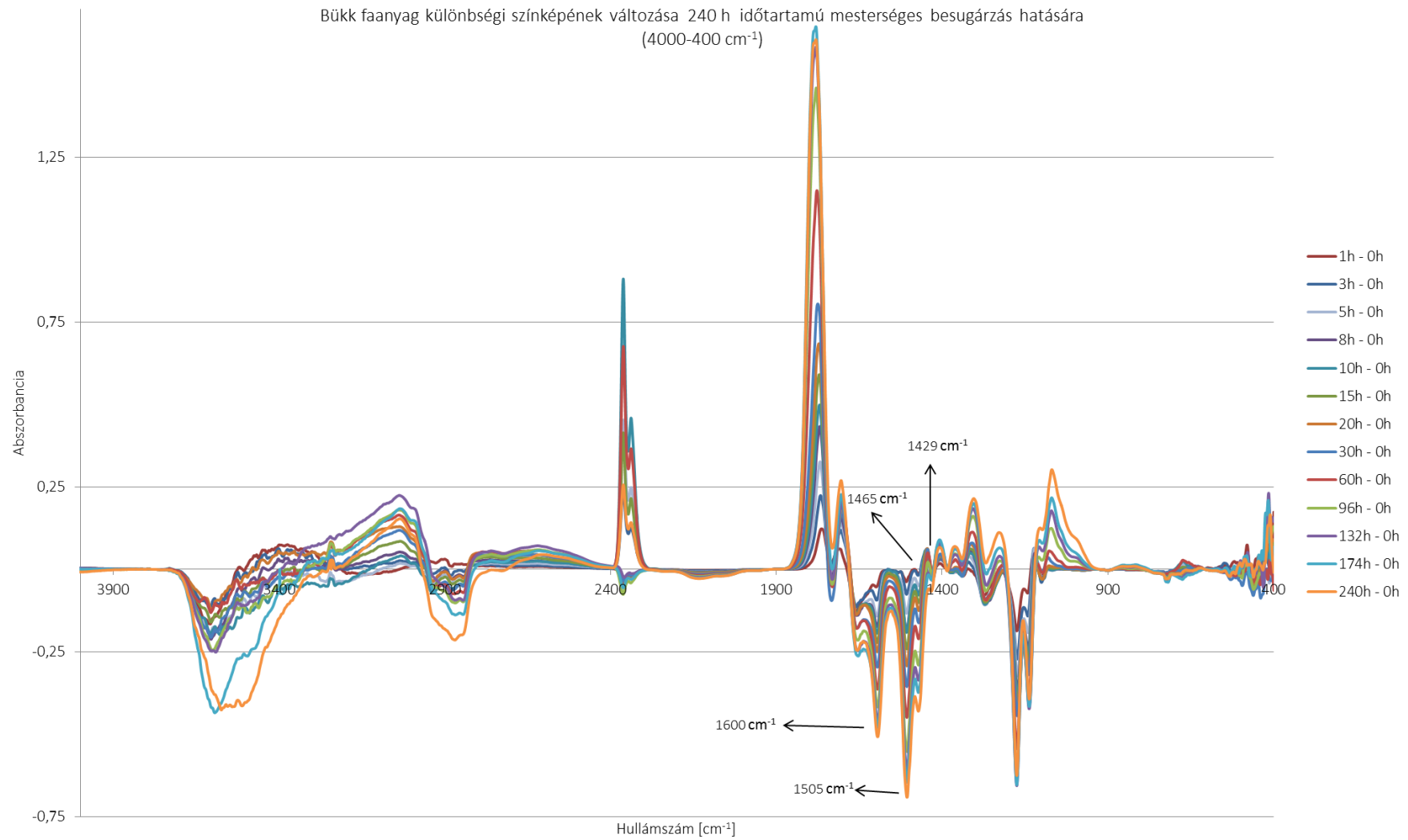
		A totál-fenol vizsgálatok eredményei [mg/g száraz faanyag]							
		Bükk		Lucfenyő		Nyír		Kocsánytalan tölgy	
		D		D		D		D	
A mesterséges öregítés időtartama [h]	0	2,972		2,587		0,789		45,557	
	0	2,895	0,042	2,451	0,096	0,635	0,083	43,681	2,842
	0	2,903		NA		0,763		39,972	
	1	4,657		2,192		2,603		13,783	
	1	4,657	0,085	2,061	0,092	2,418	0,101	10,815	1,517
	1	4,804		NA		2,579		12,845	
	3	4,739		5,370		3,387		38,704	
	3	4,659	0,042	5,589	0,155	3,216	0,095	37,023	1,187
	3	4,675		NA		3,372		36,412	
	5	6,179		6,987		3,657		11,305	
	5	5,888	0,178	6,623	0,257	3,735	0,066	11,148	0,090
	5	5,855		NA		3,603		11,148	
	8	6,639		7,635		5,003		12,311	
	8	6,734	0,055	7,925	0,205	4,699	0,183	11,845	0,466
	8	6,734		NA		5,027		12,777	
	10	6,647		6,958		4,196		31,751	
	10	6,965	0,191	7,279	0,227	4,370	0,117	28,656	1,669
	10	6,988		NA		4,417		29,121	
	15	7,688		5,954		5,071		12,488	
	15	7,819	0,072	5,596	0,253	5,118	0,136	12,800	1,001
	15	7,803		NA		4,862		14,356	

		A totál-fenol vizsgálatok eredményei [mg/g száraz faanyag]							
		Bükk		Lucfenyő		Nyír		Kocsánytalan tölgy	
		D		D		D		D	
A mesterséges öregítés időtartama [h]	20	7,693		7,856		5,439		34,692	
	20	7,911	0,113	7,609	0,175	5,447	0,199	31,584	1,891
	20	7,854		NA		5,098		35,002	
	30	7,164		4,104		6,608		10,476	
	30	7,441	0,139	6,812	1,907	6,247	0,330	12,011	1,045
	30	7,278		3,133		5,948		12,472	
	60	8,989		6,349		7,819		12,520	
	60	9,235	0,123	6,848	0,439	8,190	0,258	11,740	0,413
	60	9,116		7,223		8,316		12,364	
	96	10,466		8,071		9,479		35,591	
	96	10,645	0,136	8,443	0,478	9,439	0,261	34,801	0,870
	96	10,734		7,493		9,009		33,853	
	132	13,705		10,901		10,111		7,242	
	132	13,745	0,196	10,526	0,244	9,974	0,114	7,555	0,239
	132	13,388		10,984		10,200		7,712	
	174	15,387		12,611		9,915		33,584	
	174	14,790	0,370	13,191	0,886	10,338	0,254	33,584	0,905
	174	14,711		11,451		10,370		32,016	
	240	17,135		12,602		10,513		22,816	
	240	17,176	0,199	13,944	0,692	9,818	0,401	23,740	0,495
	240	16,813		13,566		10,513		23,586	

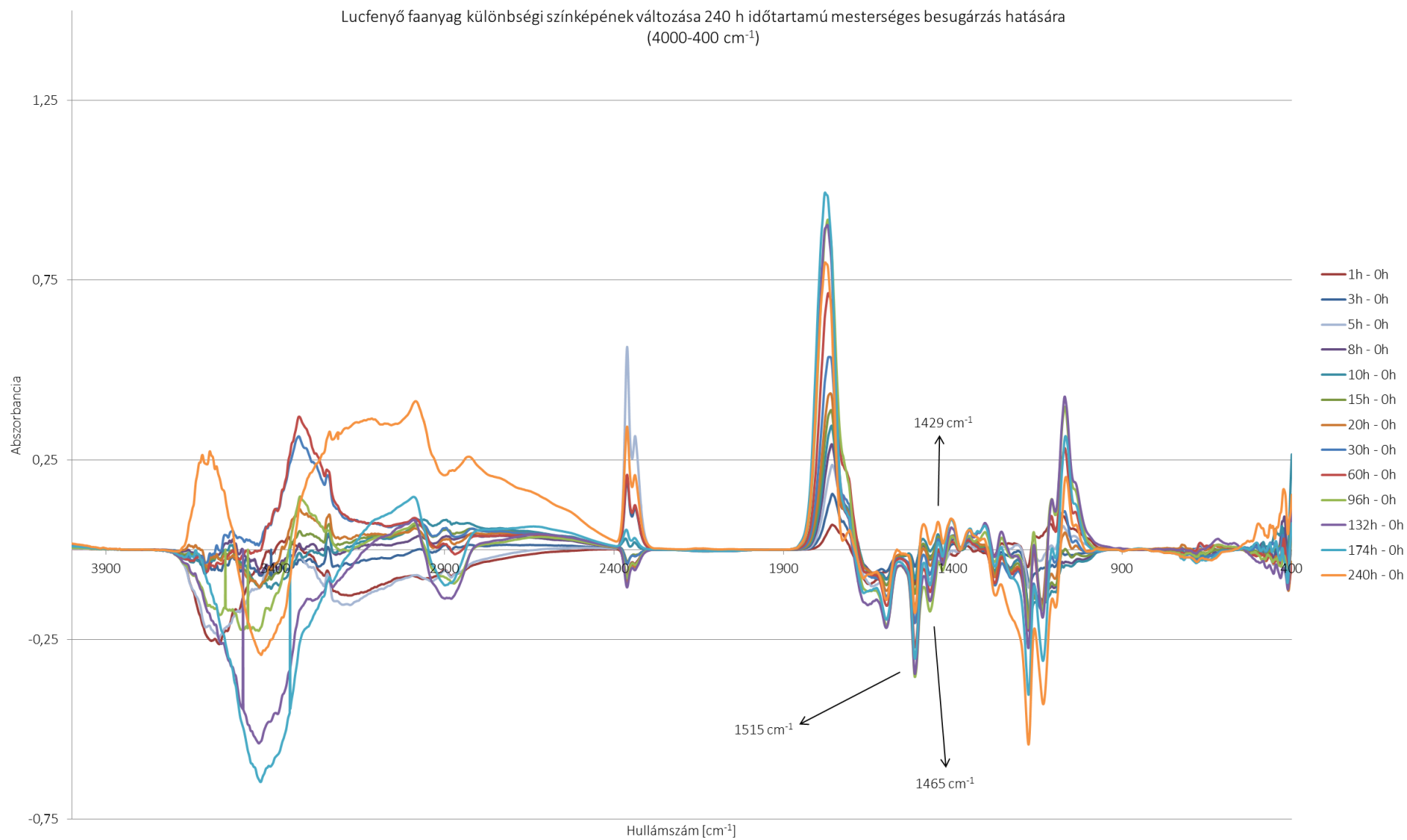
Az összes oldható szénhidrát tartalom vizsgálatok eredményei [mg/g száraz faanyag]									
		Bükk		Lucfenyő		Nyír		Kocsánytalan tölgy	
		D		D		D		D	
A mesterséges öregítés időtartama [h]	0	20,081		9,589		14,692		47,369	
	0	19,181	0,504	8,809	0,402	18,559	2,157	54,225	3,595
	0	20,024		9,366		18,279		48,922	
	1	18,449		6,506		9,115		29,866	
	1	26,345	4,575	7,625	0,755	8,231	0,829	27,913	0,976
	1	26,399		6,187		9,887		28,889	
	3	18,838		10,269		11,855		41,402	
	3	22,329	2,880	11,750	1,086	7,212	2,493	42,417	7,343
	3	24,551		12,385		11,108		29,222	
	5	40,826		10,319		11,421		32,613	
	5	36,530	5,721	14,423	2,080	15,902	2,557	30,901	3,324
	5	29,493		12,965		15,796		26,193	
	8	30,628		17,113		21,394		51,011	
	8	34,324	2,732	17,600	2,621	18,975	1,430	29,889	10,706
	8	35,961		12,836		21,504		37,415	
	10	31,663		13,423		17,429		39,792	
	10	36,035	2,186	17,730	2,880	17,701	0,174	40,880	0,554
	10	33,876		18,889		17,755		40,155	
	15	34,003		19,238		19,020		30,976	
	15	29,645	3,573	12,757	3,330	18,541	0,561	28,787	2,626
	15	36,727		14,669		19,659		34,016	

		Az összes oldható szénhidrát tartalom vizsgálatok eredményei [mg/g száraz faanyag]							
		Bükk		Lucfenyő		Nyír		Kocsánytalan tölgy	
		D		D		D		D	
A mesterséges öregítés időtartama [h]	20	34,847		19,741		23,805		40,822	
	20	35,061	0,163	13,503	3,698	24,023	0,950	44,465	2,782
	20	34,740		20,064		25,548		46,286	
	30	29,956		23,594		26,254		36,971	
	30	39,634	5,870	22,064	3,423	24,906	3,657	33,852	5,158
	30	29,037		17,051		19,355		43,928	
	60	46,903		23,046		34,574		44,040	
	60	42,797	3,090	27,067	2,013	39,830	2,891	44,528	0,488
	60	40,850		25,219		39,288		43,552	
	96	49,297		16,874		40,866		45,768	
	96	47,843	1,348	29,969	7,367	39,389	0,797	48,670	1,972
	96	46,604		29,268		39,608		49,534	
	132	55,704		34,069		41,821		29,581	
	132	56,125	3,653	24,764	4,664	36,996	3,795	29,337	1,348
	132	62,231		28,845		44,483		31,784	
	174	56,595		39,686		47,933		60,531	
	174	53,953	1,643	37,469	1,481	57,957	5,197	49,569	6,920
	174	53,583		36,875		55,328		47,732	
	240	54,309		32,905		47,398		55,885	
	240	64,678	6,214	48,834	8,009	50,343	2,215	55,224	3,781
	240	65,426		42,320		51,736		62,078	

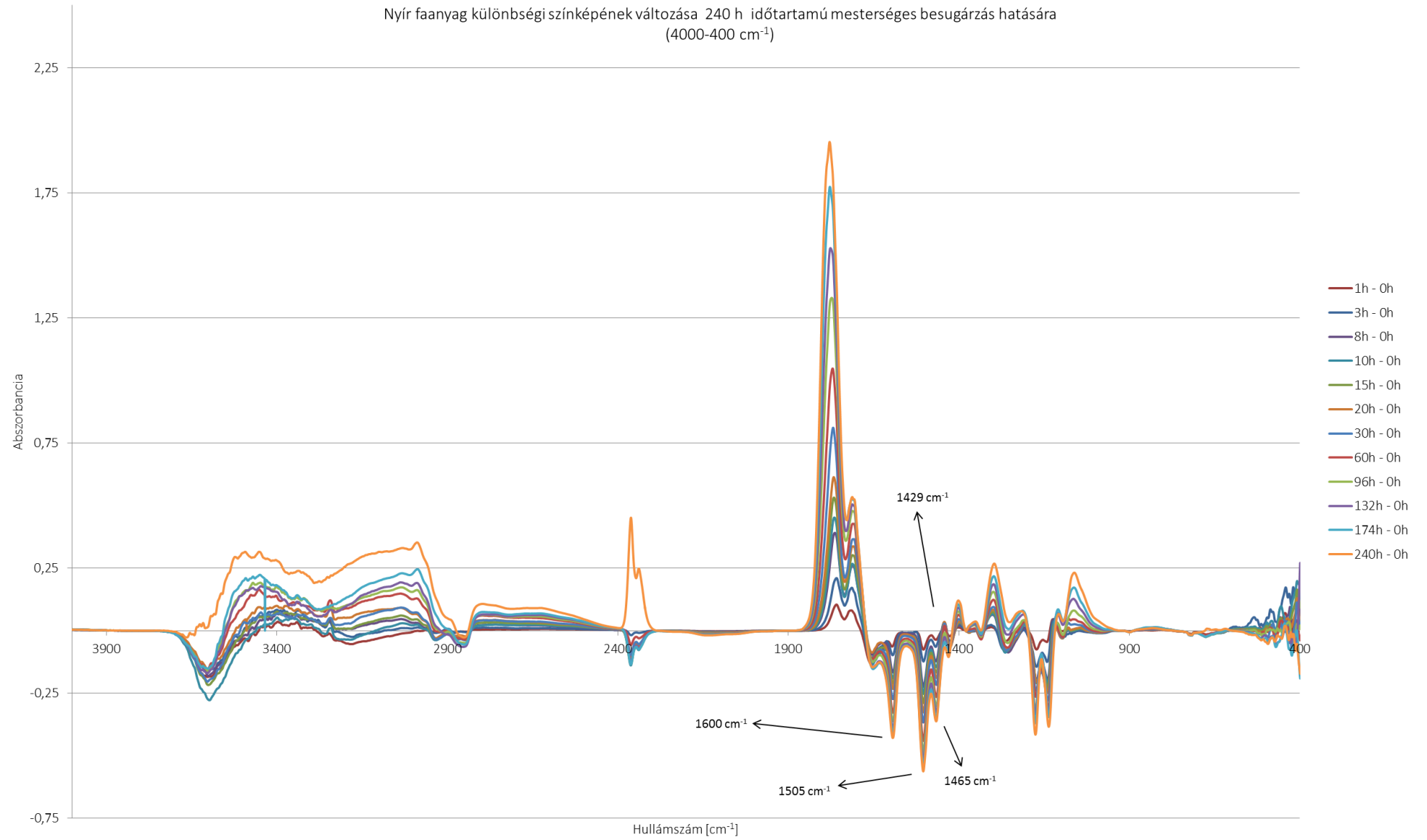
VIII. sz. melléklet: A mesterséges öregítés során elvégzett FTIR vizsgálatok eredményei

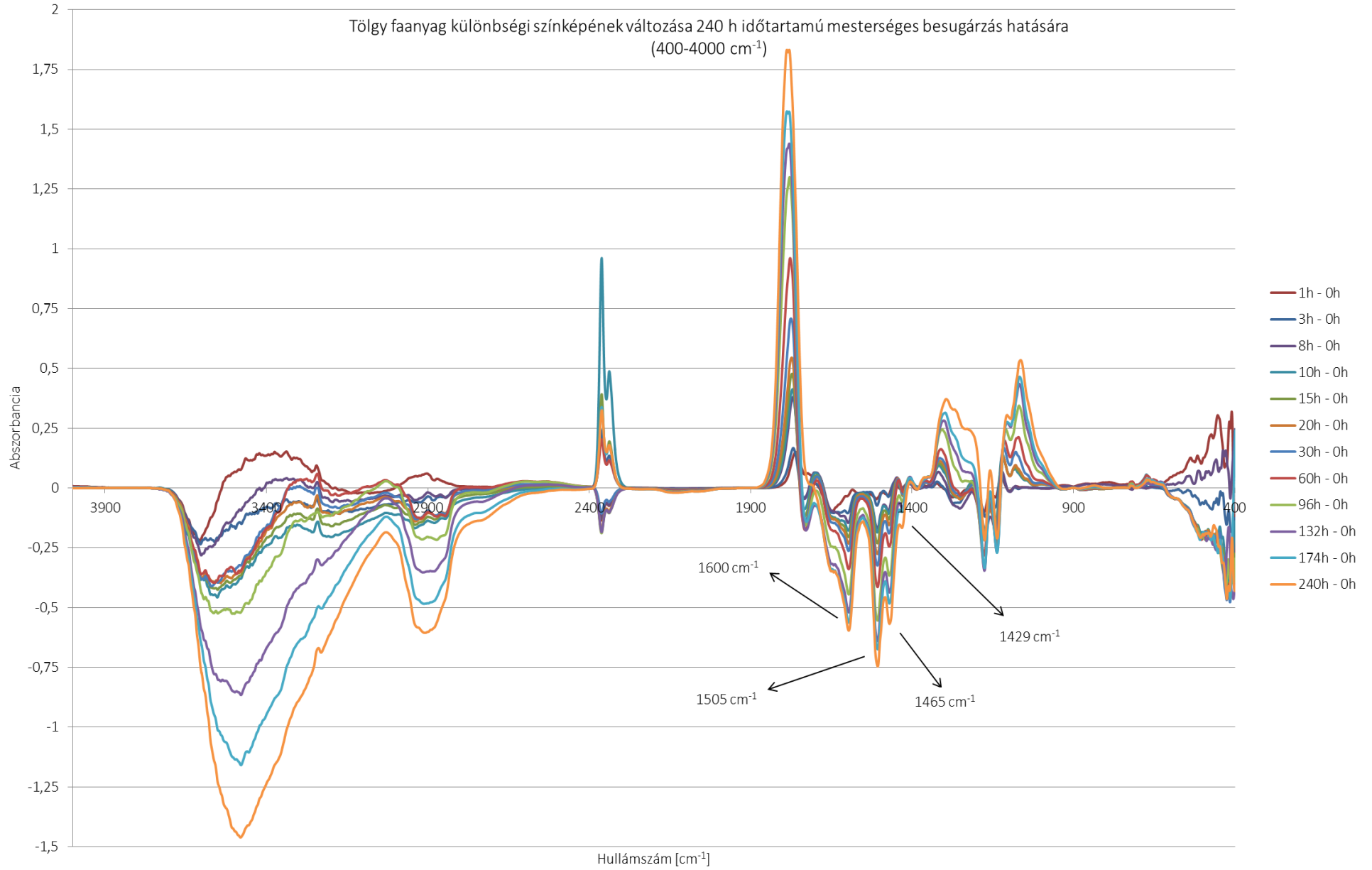


Lucfenyő faanyag különbségi színképének változása 240 h időtartamú mesterséges besugárzás hatására
(4000-400 cm^{-1})



Nyír faanyag különbségi szinképének változása 240 h időtartamú mesterséges besugárzás hatására
(4000-400 cm^{-1})

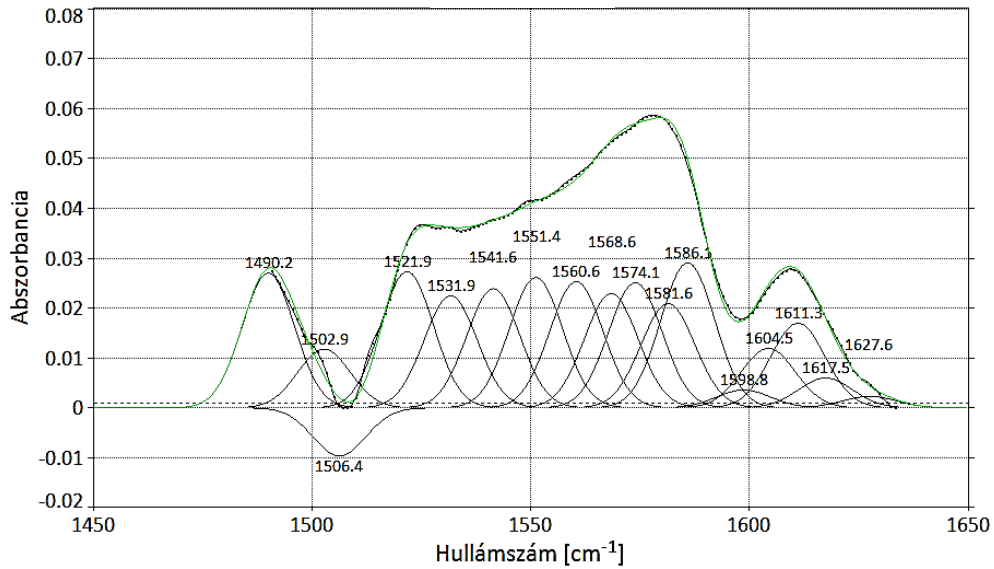




9. sz. melléklet: A PeakFit program segítségével illesztett burkológörbék

B 1510-1600 1-0

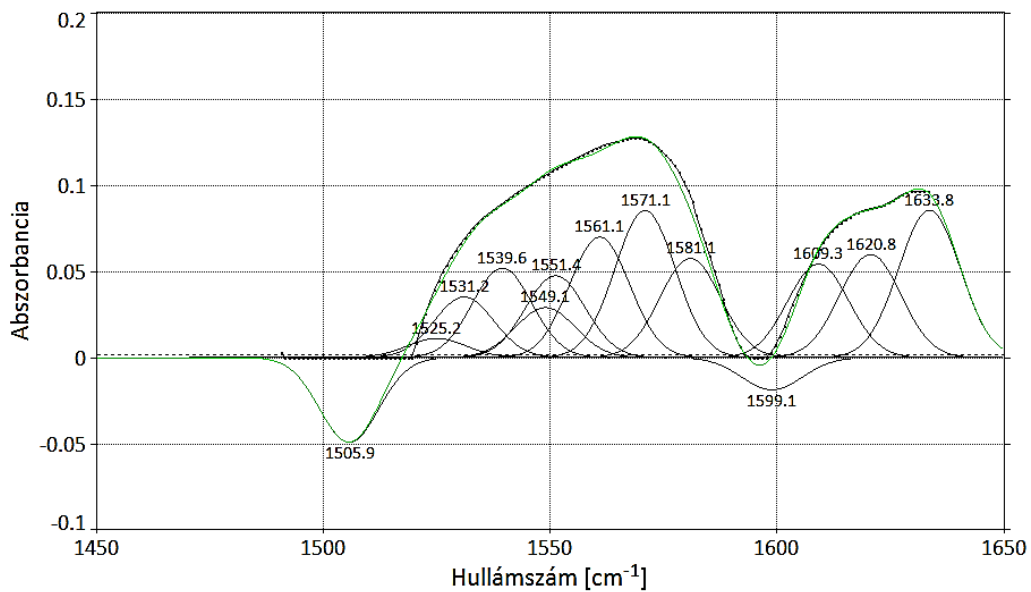
$r^2 = 0,99$



Az 1600 cm^{-1} és $1505\text{-}1510\text{ cm}^{-1}$ hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására bükk faanyag esetében – **1 h**

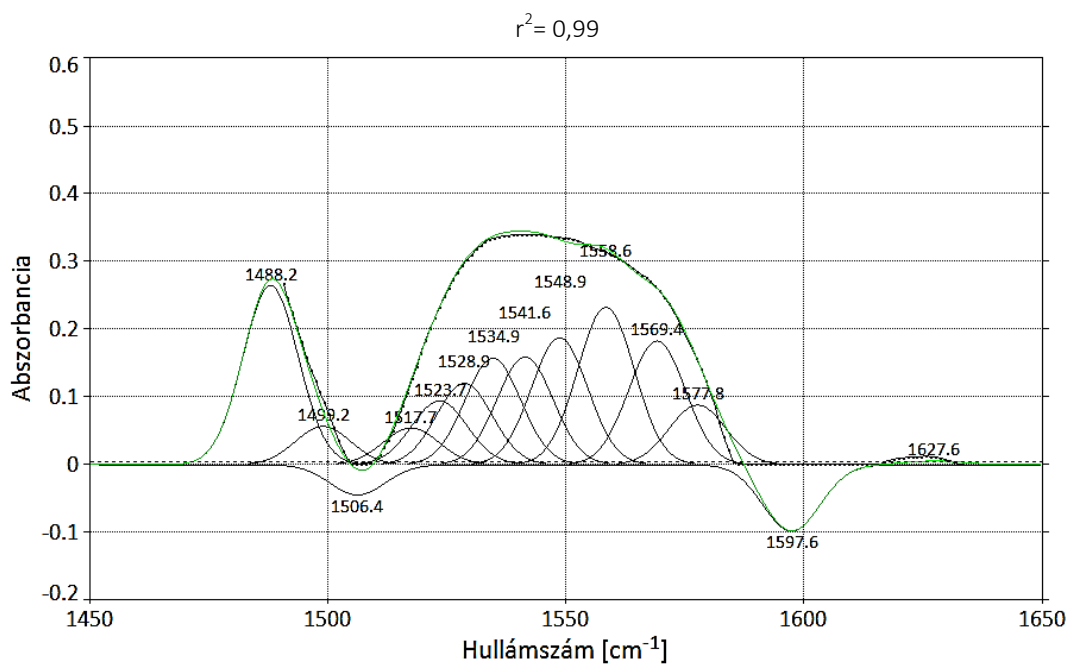
B 1510-1600 8-0

$r^2 = 0,96$



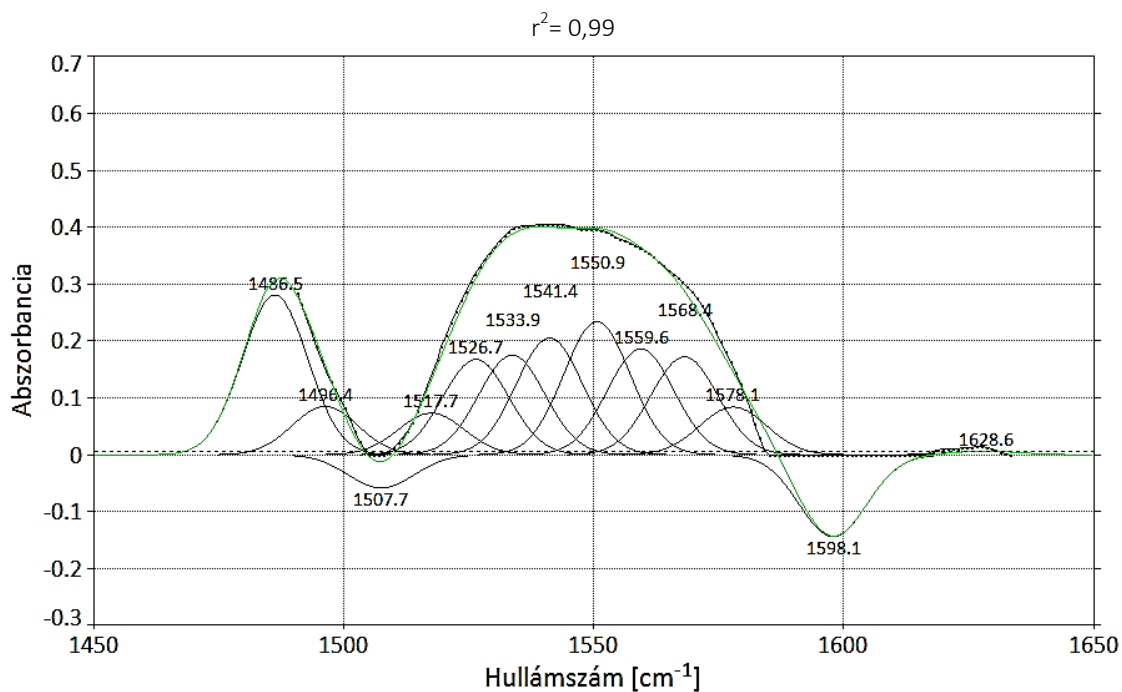
Az 1600 cm^{-1} és $1505\text{-}1510\text{ cm}^{-1}$ hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására bükk faanyag esetében – **8 h**

B 1510-1600 96-0



Az 1600 cm^{-1} és $1505\text{-}1510\text{ cm}^{-1}$ hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására bükk faanyag esetében – 96 h

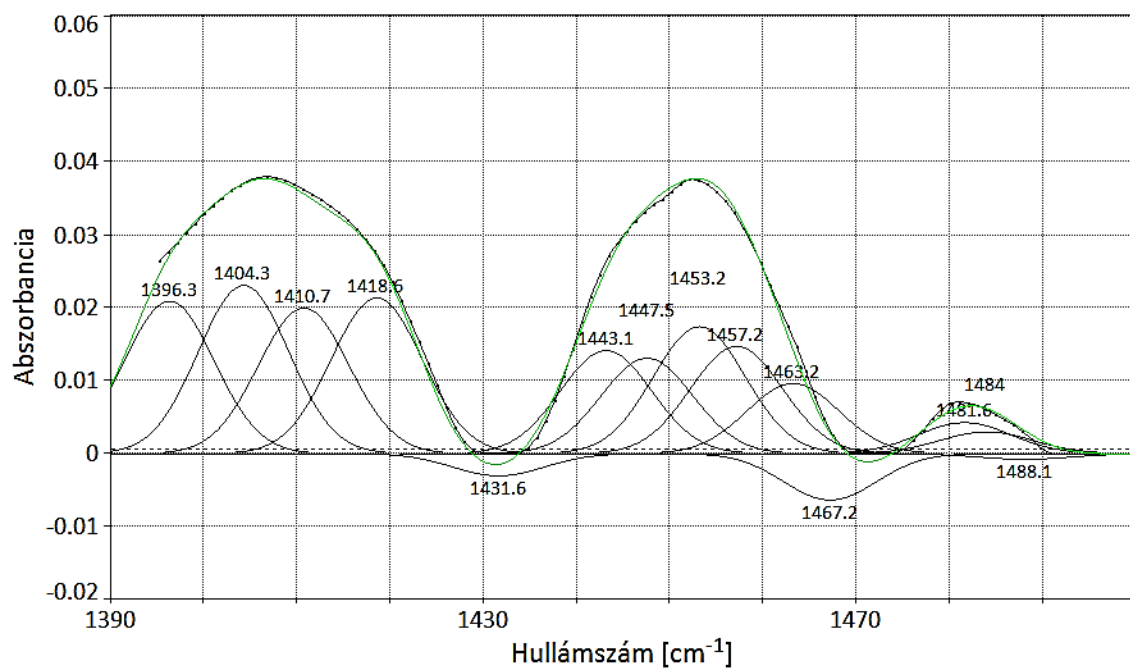
B 1510-1600 240-0



Az 1600 cm^{-1} és $1505\text{-}1510\text{ cm}^{-1}$ hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására bükk faanyag esetében – 240 h

B 1429-1465 1-0

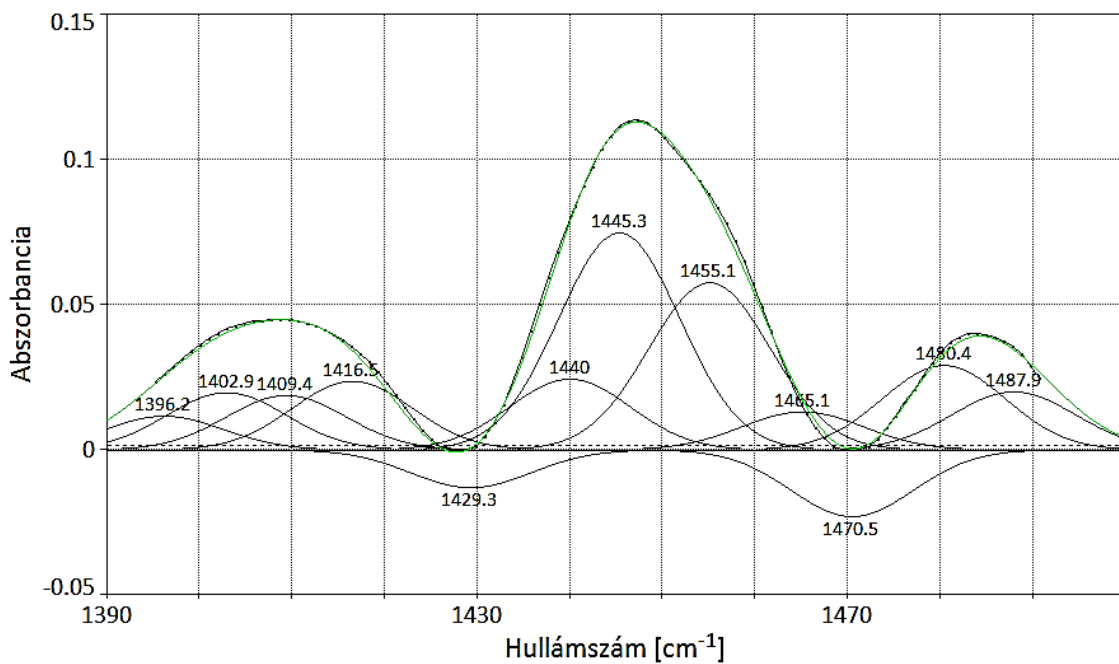
$r^2 = 0,99$



Az 1465 cm^{-1} és 1429 cm^{-1} hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására bükk faanyag esetében – 0 h

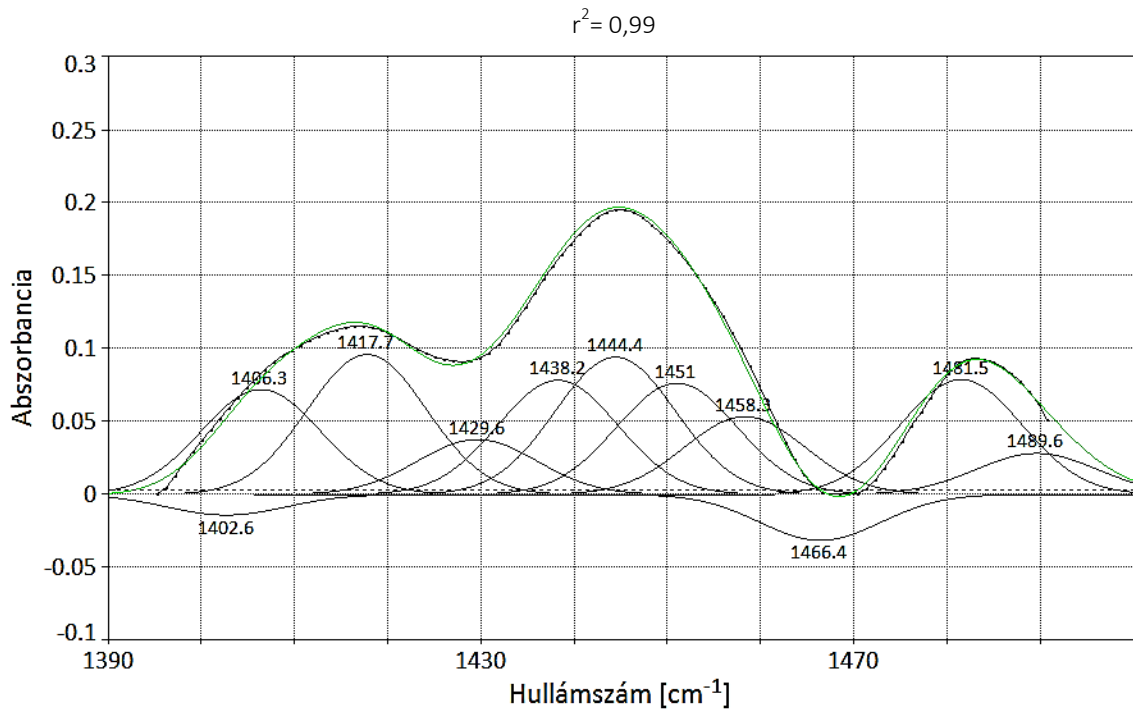
B 1429-1465 8-0

$r^2 = 0,99$



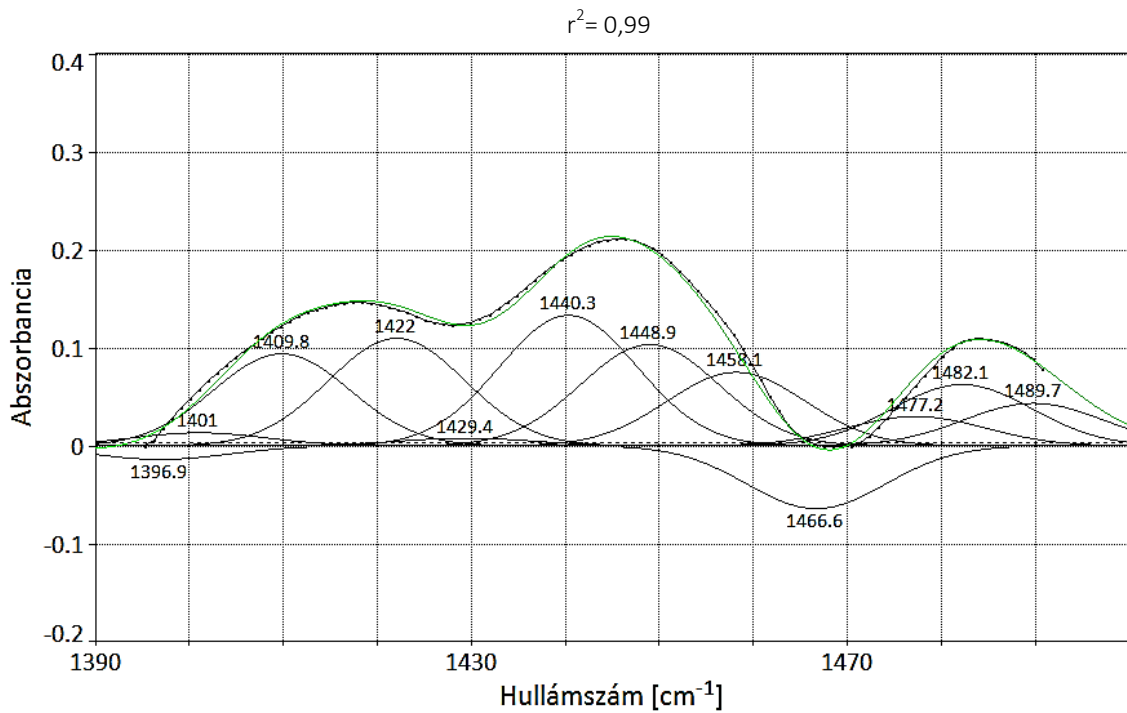
Az 1465 cm^{-1} és 1429 cm^{-1} hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására bükk faanyag esetében – 8 h

B 1429-1465 96-0



Az 1465 cm^{-1} és 1429 cm^{-1} hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására bükk faanyag esetében – 96 h

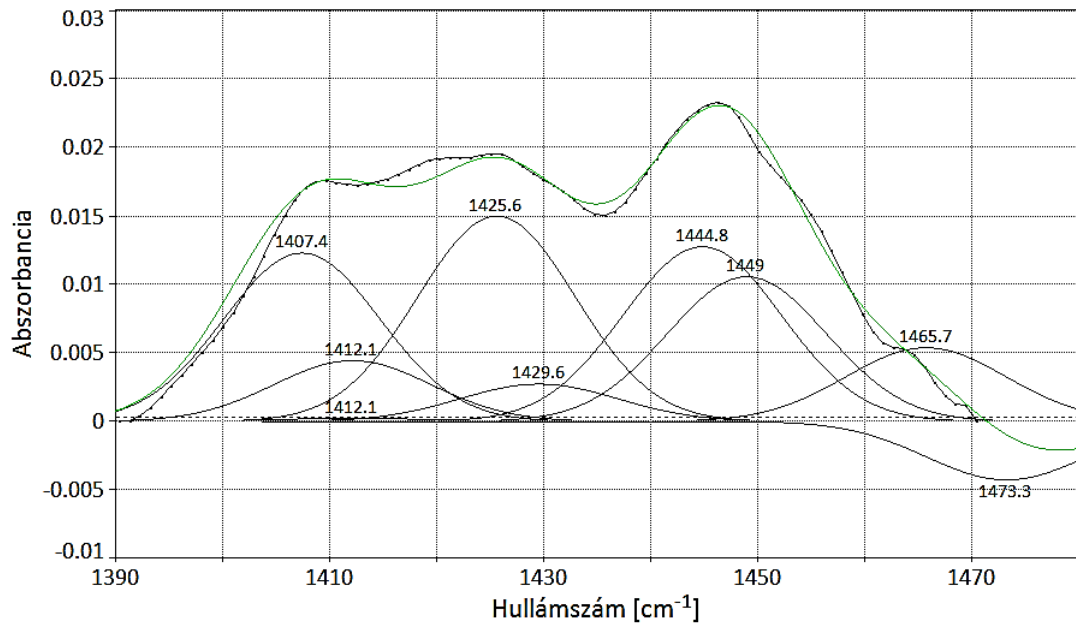
B 1429-1465 240-0



Az 1465 cm^{-1} és 1429 cm^{-1} hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására bükk faanyag esetében – 240 h

LF 1465-1429 1-0

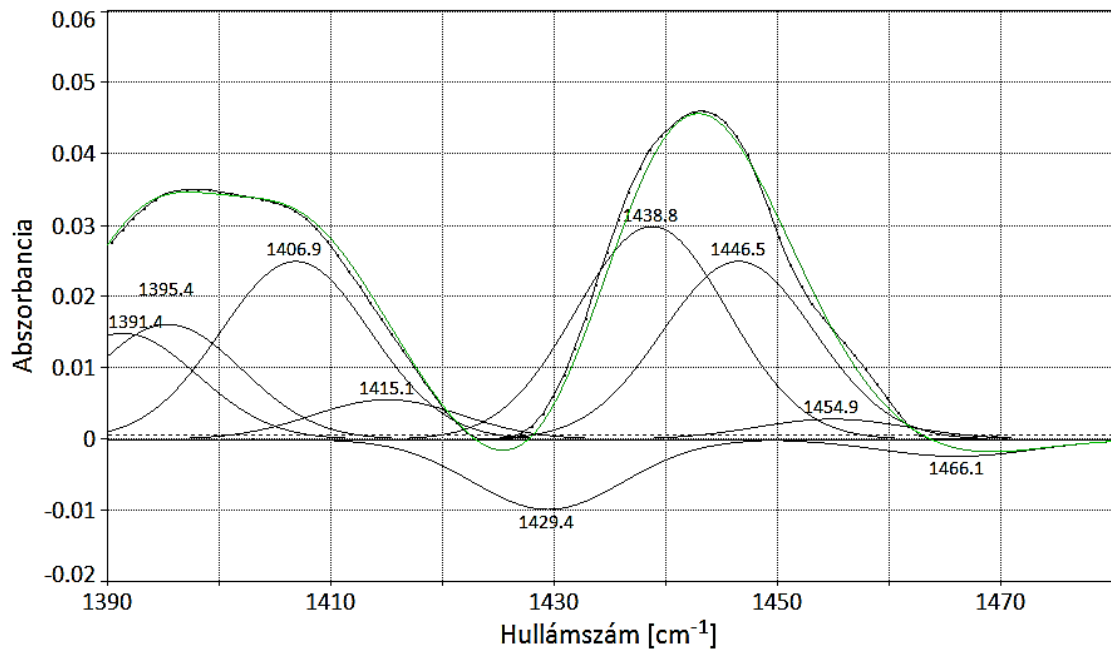
$r^2 = 0,98$



A 1465 cm⁻¹ és 1429 cm⁻¹ hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására lucfenyő faanyag esetében – 0 h

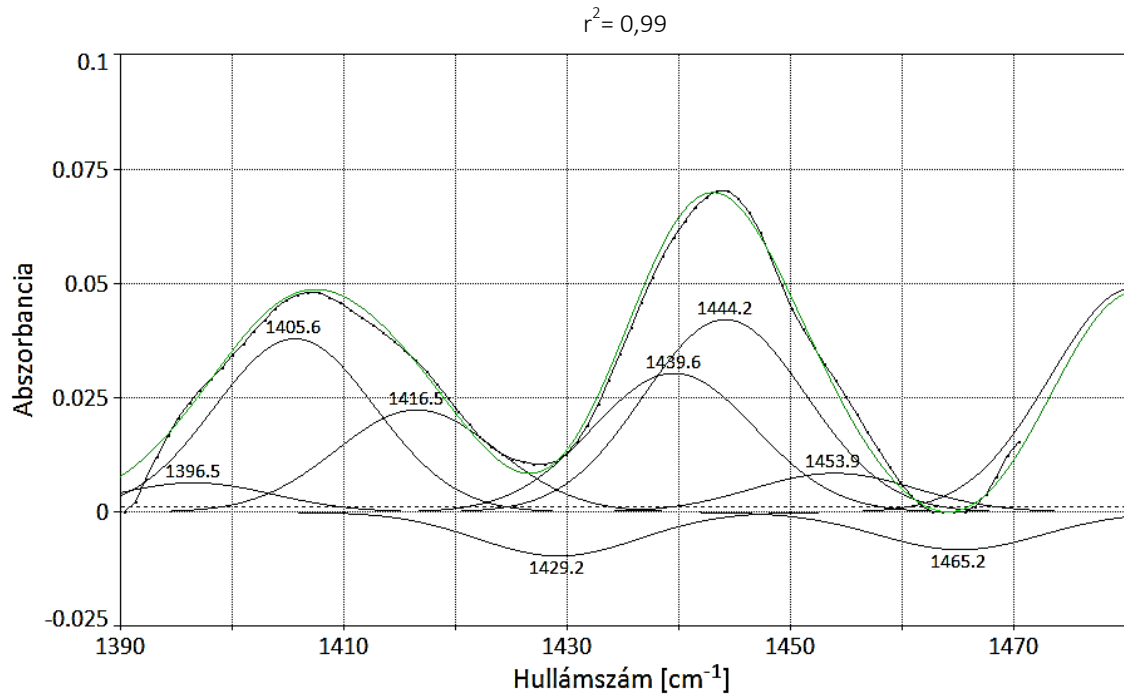
LF 1465-1429 8-0

$r^2 = 0,99$



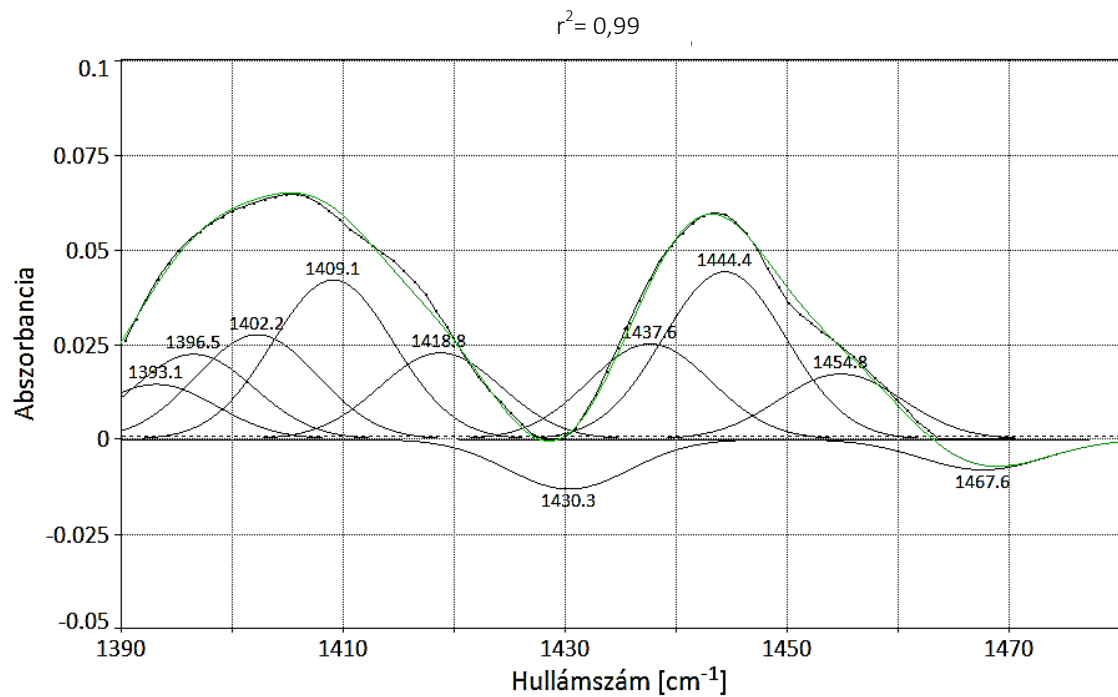
A 1465 cm⁻¹ és 1429 cm⁻¹ hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására lucfenyő faanyag esetében – 8 h

LF 1465-1429 96-0



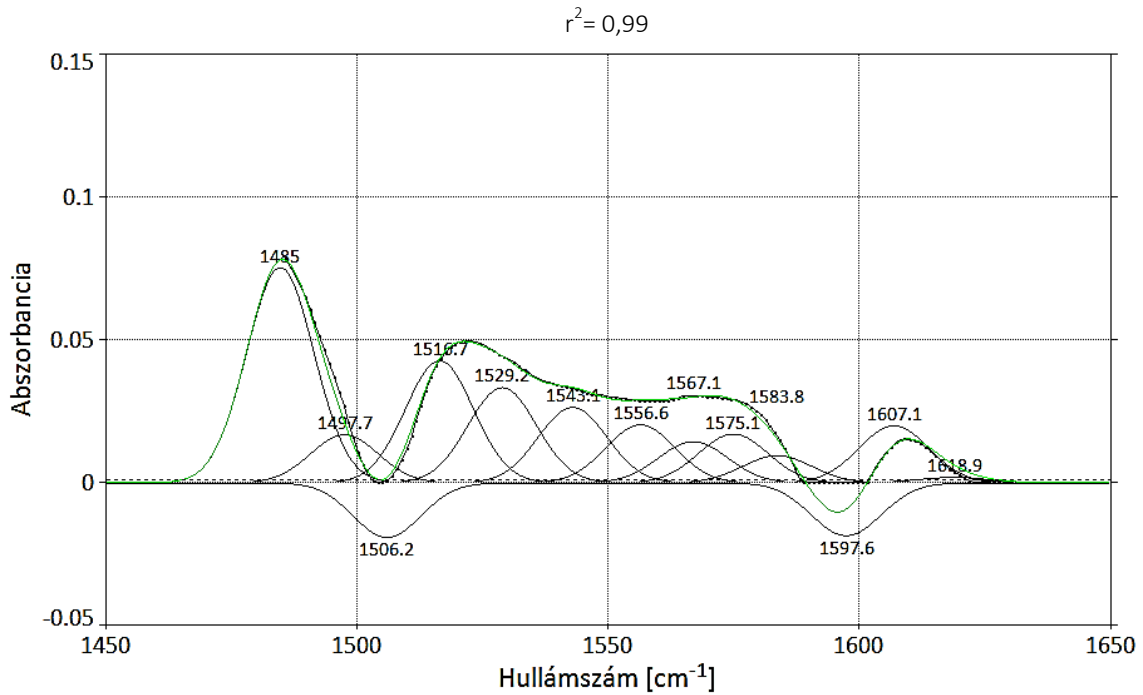
A 1465 cm⁻¹ és 1429 cm⁻¹ hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására lucfenyő faanyag esetében – 96 h

LF 1465-1429 240-0



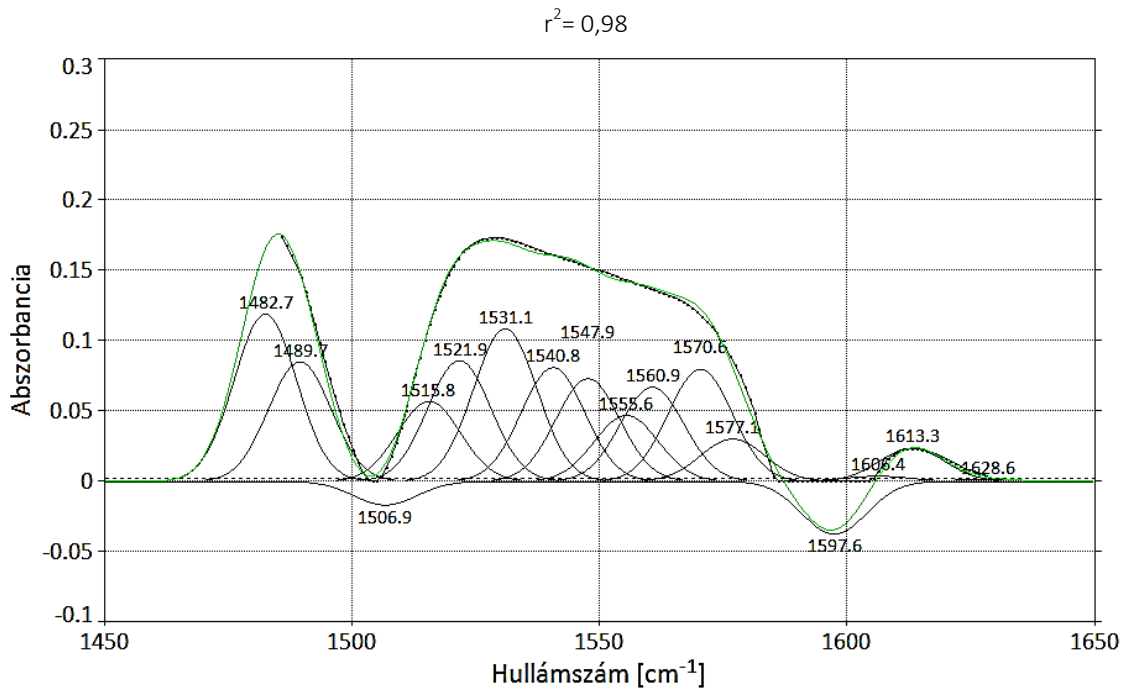
A 1465 cm⁻¹ és 1429 cm⁻¹ hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására lucfenyő faanyag esetében – 240 h

N 1505-1600 1-0



Az 1600 cm⁻¹ és 1505-1510 cm⁻¹ hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására nyír faanyag esetében – 0 h

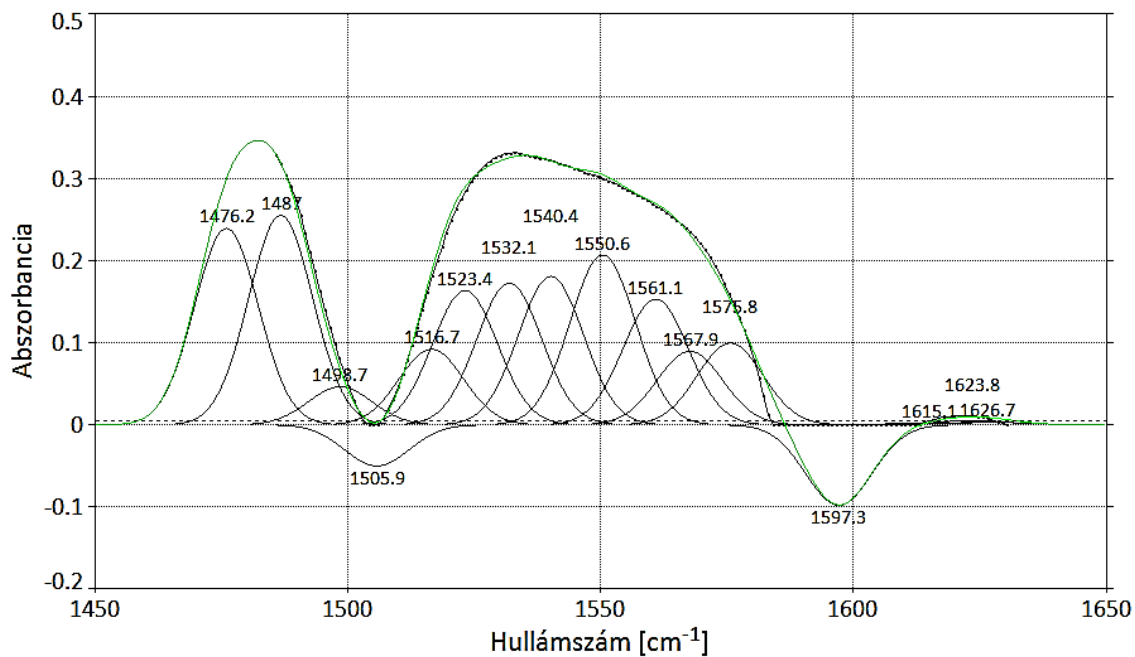
N 1505-1600 8-0



Az 1600 cm⁻¹ és 1505-1510 cm⁻¹ hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására nyír faanyag esetében – 8 h

N 1505-1600 96-0

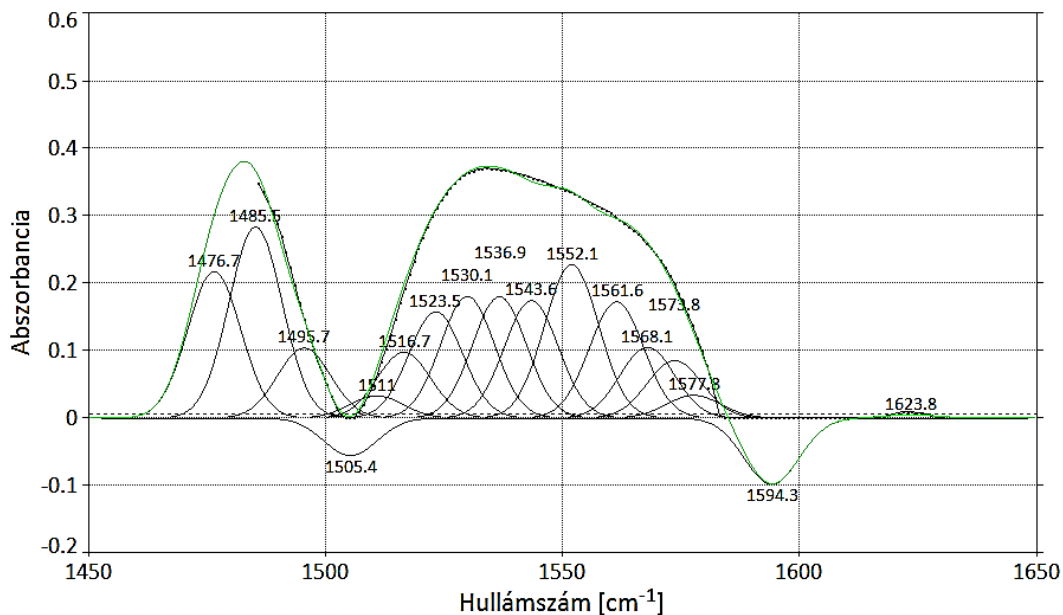
$$r^2 = 0,98$$



Az 1600 cm⁻¹ és 1505-1510 cm⁻¹ hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására nyír faanyag esetében – 96 h

N 1505-1600

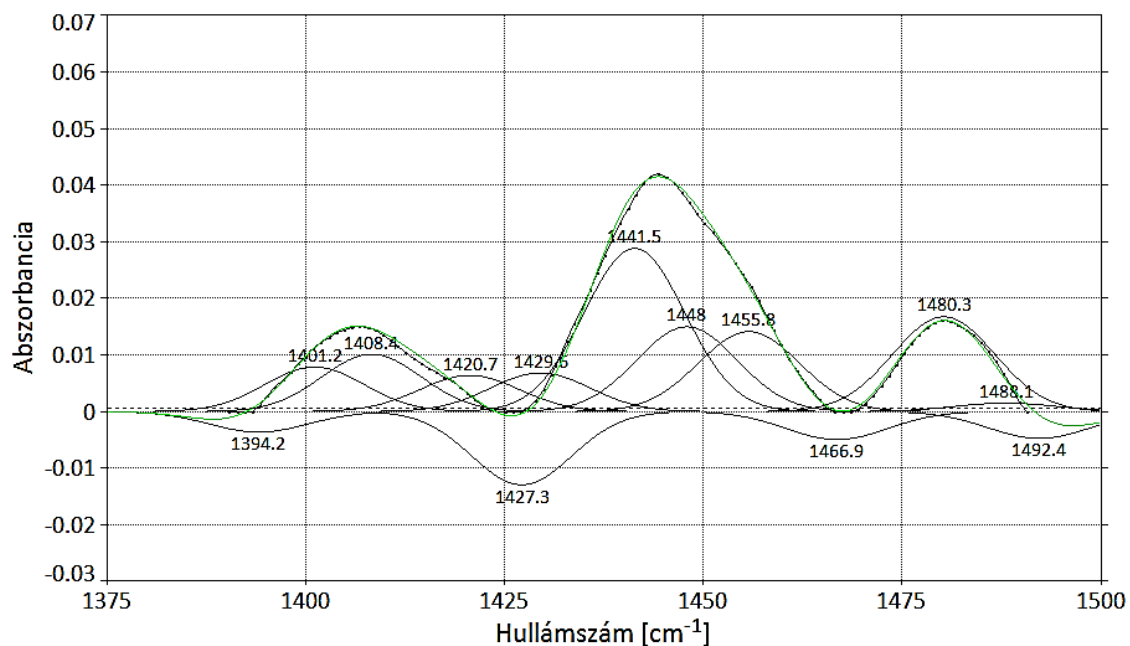
$$r^2 = 0,97$$



Az 1600 cm⁻¹ és 1505-1510 cm⁻¹ hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására nyír faanyag esetében – 240 h

N 1429-1465 1-0

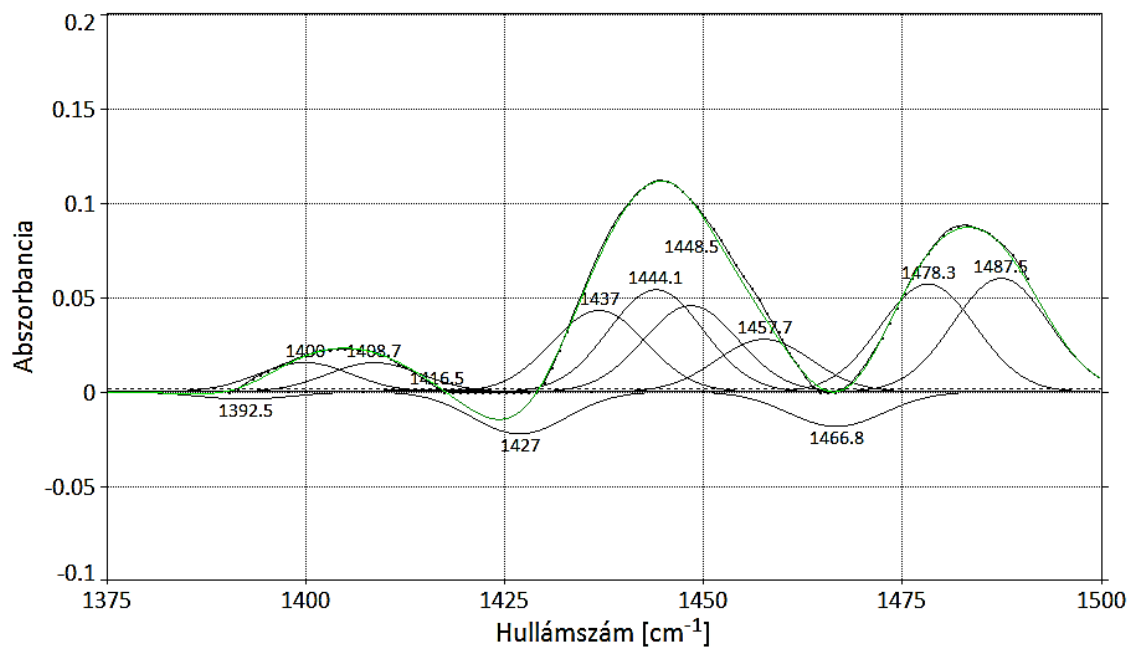
$r^2 = 0,99$



Az 1465 cm^{-1} és 1429 cm^{-1} hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására nyír faanyag esetében – 0 h

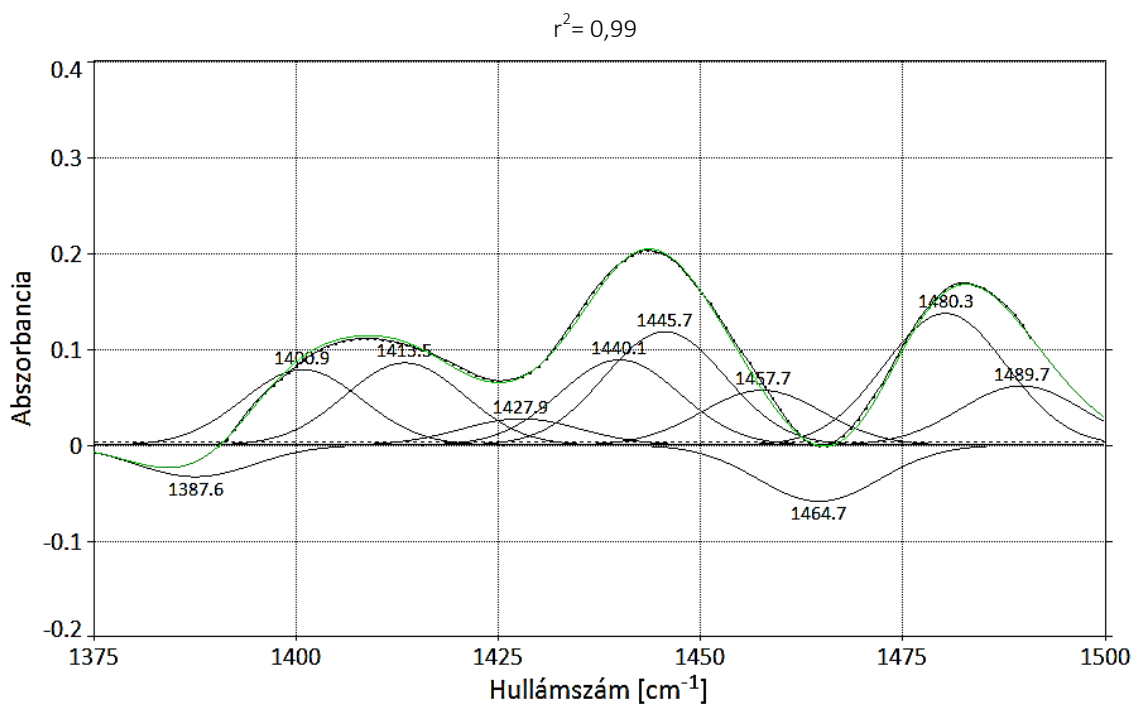
N 1429-1465 8-0

$r^2 = 0,99$



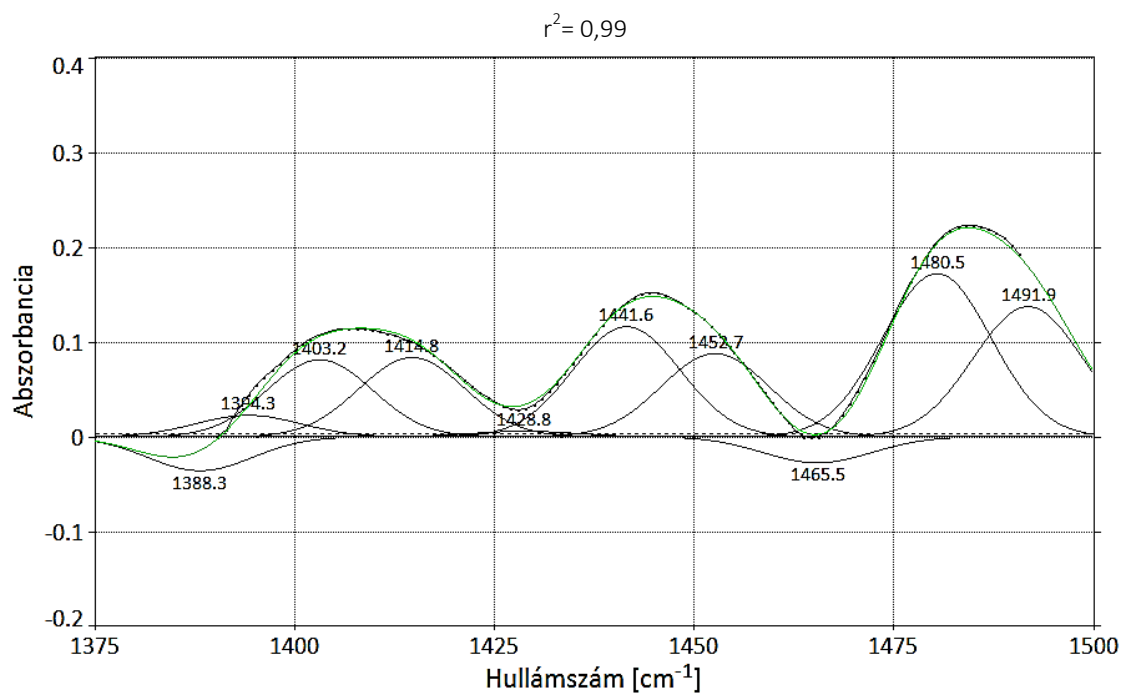
Az 1465 cm^{-1} és 1429 cm^{-1} hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására nyír faanyag esetében – 8 h

N 1429-1465 96-0



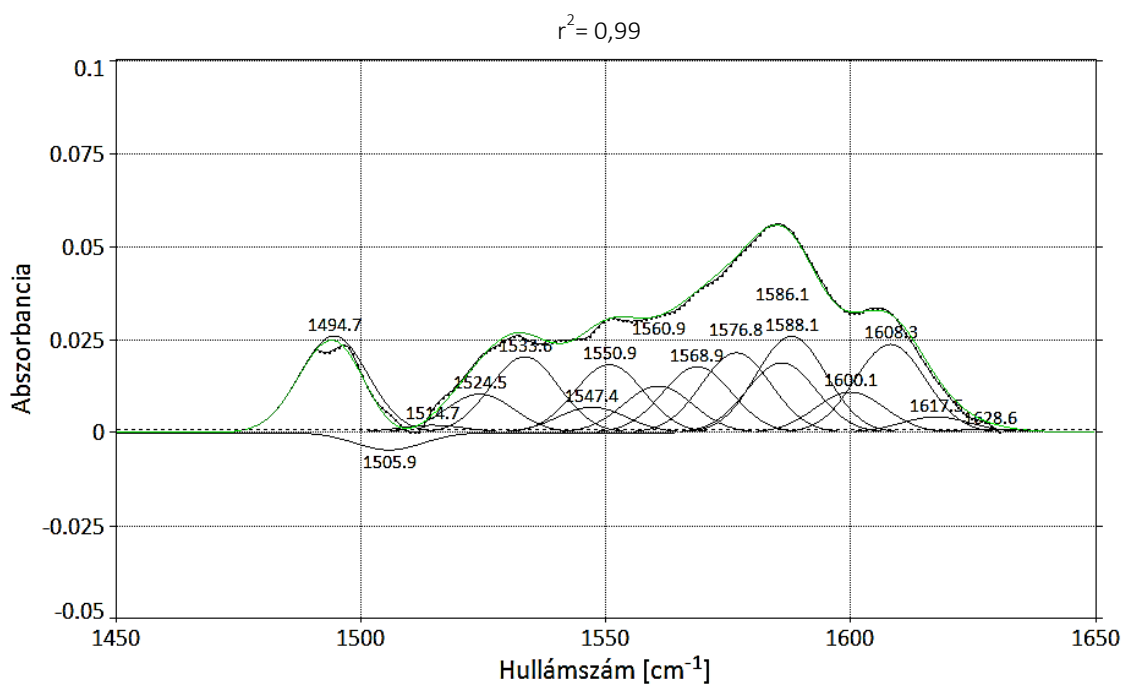
Az 1465 cm⁻¹ és 1429 cm⁻¹ hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására nyír faanyag esetében – 96 h

N 1429-1465 240-0



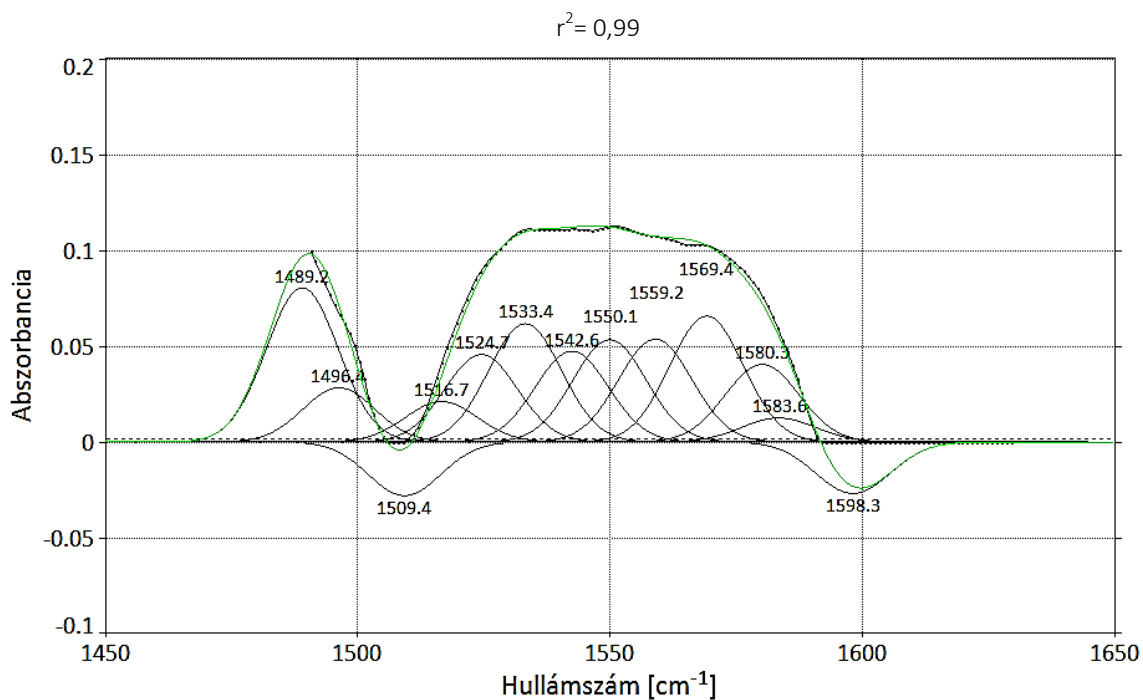
Az 1465 cm⁻¹ és 1429 cm⁻¹ hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására nyír faanyag esetében – 240 h

T 1505-1600 1-0



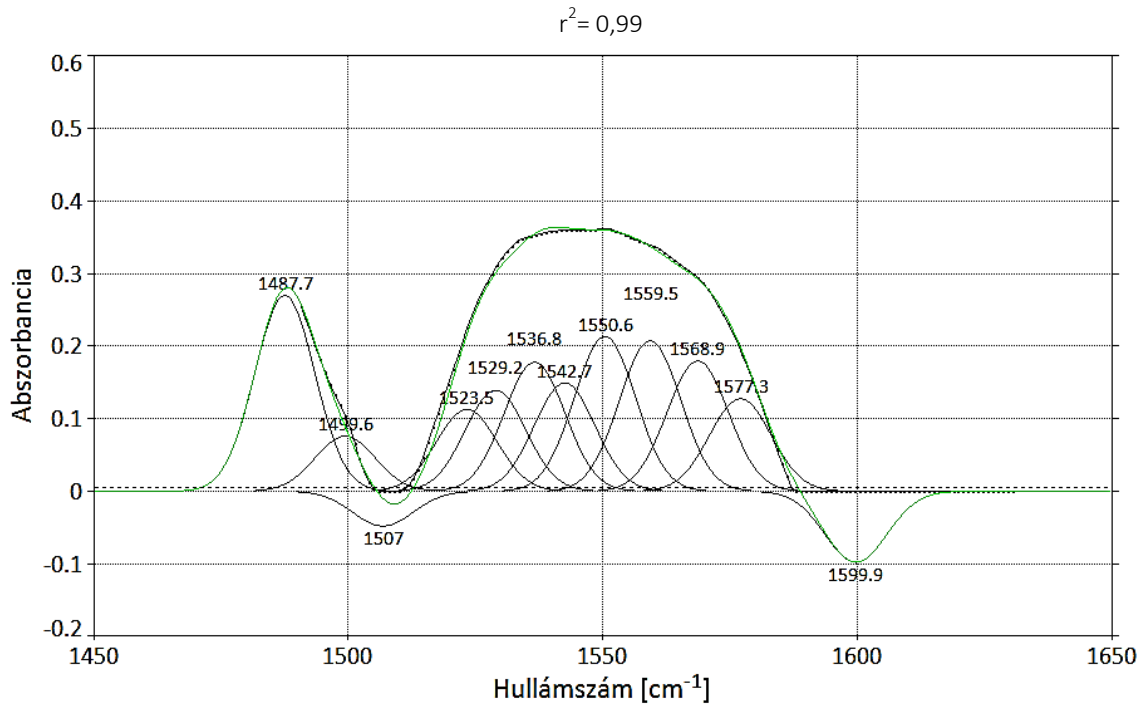
Az 1600 cm⁻¹ és 1505-1510 cm⁻¹ hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására kocsánytalan tölgy faanyag esetében – 0 h

T 1505-1600 8-0



Az 1600 cm⁻¹ és 1505-1510 cm⁻¹ hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására kocsánytalan tölgy faanyag esetében – 8 h

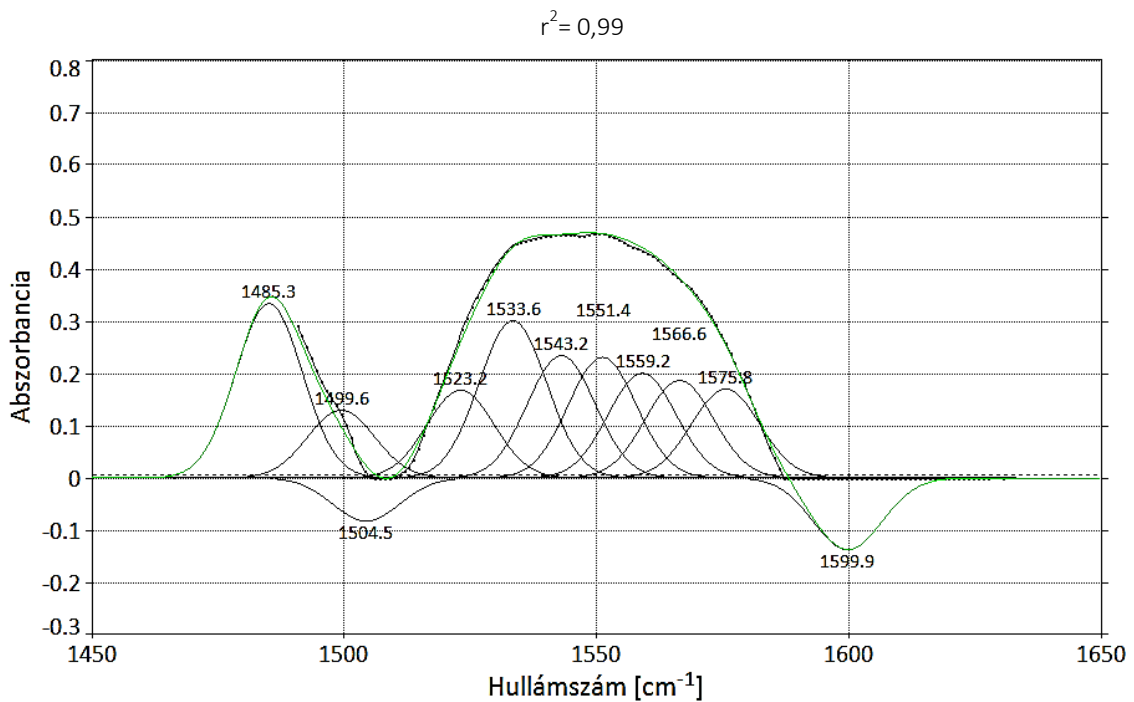
T 1505-1600 96-0



42.

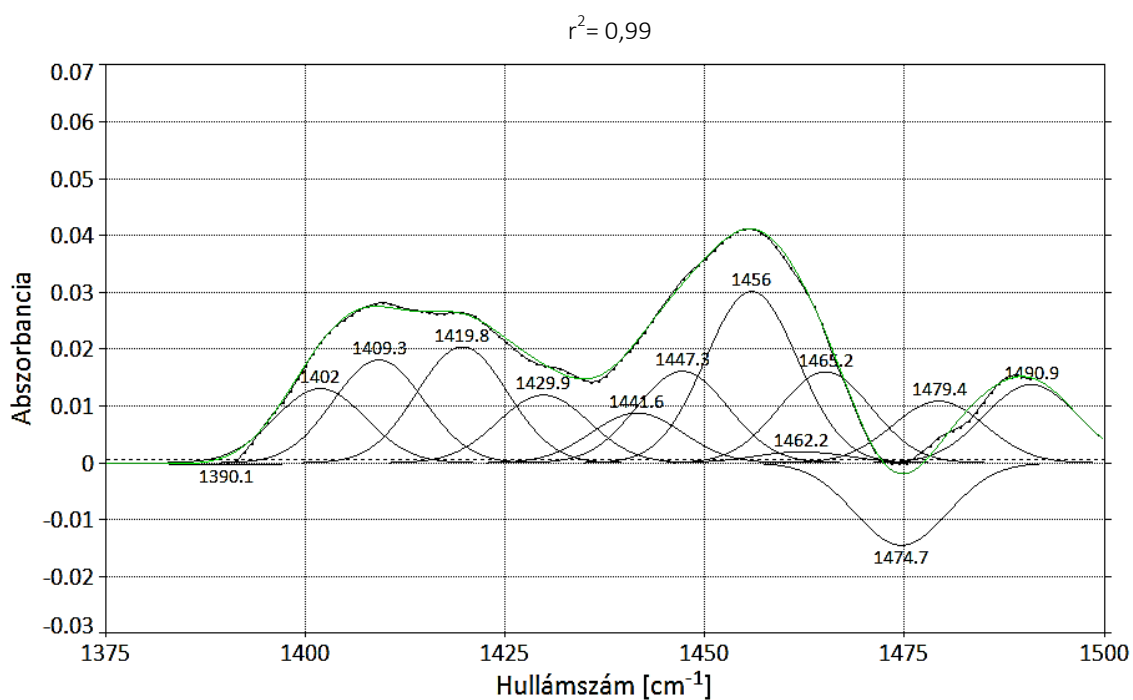
Az 1600 cm^{-1} és $1505\text{-}1510 \text{ cm}^{-1}$ hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására kocsánytalan tölgy faanyag esetében – **96 h**

T 1505-1600 240-0



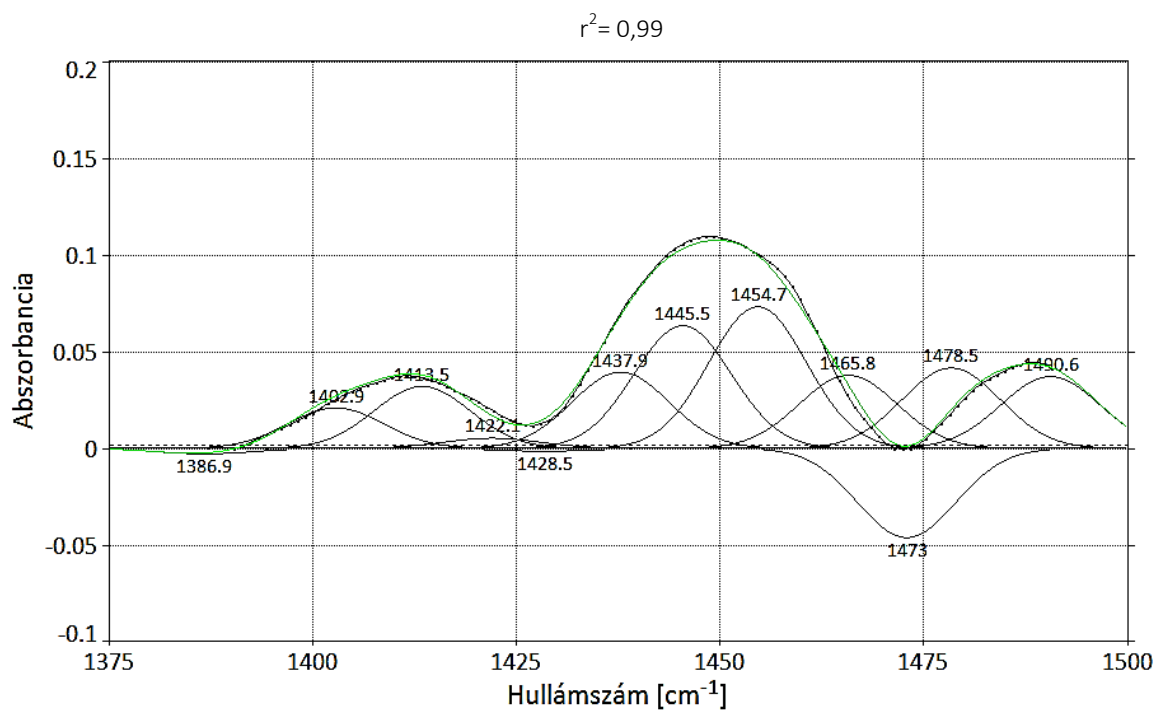
Az 1600 cm^{-1} és $1505\text{-}1510 \text{ cm}^{-1}$ hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására kocsánytalan tölgy faanyag esetében – **240 h**

T 1429-1465 1-0



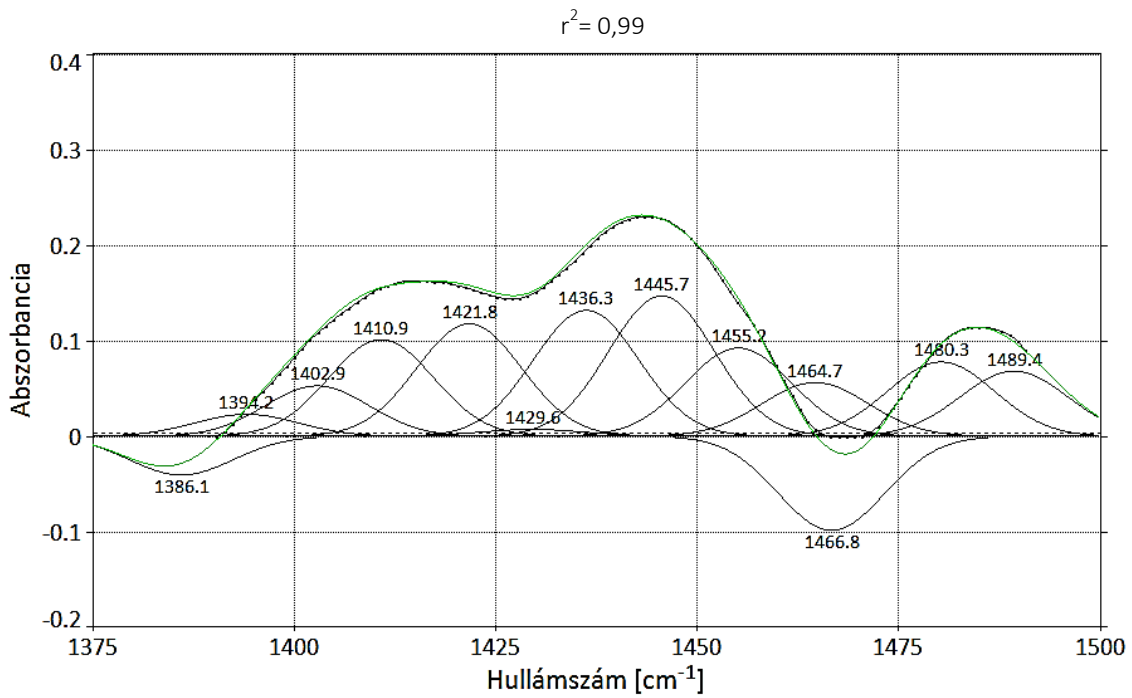
Az 1465 cm^{-1} és 1429 cm^{-1} hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására kocsánytalan tölgy faanyag esetében – **0 h**

T 1429-1465 8-0



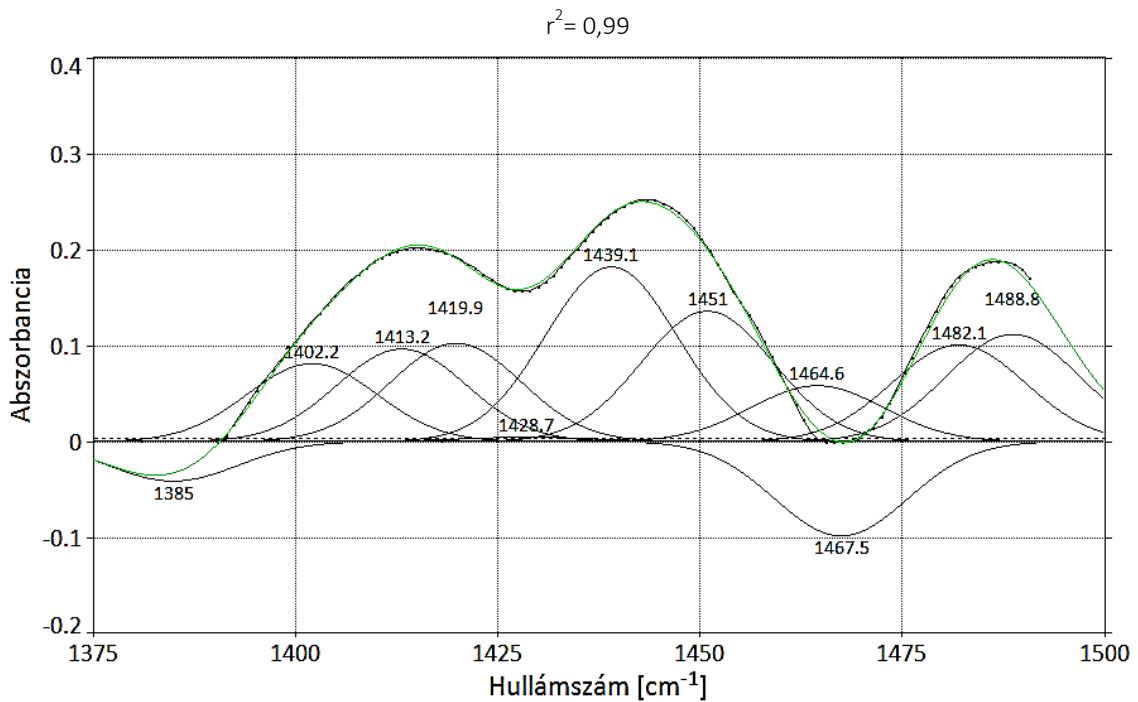
Az 1465 cm^{-1} és 1429 cm^{-1} hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására kocsánytalan tölgy faanyag esetében – **8 h**

T 1429-1465 96-0



Az 1465 cm^{-1} és 1429 cm^{-1} hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására kocsánytalan tölgy faanyag esetében – **96 h**

T 1429-1465 240-0



Az 1465 cm^{-1} és 1429 cm^{-1} hullámszámokhoz tartozó sávok változása mesterséges öregítés hatására kocsánytalan tölgy faanyag esetében – **240 h**

