

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

- Pinel P., Cruickshank CA., Beausoleil-Morrison I., Wills A. (2011) A review of available methods for seasonal storage of solar thermal energy in residential applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(7): 3341-3359.
- Saber HH. (2012) Investigation of thermal performance of reflective insulations for different

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

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

## Fotodegradáció hatására fellépő felületérdesség vizsgálata az infravörös színek segítségével

MOLNÁR Zsolt<sup>1</sup>, TOLVAJ László<sup>2</sup>, MAGOSS Endre<sup>3</sup>

<sup>1</sup> NymE FMK PhD hallgató

<sup>2</sup> NymE FMK Fizika és Elektrotechnika Intézet

<sup>3</sup> NymE FMK Gépészeti és Mechatronikai Intézet

### Kivonat

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

**Kulcsszavak:** ultraibolya sugárzás, fotodegradáció, infravörös színek, alapvonal eltolódás, felületi érdesség

## Roughness change analysis of photodegraded wooden surfaces by infrared spectroscopy

### Abstract

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



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

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

## Bevezetés

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### Vizsgálati anyagok és módszerek

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

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

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

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

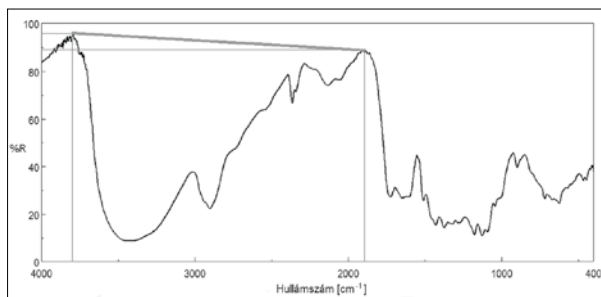
#### Eredmények és értékelés

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

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

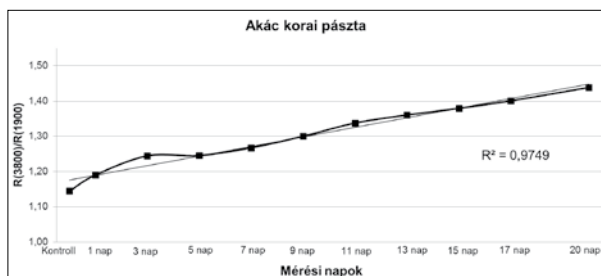
Jelen kutatás során alapvonal korrekciót nem végeztünk a mért színeképeken, csak a  $3800\text{ cm}^{-1}$  illetve az  $1900\text{ cm}^{-1}$  hullámszám értékekhez tartozó reflexióértékek kerültek meghatározásra a már említett program segítségével. Alapvonal korrekciónál éppen ezt a két pontot veszik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

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



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

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



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

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

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

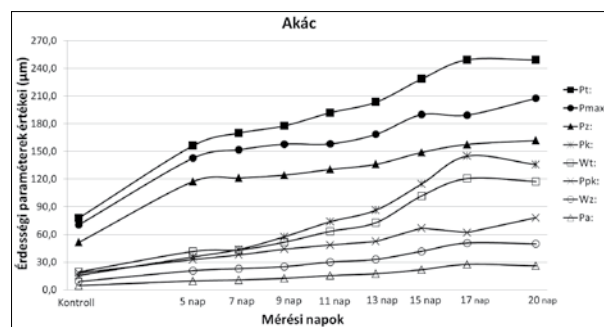
Minden fajtánál elmondható, hogy korai pászta esetében magasabb  $R^2$  értékeket kaptunk, azaz a korai pászta esetén a kapott hányadosértékek jobban illeszkednek egy egyenesre. A fenyőknél az  $R^2$  értékek nagyobbak voltak, mint a lombhullató fajoknál. Az utóbbi eredmény azzal magyarázható, hogy a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

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

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

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

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



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

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

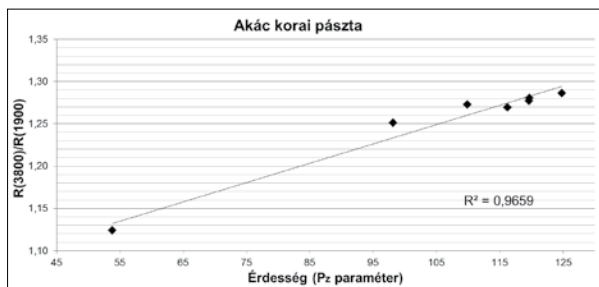
felületének degradációját: a  $P_z$ , a  $P_{max}$  és a  $P_t$ . Ennek magyarázata, hogy a felület egyre barázdáltabbá válik, azaz a mért intervallum növekszik, és ez a három jellemző definíciójából adódóan érzékeny az ilyen típusú változásra.

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

anyagoknál kimagasló értékek. A többi faj esetében is hasonló értékeket kaptunk. A fenyőknél a korreláció mértéke magasabb volt, mint a lombos faanyagok esetében. Az eltérés a korábban említett sejtszerkezeti eltérésekkel magyarázható.

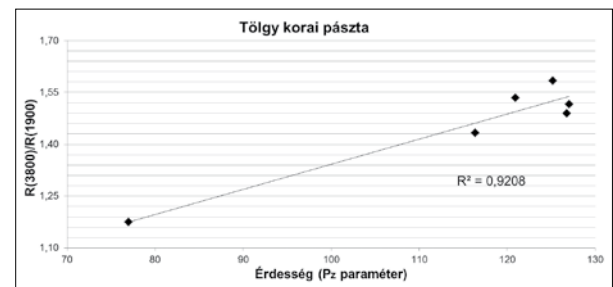
A mérésekből összesen 121 darab ilyen grafikont kaptunk. A terjedelmi korlátok miatt az előzőekben már alkalmazott módon, itt is csak a kapott korrelációs együttható értékeit mutatjuk be a 2. táblázatban.

A táblázatban minden faj minden pásztaiban a legjobb korrelációt adó érdességi paraméter értékét kiemeltük. Így jól látható, hogy fafajonként más és más paraméter értékei követik a legjobban az alapvonal eltolódás mértékét. Akác, lucfenyő illetve tölgy esetében a  $P_z$  paraméter értékei, erdeifenyőnél a  $P_a$  paraméter értékei, nyárnál viszont az  $M_z$  paraméter értékei követik a legjobban az alapvonal eltolódás mértékét. Az említett esetekben a kapott  $R^2$  értékek nagyon jónak mondhatók.



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

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



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

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

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

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

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

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

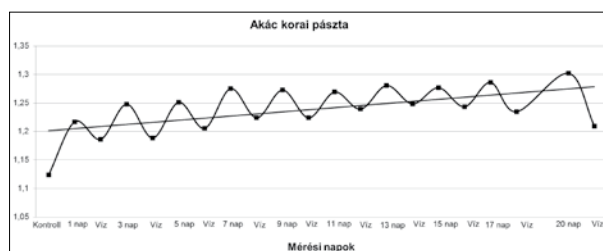
Az eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy az infravörös reflexiós színek alapvonalának eltolódása és az érdességváltozás között lineáris kapcsolat van. Ezért az alapvonal eltolódás alkalmas az érdességváltozás követésére.

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

### Következtetések

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

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



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

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

### Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Talentum – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP – 4.2.2. B – 10/1 – 2010 – 0018 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

### Irodalomjegyzék

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