

A fotodegradáció okozta felületérdesedés vizsgálata*

MOLNÁR Zsolt¹, MAGOSS Endre² TOLVAJ László³

¹ NymE FMK, PhD hallgató

² NymE FMK, Gépészeti és Mechatronikai Intézet

³ NymE FMK, Fizikai és Elektrotechnika Intézet

Kivonat

Közismert tény, hogy a természetes faanyag felületi struktúráját a környezeti hatások (napsugárzás, esővíz) idővel megváltoztatják. A változást alapvetően az UV-sugárzás okozza. Jelen kutatás célja a különböző fafajokra kifejlesztett fotodegradációs hatás számszerűsített mérése. A nap UV-sugárzásának szimulálása, mesterséges körülmények között, higanygőz lámpák segítségével, míg az esővíz okozta felületi érdesedés szimulálása, desztillált vizes áztatással történt, az egyes besugárzási ciklusok között. A felületi érdesség mérése tűs letapogató módszerrel (Perthometer) valósult meg. Egynapos, illetve később kétnapos besugárzási ciklusokat alkalmazva, a kezeléseket utáni mérésekkel az érdességi paraméterek rögzítésre kerültek. Próbatestenként, illetve besugárzási ciklusonként 10 egymással párhuzamos mérésre került sor, mindig azonos pozícióban, ezért a próbatestek pontos pozícionálása fontos részét képezte a mérési módszernek. A kapott eredményekből kiderült, hogy a P profilból számított felületi érdesség paraméterek fafajtól függetlenül összehasonlíthatóvá tették az UV-sugárzás hatására bekövetkező felületi elváltozás mértékét. Faanyag esetén a fotodegradáció mértékének legjobb indikátorai a P_z , a P_{max} és a P_t 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. Ennek a jelenségnek feltárása további vizsgálatokat igényel.

Kulcsszavak: fotodegradáció, felületi érdesség, UV-sugárzás, Perthometer

Surface deterioration of wood by photo degradation treatment

Abstract

It is well known that the environment effects (sunlight, rainwater) have influence on the surface roughness of the natural wood. The biggest influencing factor is the UV radiation. The main goal of this study is to characterise the influencing effect of the environmental exposure on the surface of different wood species. We used mercury lamp to simulate the sunlight and we washed the surface of the samples with distillation water between two artificial radiation cycles. The surface roughness is measured by tactile measuring system Mahr Perthometer type S2. The surface roughness parameters are measured after one day and two days long radiation cycles. Ten roughness profiles on the same position are registered on each sample in every measuring cycle. Therefore the positioning of the samples was one of the important factors of our investigation method. The surface roughness parameters are calculated from the P profiles so the same parameters could compare irrespectively of the wood species. Consequently we can characterise the effect of the photodegradation on the

*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.

This research - as a part of the Development of Student Talent Fostering at WHU, TAMOP 4.2.2. B-10/1-2010-0018 project - was sponsored by the EU/European Social Foundation. The financial support is gratefully acknowledged.

wood surface. The P_z , P_{max} and the P_t parameters are the best indicators of the photodegradation effect on the wood surface roughness. The artificial UV radiation caused the roughest surface for the beech samples. It is an interesting phenomenon that on the surface of the poplar's and the spruce's samples doesn't appear any cracking but the other wood samples cracked during the treatment. This phenomenon needs further investigation in the future.

Key words: photo degradation; surface roughness, UV radiation, Perthometer

Bevezetés

A faanyag felületi minősítése, illetve a faanyag felületének öregedési vizsgálata számos kutatás célkeresztjében áll. A két téma együttes feldolgozása a mérés technika és az öregedési folyamatok szimulációjának fejlődésével lehetővé vált. Kutatásunk során felhasználtuk mindkét kutatási terület eddigi eredményeit.

A természetes faanyag felületi érdekessége több tényező együttes hatásaként jön létre. Ezek a tényezők két alapvető csoportra bonthatók: egyrészt a mechanikai megmunkálás paraméterei, másrészt pedig a faanyag anatómiai jellemzői. A kültéren alkalmazott faanyagok felületei emellett egyéb tényezők hatására folyamatosan változnak. Az egyik legjelentősebb ilyen befolyásoló tényező a különféle hullámhosszúságú fénysugárzás. A fára ható legjellemzőbb sugárzás a napsugárzás. A legnagyobb változást az ultraibolya (UV) sugárzás okozza. A fotodegradáció jelenségének feltárása, megismerése a több évtizedes kutatómunka ellenére, még mindig komoly kihívás a kutatók számára. A kezelések hatására bekövetkező változásokat az infravörös színkép felvételével szokták detektálni. Számtalan kutatás irányult a múltban a fotodegradáció okozta tönkremeneteli folyamatok megértésére. Ausztrál kutatók radiata fenyő mintatesteket tettek ki természetes időjárási feltételeknek 30 napon keresztül. Infravörös spektroszkópiával kiderült, hogy 4 óra elteltével a felület lignintartalmának csökkenése már érzékelhető volt. Három nap után jelentős felszíni lignindegradációt figyeltek meg, 6 nap után már teljes felület réteg lignintartalma degradálódott (Evans et al. 1996).

Az Egyesült Államok Wisconsin államában is folytattak kültéri kitettségi vizsgálatokat. Fenyő és vörös cédrus faanyagokat helyeztek ki merőleges évgűrűállással szabadterre. Tizenhat éven keresztül évente mérték az erózió mértékét. Az eredményekből kiderült, hogy a korai pászta nagyobb mértékben degradálódik, mint a késői pászta (Williams et al. 2001).

A fotodegradáció jelenségének feltárásában nehezséget jelent, hogy a jelenség nem vizsgálható tisztán, egyedül. A degradációt befolyásoló hatások egy nap folyamán állandóan változnak a napsugárzás intenzitásával együtt, nem szólva az éjszakáról és a borús napokról, illetve az évszakok változásáról. Ezért a faanyagok fotodegradációja elsősorban mesterséges fényforrások alkalmazásával, reprodukálható körülmények között vizsgálható (Tolvaj 2005). A szabadba kitett faanyagok esetében a napsugárzás mellett a csapadék befolyásolja még nagymértékben a faanyag degradációját (Németh 1998). Az esővíz kimossa a degradációs termékeket, és ezzel utat nyit a további rétegek fotodegradációjához, így gyorsítva fel a felületi érdekesség változását. Növeli a felület érdekességét, hogy a korai pászta erőteljesebben degradálódik, mint a késői pászta. A faanyag fotodegradációja lényegében egy felületi jelenség. A gyakorlatban nincs közvetlen hatása a fa szilárdosági tulajdonságaira, azonban komoly következményei vannak a felület változására (Derbyshire and Miller 1981).

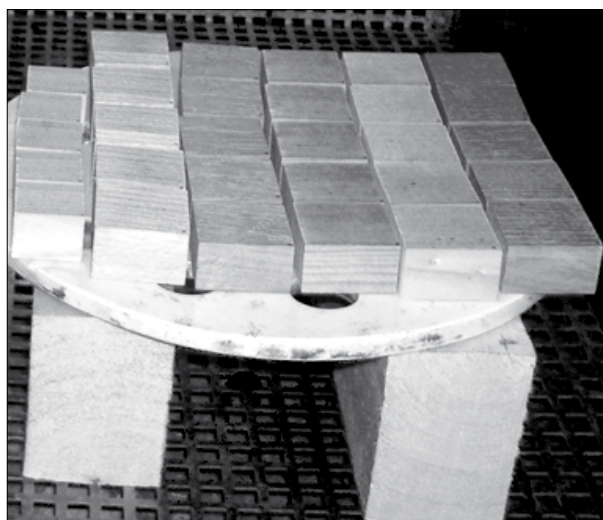
Jelen kutatás céljai:

- egy olyan mérési és kiértékelési módszer kidolgozása, ami lehetővé teszi számunkra a fotodegradáció hatásának számszerűsítését a természetes faanyag felületi struktúrájára,
- azon érdekességi paraméterek meghatározása, amelyek jól jellemzik a fotodegradáció mértékét,
- a kutatásban alkalmazott 6 fafaj sorrendjének – a fotodegradáció hatására bekövetkező érdekességnövekedés mértékének függvényében – meghatározása.

Vizsgálati anyagok és módszerek

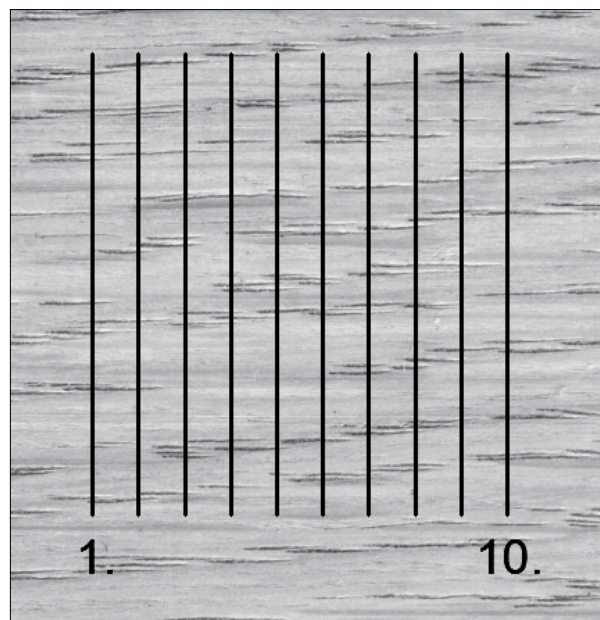
A kísérletekhez 6 fafajt választottunk ki: lucfenyő (*Picea abies* Karst.), erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.), kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea* Liebl.), akác (*Robinia pseudoacacia* L.), rezgőnyár (*Populus tremula* L.) és bükk (*Fagus sylvatica* L.). Első lépésben minden fafajból egy 2 × 4 cm keresztmetszetű lécc készült. A lécek felülete egy Royal Fx típusú gyalugéppel került kialakításra. Ez egy állókéses gyalu-

gép, a gépen a kés áll, és egy felső gumiszalag tolja az anyagot, ezáltal leválaszt egy nagyon vékony réteget a felületről. A gép segítségével nagymértékben kiszűrhető a mechanikai megmunkálásból származó érdesség, hiszen nem keletkeznek ciklois ívek, illetve az edényeket nem tömíti el por vagy forgácsdarab. Ezek után a lécekből $4 \times 4 \times 2$ cm-es hasábok készültek (1. ábra), amelyek így alkalmassá váltak a kezelések és mérések elvégzésére. Minden fajtából 5 próbatest, azaz összesen 30 próbatest készült. 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 ultraibolya (UV) tartományba esik. A fahasábok a kísérletek elején egyszer 24, majd 48, végül pedig 72 órás higanygőz lámpás kezeléseket kaptak. Az egyes besugárzási periódusok között egynapos desztillált vizes áztatással történt a kimosható degradációs termékek eltávolítása. A kezelésekk addig ismétlődtek, míg a besugárzási idő elérte a húsz napot. A besugárzó kamrában a hőmérsékletet konstans, 70°C -os értéken tartottuk. Az egyes besugárzási periódusok között a desztillált vizes áztatás előtt és után történtek meg a felület érdesség mérések, hagyományos 2D-s Perthometeres módszerrel. A vizes áztatás után a felületek nagymértékben megváltoztak (szálfelhúzóadás, dagadás), így a kapott érdességi paraméter értékek is nagymértékben eltértek az áztatás előtti értékektől, emiatt ezek a mérési eredmények nem kerültek kiértékelésre. Minden mintatesten 10 párhuzamos vonal menti mérés történt, mely vonalak közti tá-



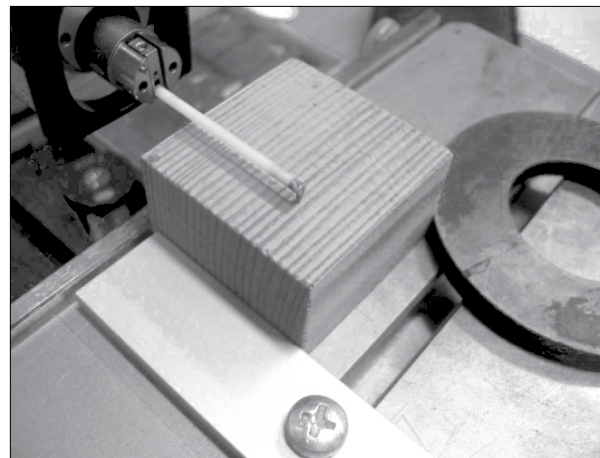
1. ábra Mintatestek
Figure 1 Test specimens

volság $0,5$ mm volt (2. ábra). Az egyes kezelések után mindig ugyanazon vonalak mentén történt az érdességmérés. Ennek feltétele a mintatestek pontos pozícionálása volt, ami a műszerhez tartozó raszterasztal segítségével valósult meg. Minden mérés után 11 érdességi paraméter értékéről kaptunk információt a Curve Cutter nevű program segítségével. A programot a Nyugat-magyarországi Egyetemen Faipari Mérnöki Karán fejlesztették ki és kifejezetten a természetes faanyagok felületén mért érdességi profilok kiértékelésére szolgál. A program segítségével elkészíthetők a mért érdességi profilokból az anyagtartalom görbék, illetve az anyagtartalom görbéből meghatározható érdességi paraméterek értékei is számoltathatók. Ahhoz, hogy a mért felületi érdesség értékelhető



2. ábra Mérési vonalak illusztrálása

Figure 2 Illustration of the measured lines



3. ábra A mérés

Figure 3 The measurement

legyen, szükség van a felületet jellemző paraméterekre. Egy adott felületet minden szempontból egyértelműen jellemző paramétert találni nem lehetséges. Emiatt az idők folyamán több érdességi paramétert is megalkottak. Ezeket a paramétereket szabványokban határozták meg az azonos értelmezés és használat érdekében. A felületi érdesség méréseknél – figyelembevéve a felület megmunkálás egyenletességét – a profilszűrés torzító hatásainak elkerülése érdekében, nagy többségben a szűretlen P profilból határoztuk meg az érdességi paramétereket. Ezeket az érdességi paramétereket „P” betűvel jelöltük, és az R érdességi szabványos jellemzőkkel azonos módon indexáltuk. A hullámossági jellemzőket, az Abbott-görbe jellemzőket és jelöléseket a szabványelőírásoknak megfelelően határoztuk meg.

Az értékeléshez feltétlenül szükséges érdességi paraméterek jelentése:

P_a – a profil pontjainak a középvonaltól mért átlagos távolsága,

P_z – az egyes mintavételezési hosszakon kapott legnagyobb profilmagasságok számtani közepe:

$$P_z = \frac{Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + Z5}{5} \quad [1]$$

ahol a $Z1, Z2, Z3, Z4$ és $Z5$ az egyes mintavételezési hosszakon kapott legnagyobb profilmagasságok.

Jelölések a 4-es ábrához

P_{max} – maximális érdesség a mintavételezési hosszakon. A legmagasabb profilcsúcs és profilmélység összege a vizsgált szakaszon belül,

P_t – maximális profilmagasság az értékelési hosszakon. A legmagasabb profilcsúcs és profilmélység összege a vizsgált szakaszon belül.

A különbség a P_t és a P_{max} között, hogy a P_t , a teljes profil legnagyobb eltérése, míg a P_{max} csak az egyes mintavételezési hosszak közül a legnagyobb eltéréssel rendelkező szakasz maximális profilmagassága. Abban az esetben, ha a legmagasabb és legalacsonyabb pont ugyanabban a részszakaszban található, a kettő megegyezik, de ez ritka.

Jelölések az 5-ös ábrához

P_k – magprofil magassága. A magprofilon az érdesség profil azon részét értjük, amely a legmagasabb csúcsokat és a legmélyebb völgyeket már nem tartalmazza.

Mr_1 – anyagtartalmi pont. Az a pont az anyagtartalmi görbén, amely felett lévő csúcsokat nem vesszük figyelembe.

Mr_2 – anyagtartalmi pont. Az a pont az anyagtartalmi görbén, amely alatt lévő völgyeket nem vesszük figyelembe.

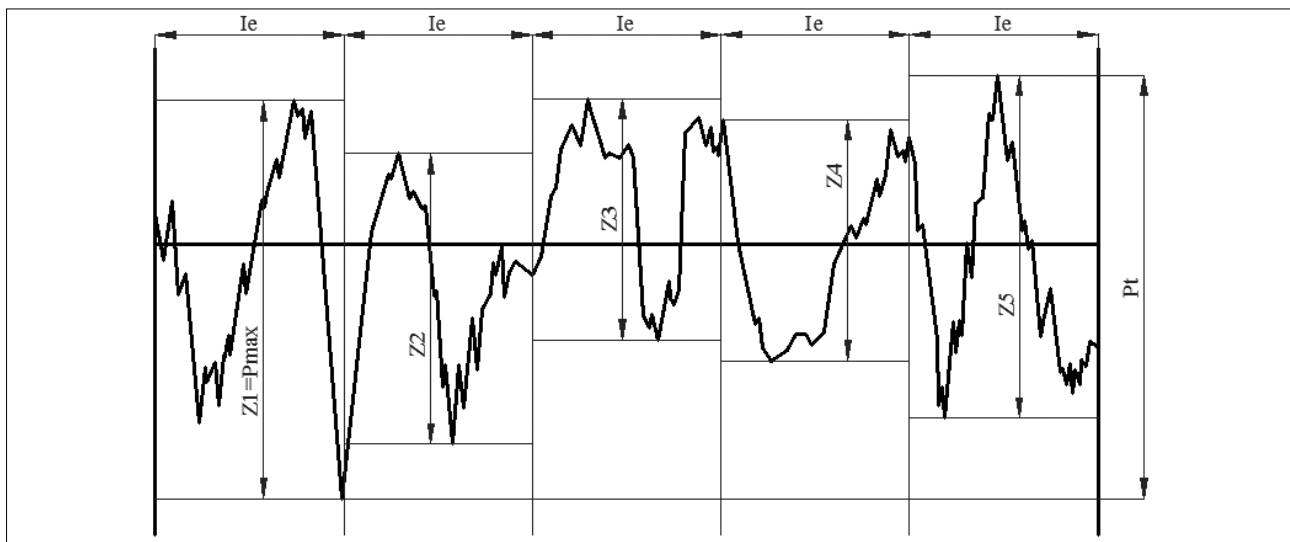
P_{pk} – redukált csúcsmagasság

P_{vk} – redukált völgymélység.

Ezen paraméterek segítségével jól jellemezhetőek a mért felületek.

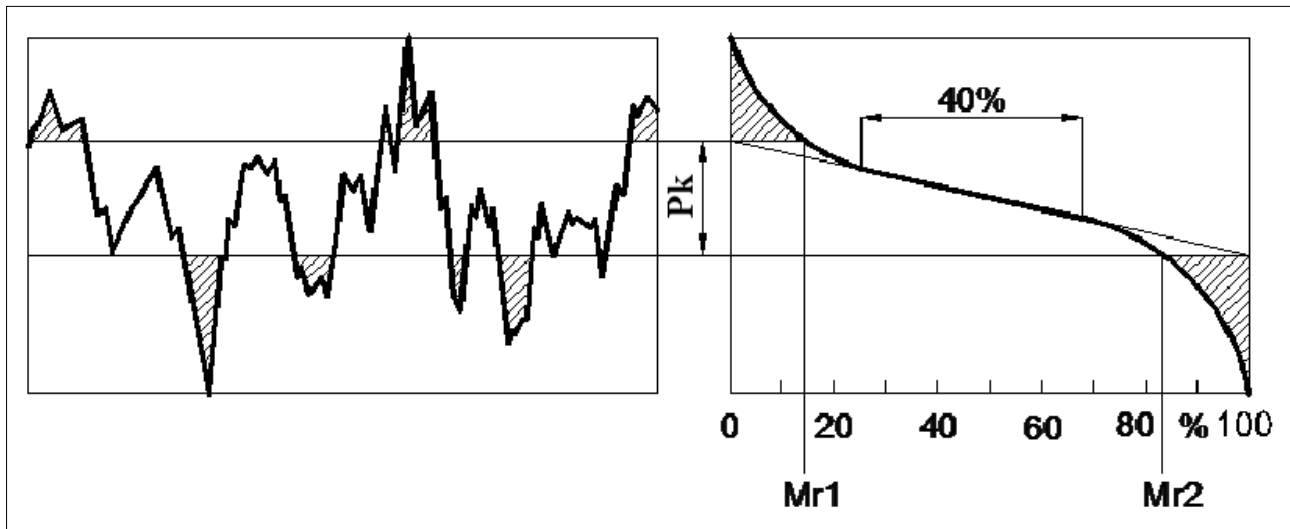
Eredmények és kiértékelés

A mérések elvégzése után egy olyan kiértékelési eljárás kidolgozására került sor, ami lehetővé tette számunkra a fotodegradációnak a természetes faanyag felületi struktúrájára gyakorolt hatásának számszerűsítését. Ennek megfelelően a mért profilból nem került szétválasztásra az érdességi, illetve hullámossági profil, hiszen ebben az esetben a különböző szűrés eljárások miatt a kapott eredmé-



4. ábra A mintavételezési hosszakon kapott legnagyobb profilmagasságok (MSZ EN ISO 4287)

Figure 4 The maximum section heights within the sampling sites (MSZ EN ISO 4287)

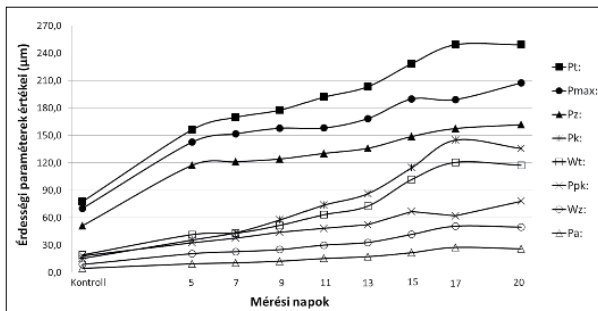


5. ábra Anyagtartalom görbe (MSZ EN ISO 13565-2)

Figure 5 Abbott curve (MSZ EN ISO 13565-2)

nyek nem lennének összehasonlíthatóak. A kapott 11 érdességi paraméter értékei – adott kezelés után, adott próbatesten – a 10 mérés átlagából kerültek meghatározásra. Ezeket az értékeket próbatestenként egy grafikonon ábrázolva, láthatóvá válik az érdességváltozás. Így összesen 30 grafikon (6 fajfaj és fajfajonként 5 próbatest) készült el. Mivel a próbatestek felülete fajfajon belül is nagyon eltérő, így a kapott eredmények csak próbatestenként külön ábrázolhatók. Terjedelmi korlátok miatt minden fajfajból csak egy-egy grafikonot mutatunk be, de a tendencia és a változás mértéke fajfajonként minden próbatesten megegyezik (6–11. ábra). A grafikonokon, a kapott 11 érdességi paraméterből – a jobb átláthatóság érdekében – csak az a 8 legjellemzőbb kerül bemutatásra, amelyek változása a szorosabb korrelációval követi a kezelések hatására bekövetkező érdességnövekedést.

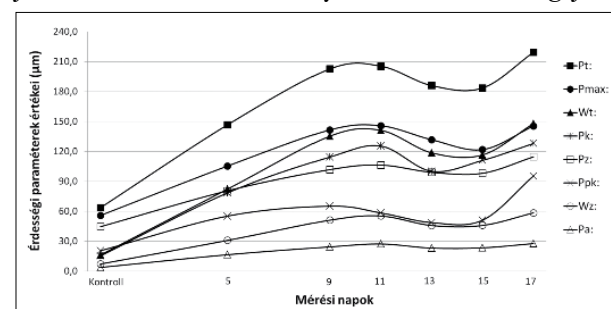
Minden mintatesten a kezelések hatására nőttek a paraméterek értékei, ami arra enged következtetni,



6. ábra Az akác érdességi paraméterek értékeinek változása a besugárzási idő függvényében

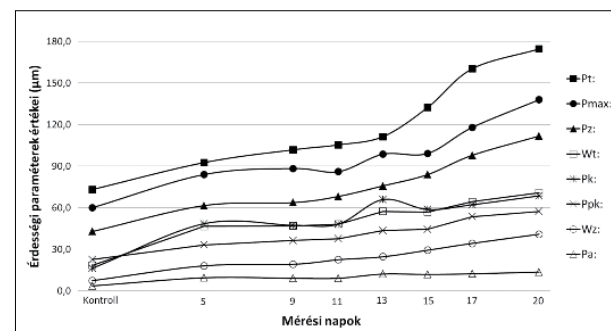
Figure 6 Irradiation time dependence of the roughness parameters for black locust

hogy növekedett a felületi érdesség. A felület egyre barázdáltabbá válik, és az erre legérzékenyebben reagáló három felületi érdesség paraméter, a P_z , a P_{max} és a P_t változása a legerősebb a vizsgált paraméterek közül. Így megállapítható, hogy a három paraméter a természetes faanyag fotodegradációjának a legjobb indikátora a szabványos felületi érdesség jel-



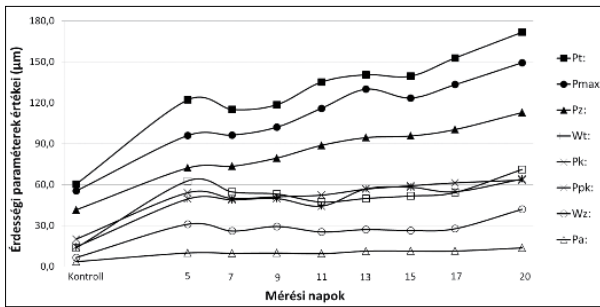
7. ábra A bükk érdességi paraméterek értékeinek változása a besugárzási idő függvényében

Figure 7 Irradiation time dependence of the roughness parameters for beech



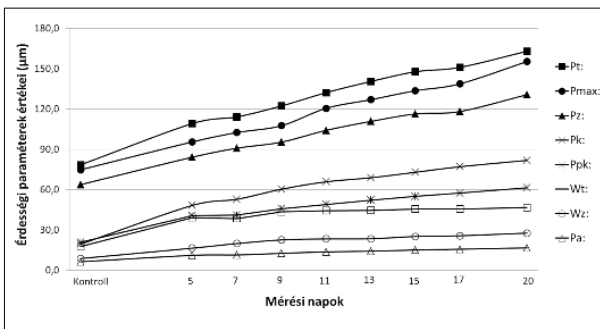
8. ábra Az erdeifenyő érdességi paraméterek értékeinek változása a besugárzási idő függvényében

Figure 8 Irradiation time dependence of the roughness parameters for fir



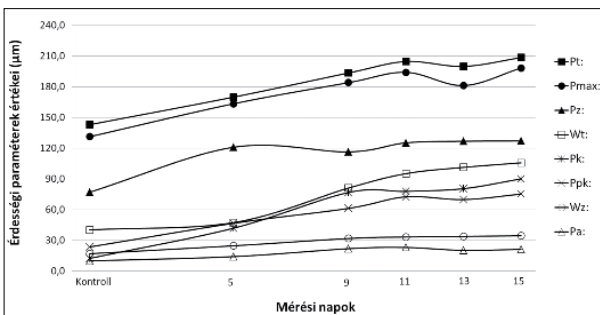
9. ábra A lucfenyő érdességi paraméterek értékeinek változása a besugárzási idő függvényében

Figure 9 Irradiation time dependence of the roughness parameters for spruce



10. ábra A nyár érdességi paraméterek értékeinek változása a besugárzási idő függvényében

Figure 10 Irradiation time dependence of the roughness parameters for poplar



11. ábra A tölgy érdességi paraméterek értékeinek változása a besugárzási idő függvényében

Figure 11 Irradiation time dependence of the roughness parameters for oak

lemzők közül. Legcsekélyebb változás az értékekben a P_a érdességi paraméter értékeiben figyelhető meg, de e paraméter esetében is folyamatos növekedés tapasztalható. Az UV-kezelés és a vizes áztatás folyamatos váltogatásának hatására, a mintatestek felületén repedések jelentek meg, míg egyes próbatestek teljesen kettérepedtek. A repedések alapvetően befolyásolják a felületi struktúráját, ezen keresztül a felületi paramétereket is. A kiértékelő szoftver segítségével ezek a repedések kiszűrhetők a mért profilból, és így a szűrés utáni profilokból a para-

méterek értékei meghatározhatók. A 6–11. ábrán látható grafikonokon tölgy és bükk fafajok esetén az utolsó adatok a 17. napon kapott értékek. Ennek oka, hogy az öt mintatestből egy sem maradt a húsz nap végére, amelyből adatokat nyerhettünk volna. A próbatestek felületén olyan mély repedések keletkeztek, hogy a mérőműszer nem volt képes értékelni a kapott adatokat (12. ábra)

A repedések mélységének és mennyiségének megjelenése fafajonként változó volt. A vizsgált fafajokból e szempont szerint a következő sorrend határozható meg: a legkevesebb repedés a nyár próbatesteken tapasztalható. Ezt követi a luc- és erdeifenyő, és az akác. A legnagyobb és legtöbb repedés pedig tölgy és bükk faanyagok esetén jelentek meg. A fotodegradáció hatására bekövetkező érdességnövekedés is változó volt fafajonként. Ez a következtetés a P_z , a P_{max} és a P_t érdességi paraméterek értékeinek időbeni változása alapján vonható le. A mért eredményekből kiderül, hogy a kezelés végére, a kezdetben mért állapothoz képest hányszorosára változott a paraméterek értéke. A húsznapos kezeléssorozat hatására tölgy és nyár fafajok esetében kétszeresére növekedtek a paraméterek értékei a kezdeti állapothoz képest. Luc- és erdeifenyő esetén ez az érték 2,5 volt, akácánál 3, míg bükknél 3,5. Ebből a szempontból tehát a következő sorrend határozható meg: nyár, tölgy, lucfenyő, erdeifenyő, akác, bükk. A vizsgálati eredményeket alapvetően befolyásolták a kialakuló felületi repedések, ezért vizsgálatainkat a repedések kialakulásának analízisével, illetve a felületi struktúra repedés nélküli vizsgálatával, és a felületi stabilitás mérési eljárásának kidolgozásával kívánjuk folytatni.



12. ábra A lucfenyő érdességi paraméterek értékeinek változása a besugárzási idő függvényében

Figure 12 Irradiation time dependence of the roughness parameters for spruce



Következtetések

Kutatásunk során a fotodegradáció hatására bekövetkező felületérdességet vizsgáltuk. Hat fajtából kapott mérési eredmények alapján a következő következtetések vonhatók le:

- A P profilból számított felületi érdesség paraméterek fajtától függetlenül összehasonlíthatóvá tették az UV-sugárzás hatására bekövetkező természetes faanyag felületi elváltozásának mértékét.
- Természetes faanyag esetén a fotodegradáció mértékének legjobb indikátorai a Pz, a Pmax és a Pt felületi jellemzők.
- Az UV-kezelés hatására a lucfenyő és a nyár próbatestek felületén nem jelentek meg felületi repedések. A repedések mélységének és megnyitottságának megjelenése fajonként változó. A vizsgált fajtákból e szempont szerint a következő sorrend határozható meg: nyár, lucfenyő, erdeifenyő, akác, tölgy, bükk.
- A fotodegradáció hatására bekövetkező érdességnövekedés fajonként változó. Ebből a szempontból a következő emelkedő sorrend határozható meg: nyár, tölgy, lucfenyő, erdeifenyő, akác, bükk.
- A repedések alapvetően befolyásolják a felületi struktúráját, ezen keresztül a felületi paramétereket, így a fajták között, a fotodegradáció hatásának befolyását jellemző sorrendet is. A repedezés okának feltárása további vizsgálatokat igényel.

Irodalomjegyzék

Derbyshire H., Miller E. R. (1981) The photodegradation of wood during solar irradiation, *Holz als Roh- und Werkstoff*, 39 (8): 341-350

Evans P. D., Thay P. D., Schmalzl K. J. (1996) Degradation of wood surfaces during natural

weathering: effects on lignin and cellulose and on the adhesion of acrylic latex primers, *Wood Science and Technology*, 30 (6): 411-422

Kamdem D. P., Grelier S. (2002) Surface roughness and color change of copper amine and UV absorber-treated red maple (*Acer rubrum*) exposed to artificial ultraviolet light, *Holzforschung* 56

Magoss E. (2008) General Regularities of the Wood Surface Roughness, *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica* 4: 81-93.

Németh K. (1998) A faanyag degradációja, *Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest*, 35-46 o., 53-58 o.

Németh K. (1997) Faanyagkémia, *Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest* 81-106 o.

Tolvaj L. (2005) Lombos fajták gőzöléssel történő faanyagramesítése és a faanyagok fotodegradációjának vizsgálata, *MTA doktori értekezés* 2005

Williams R. S., Knaebe M. T., Sotos P. G., Feist W. C. (2001) Erosion Rates of Wood During Natural Weathering. Part I. Effects of Grain Angle and Surface Texture, *Wood and Fiber Science*, 33: 31-42

MSZ EN ISO 13565-2:1996 Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Profile method; Surfaces having stratified functional properties – Part 2: Height characterization using the linear material ratio curve

MSZ EN ISO 4287:1998 Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Terms, definitions and surface texture parameters