

A hőmérséklet hatása a faanyag fotodegradációjára: Színváltozás*

PERSZE László¹

¹ NymE FMK, PhD-hallgató

Kivonat

A vizsgálat célja a megemelt hőmérséklet hatásának tanulmányozása volt a faanyag fotodegradációja esetén. A kutatásnál a degradációs folyamat színváltoztató hatását vizsgáltuk. A próbatesteket higanygőz lámpával világítottuk meg 80°C-on és 30°C-on, hogy meghatározzuk a fotodegradáció során bekövetkező termikus változásokat. Kimutattuk, hogy ugyanaz a fénybesugárzás 80°C-on lényegesen nagyobb vörös színeltolódást okoz, mint 30°C-on. Az eredmények azt mutatták, hogy a faanyag extraktanyag tartalma fontos szerepet játszik a fotodegradáció során bekövetkező termikus degradációban. A sárga színezet kétféle változást is mutatott. A fotodegradáció a sárga színezet növekedését okozta, míg a termikus hatás a sárga színkoordináta csökkenését produkálta. A fotodegradáció hatása a sárga színezet változására mindegyik fafajnál nagyobb volt, mint a termikus degradációé.

Kulcsszavak: fotodegradáció, ultraibolya fény, termikus degradáció, színváltozás

The temperature effect of photodegradation for wood: Colour change

Abstract

The purpose of this investigation was to evaluate the effect of elevated temperature on the photodegradation of solid wood. The work presented here, deals with the changes of colour during the degradation process. Wood samples were irradiated by mercury vapour lamp at 80°C and at 30°C to screen out the effect of thermal decomposition during photodegradation. Results demonstrated that the same light irradiation resulted in considerably greater redness increase at 80°C than at 30°C. Results indicated that the extractive content has an important role in thermal degradation during photodegradation. The yellowness produced two different types of change. The photodegradation made increase of yellowing but the thermal effect made the decrease of yellow colour coordinate. The effect of photodegradation was more pronounced in all cases than the effect of thermal degradation according to the yellowness.

Key words: photodegradation, ultraviolet light, thermal degradation, colour change

*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.



Bevezetés

A fából készült termékeknél a szín a termék egyik legfontosabb paramétere. Ez a szín változik a termék élete során. A legnagyobb változást az ultraviolet (UV) sugárzás okozza (Tolvaj 1994/a, Tolvaj and Faix 1995, Andrady et al. 1998, Müller et al. 2003, Tolvaj and Mitsui 2005). A lignin degradációs termékei a felület színét a sárga felé tolják el. A szabadba kitett faanyagok esetében a napsugárzás mellett a csapadéknak és szélnek van még jelentős szerepe a faanyag degradációjánál. Az esővíz kimossa a degradációs termékeket, és ezzel utat nyit a további rétegek fotodegradációjához (Tolvaj and Papp 1999). Tartós kitettség esetén a faanyag elszürkül, elveszíti az egyedi, kellemes színárnyalatát. Beltérben a faanyag színe megváltozik az öregedés során, a felszín erózióját a használat intenzitása határozza meg. A felszín sötétedik és barnul (Persze 2011, Persze és Tolvaj 2012). A legsérülékenyebbnek a fenyőfélék és a kőris színét találták.

A színváltozás mérését az utóbbi két évtizedben kezdték alkalmazni a fotodegradáció vizsgálatánál (Taneda et al. 1989, Tolvaj 1994/b, Tolvaj és Faix 1995, Chang és Chang 2001, Ayady et al. 2003, Hansmann et al. 2006, Oltean et al. 2008, 2010, Wang és Ren 2008, Sharratt et al. 2009, Tolvaj és Mitsui 2010). A színváltozás egy nagyon érzékeny indikátor, amely már rövid idejű fénybesugárzásnál is mutat eltéréseket, különösen azoknál a faanyagoknál, melyeknek magas az extraktanyag tartalma. A vizsgálatok többségénél a teljes színváltozást határozták meg, mely egy értéknek tartalmazza a világosság, a sárga és a vörös színezet együttes változását (Chang és Chang 2001, Müller et al. 2003, Ayadi et al. 2003, Oltean et al. 2008). Nem szerencsés a változásoknak ez a fajta interpretálása. Az egyes színkoordináták változásának elemzése sokkal több információt adhat, mint a három színkoordinátából meghatározott egyetlen adat.

Tolvaj és Faix (1995) három tülevelű és két lombos fafaj fotodegradációs tulajdonságait vizsgálta 200 órás higanygőz lámpás besugárzásnál. Gyors színváltozást tapasztaltak a kezelés első 50 órájában, majd a változás lelassult. A 200 órás kezelés által okozott színváltozásnak a fele az első 50 órában történt. Intenzív és folyamatos sárgulást tapasztaltak, mely kismértékű vörös irányú színeltolódással párosult. Hasonló eredményeket kaptak Sharratt et al. (2009) lucfenyő xenonlámpás besugárzásánál. George et al. (2005) vancouveri jege-

nyefenyő színváltozását vizsgálták kis teljesítményű (2 mW/cm^2) higanygőz lámpás besugárzásnál. Azt találták, hogy a vörös és a sárga színezet egyaránt, kis mértékben csökkent a kezelés első néhány órájában, melyet intenzív színezetváltozás követett. Wang és Ren (2008) a mosó bambusz fotodegradációs színváltozását hasonlította össze egy puha- és egy keménylombos trópusi fafaj tulajdonságaival. Megállapították, hogy a bambusz színe kevésbé változott, mint a másik két fafajé. Schnabel et al. (2009) egy évre, a szabadba kitett jegefenyő és vörösfenyő mintákat vizsgált. A jegefenyő sokkal gyorsabban elszürkült, mint a vörösfenyő. A kezelés végén viszont már csak kis különbség mutatkozott.

Az egyes faanyagok nem egyformán változtatják a színüket. Oltean et al. (2008) 16 fafaj színváltozását vizsgálta mesterséges, beltéri fénybesugárzás mellett. A tölgy mutatta a legkisebb színváltozást, míg a luc a legnagyobbat. Egy újabb munkában két nyár klón és az akác fotodegradációs színváltozását hasonlították össze (Oltean et al. 2010) ablaküveg mögötti napfény imitáció esetében. Megállapították, hogy a nyár klónok gesztje és szijácsa esetében alig történt vörös irányú színeltolódás a kezelés első 12 órájában. Ezzel szemben az akác elszenvedte a 96 órás kezelésre eső vörös színeltolódás döntő részét az első 12 órában.

Az extraktanyagok jelenléte meghatározó szerepet játszik az egyes faanyagok színének kialakításában. Néhány munkában vizsgálták az extraktanyagok hatását a faanyagok fotodegradációjánál (Németh et al. 1992, Zakri et al. 2007, Chang et al. 2010). Mindegyik vizsgálat arra az eredményre jutott, hogy a kellő mennyiségben jelen lévő extraktanyagok védik a lignint a degradáló UV-sugárzással szemben. A mesterséges fényforrásokkal történő besugárzásnál lényegesen eltérő hatások jelentkeznek attól függően, hogy a fényforrás milyen mértékben, és mely hullámhosszakon sugároz az UV-tartományban. Tolvaj és Mitsui (2005) xenonlámpa, higanygőz lámpa és direkt napsugárzás színváltoztató hatását hasonlította össze. Megállapították, hogy a higanygőz lámpás kezelés mindegyik színkoordináta esetében lényegesen nagyobb változást okozott, mint a másik két kezelés. A széles hullámhossz tartományban fényt kibocsátó fényforrások fotonjai sokféle kémiai változást képesek létrehozni a faanyag felszínén.

A változásokat előidéző paraméterek minimalizálása érdekében az utóbbi években egyetlen hul-

lámhosszon kibocsátó lézerek alkalmazását kezdték el a fotodegradáció okozta kémiai változások felderítésére (Barta et al. 1998, 1999, Papp et al. 2004, 2005, Mitsui et al 2005, Pandey és Vuorinen 2008). A lézer alkalmazása ígéretes technika a fotodegradáció jelenségének részletes feltárására, de az általuk okozott színváltozás vizsgálatára nem találtunk adatokat a szakirodalomban.

A hőmérséklet-befolyásoló hatását a fotodegradációs változásokra még alig vizsgálták, pedig a felszín hőmérséklete a napsugárzás hatására megemelkedik, különösen sötét tónusú faanyagok esetében. Mitsui és Tsuchikawa (2005) -40°C -on végzett fénybesugárzást és azt észlelte, hogy ezen az alacsony hőmérsékleten a fotodegradációs változások, így a színváltozás is, lényegesen kisebbek voltak, mint szobahőmérsékleten.

Jelen vizsgálatok célja volt, hogy feltárjuk a megemelt hőmérséklet hatását a fotodegradációs színváltozás során. Ennek érdekében 80°C és 30°C hőmérsékleten ugyanazon higanygőz lámpával végeztük a besugárzást.

Vizsgálati anyagok és módszerek

A vizsgálatokba bevont fafajok közül az alábbiaknak a színváltozási adatait mutatjuk be részletesen: erdei fenyő szijács (*Pinus sylvestris* L.), lucfenyő (*Picea abies* Mill.), juhar (*Acer pseudoplatanus* L.), kőris (*Fraxinus excelsior* L.), nyár (*P. x euramericana* cv. *Pannonia*) és a kocsánytalan tölgy szijács (*Quercus petraea* L.). A fenyő minták felszíne világos korai pászttát és sötét késői pászttát egyaránt tartalmazott (sugárirányú metszet), így a mért színkoordináták a korai és a késői pászta színének átlagát adták.

A fényvel történt besugárzást egy szabályozható hőmérsékletű klímakamrában végeztük el. Fényforrásként két higanygőz lámpát használtunk. A két lámpa együttes elektromos teljesítményfelvétele 800 Watt volt, és a minták 64 centiméterre helyezkedtek el a fényforrásoktól. A fénysugárzás teljesítmény sűrűsége a minták felületén $75,7\text{ W/m}^2$ volt a kezelés során. A higanygőz lámpa emissziójának 80% -a az ultraibolya (UV) tartományba esik. A kamra hőmérsékletét 80°C -on stabilizáltuk. Azért választottuk ezt a hőmérsékletet, mert a fotodegradáció egyedi hatása mellett a megemelt hőmérséklet és a fotodegradáció kombinált hatását is számításba kívántuk venni. Így kívántuk felgyorsítva imitálni azt a lassú színváltozást, amely a bútorok esetében megtörténik az évek során. A vizsgálatokhoz fafajonként $20\text{-}20$ légszáraz minta-

darabot készítettünk $100\times 30\times 10\text{ (mm}^3\text{)}$ méretekkel. Kontrollként elvégeztük a fénybesugárzásos vizsgálatokat 30°C hőmérsékleten is, a többi paramétert változatlanul hagyva. A kamra hőmérsékletének 30°C -on tartásához állandó légkeverést végeztünk a kamrában, és intenzív légcserét valósítottunk meg a kamra és a laboratórium légtere között. A besugárzások és a színmérések közötti időben a próbatesteket teljes sötétben tároltuk. Végeztünk kezeléseket 80°C hőmérsékleten, teljes sötétben (ugyanabban a kamrában, ahol a fénybesugárzás történt), hogy meghatározzuk a megemelt hőmérséklet színváltoztató hatását.

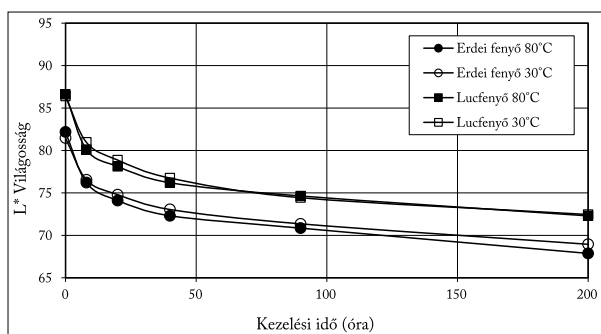
A színváltozást egy Konica-Minolta 2600d típusú színmérő készülékkel követtük nyomon. A színmértést a kezelési idő megszakításával, $0; 8; 20; 40; 90$ és 200 órás kezelés után végeztük el, mindkét besugárzás esetén. Próbatestenként 10 ponton végeztünk mérést, így az eredményeink 200 mérési adat átlagaként adódtak. Az adatokat a CIE $L^*a^*b^*$ színkoordináta rendszerben adtuk meg. A mérési eredmények a D65 fényforrásra vonatkoznak, 8 mm átmérőjű megvilágított felület esetén, 10°C -os megfigyelés mellett.

A vizsgálati eredmények értékelése

A minták színének szabad szemmel történő megfigyelése során megállapítottuk, hogy a kétféle kezelés (30°C -os és 80°C -os) nem okozott szembevető világosság változásbeli eltérést. Észrevehető volt viszont, hogy a magasabb hőmérséklet erőteljesebb barna irányú színeltolódást okozott, mint az alacsonyabb hőmérséklet. Az objektív színmérés eredményeit az egyes színkoordináták változásának bemutatásával adjuk meg.

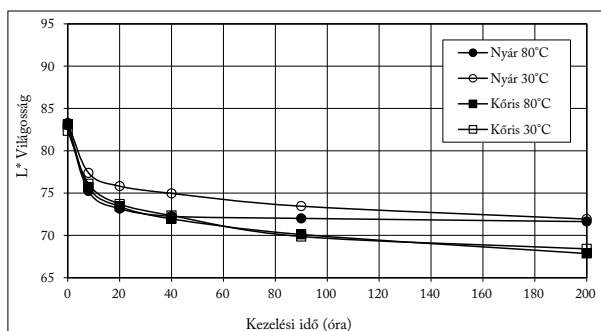
Az 1–3. ábrák a világosság változásait mutatják be. Valamennyi minta esetében intenzív világosság csökkenést tapasztaltunk a kezelés első 8 órájában. Ezt követően a változás lelassult, és 40 óra elteltével a világosság változása enyhe, lineáris csökkenésbe ment át. A két fenyő mintánál alig volt eltérés a kétféle hőmérsékleten végzett kezelés hatása között, de az eltéréseknél mindig a 80°C -os kezelés okozott nagyobb világosság csökkenést (1. ábra). A lombhullató fafajoknál már nagyobb hatása jelentkezett a megemelt hőmérsékletnek (2–3. ábra). A nyár, a juhar és a tölgy próbatestek a kezelés teljes ideje alatt jelentősebb sötétedést szenvedtek el a 80°C -on történt fénybesugárzás hatására, mint a 30°C -os kezelés hatására. A kőris esetében nem volt számottevő eltérés a kétféle kezelés hatása között. A fentiek alapján megállapíthatjuk, hogy a megemelt

hőmérséklet hatására fafaj függően, de a szobahőmérséklet közeli hőmérsékleten történt kezeléshez képest erőteljesebb világosság csökkenés történt. Végeztünk kezeléseket 80°C hőmérsékleten, teljes sötétben, hogy meghatározzuk a megemelt hőmérséklet színváltoztató hatását. Nagyon kicsiny sötétetést tapasztaltunk a kezelés első 20 órájában, mely a továbbiakban változatlan maradt, illetve néhány fafaj esetében kismértékű világosodás történt.



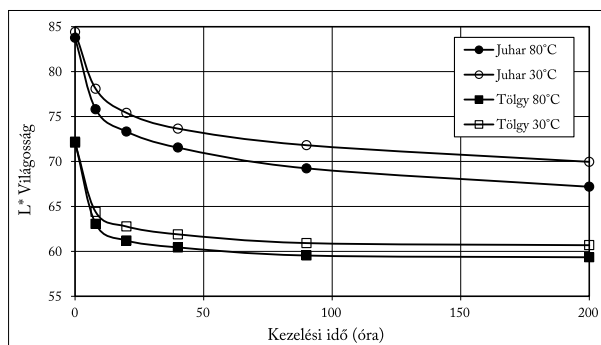
1. ábra Az erdei fenyő és a lucfenyő világosságának változása 30 és 80°C-on történt fénybesugárzás hatására

Figure 1 Lightness change of Scots pine and spruce caused by light irradiation at 30°C and 80°C



2. ábra A nyár és a kőris világosságának változása 30 és 80°C-on történt fénybesugárzás hatására

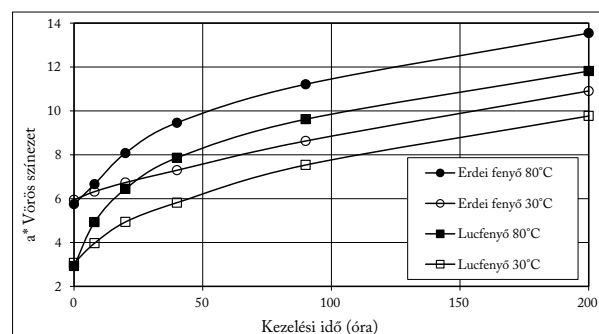
Figure 2 Lightness change of poplar and ash caused by light irradiation at 30°C and 80°C



3. ábra A juhar és a tölgy világosságának változása 30 és 80°C-on történt fénybesugárzás hatására

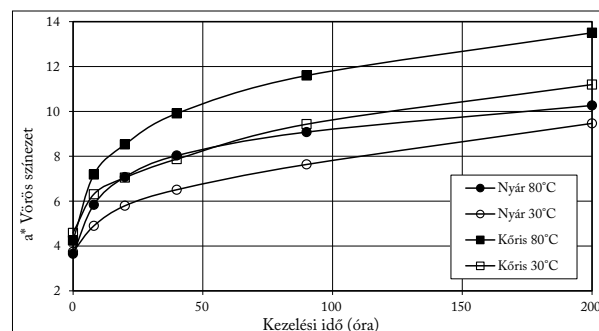
Figure 3 Lightness change of poplar and maple caused by light irradiation at 30°C and 80°C

A vörös színkoordináta változása lényegesen nagyobb eltérést mutatott a kétféle hőmérsékleten történt kezelés hatására, mint a világosság változása, és mint a későbbiekben tárgyalandó sárga színezet változása. A vörös színezet értéke folyamatosan növekedett a kezelés során valamennyi fafajnál, mindkét hőmérsékleten (4–6. ábra). A besugárzás első 8 órájában a lombhullató fajok intenzívebb változást szenvedtek, mint a tűlevelűek.



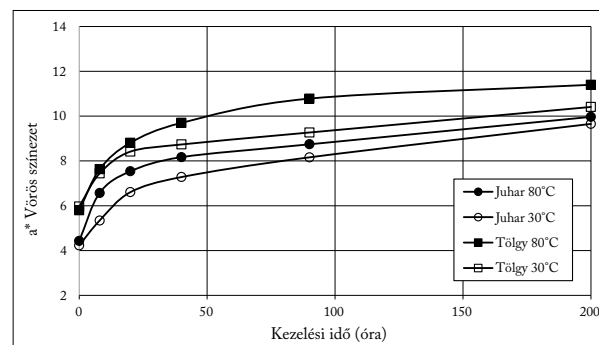
4. ábra Az erdei fenyő és a lucfenyő vörös színezetének változása 30 és 80°C-on történt fénybesugárzás hatására

Figure 4 The change of red colour co-ordinate for Scots pine and spruce caused by light irradiation at 30°C and 80°C



5. ábra A nyár és a kőris vörös színezetének változása 30 és 80°C-on történt fénybesugárzás hatására

Figure 5 The change of red colour co-ordinate for poplar and ash caused by light irradiation at 30°C and 80°C



6. ábra A juhar és a tölgy vörös színezetének változása 30 és 80°C-on történt fénybesugárzás hatására

Figure 6 The change of red colour co-ordinate for poplar and maple caused by light irradiation at 30°C and 80°C

Ez a trend a kezelés végére megfordult, mert a túlevelű fajok a kezelés során végig szinte egyenes vörös irányú színeltolódást mutattak. A lucfenyő és az erdefenyő vörös színezete szinte lineárisan növekedett a 30°C-on történt besugárzás hatására. Ezzel szemben a lombhullató fajoknál a kezdeti intenzív változás később lelassult. A 80°C-os besugárzás lényegesen nagyobb vörös színkoordináta változást okozott, mint a 30°C-os besugárzás, valamennyi fafajnál. A sötétben történt 80°C-os kezelés nem okozott számottevő színezetváltozást. Ez a tény azt mutatja, hogy a 80°C-on történt besugárzás hatására létrejött vörös színezetváltozás nem csupán a termikus hatás és a fényhatás egyszerű összeadódása. Az eredmények azt mutatják, hogy a megemelt hőmérséklet megkönnyíti a fotonok számára a kémiai kötések felszakítását. Az erdei fenyő minták mutatták a legnagyobb eltérést a kétféle kezelés hatásában. Esetükben a vörös színezet változása 57%-kal nagyobb volt a 80°C-os kezelésnél, mint a 30°C-os kezelésnél. Ugyanezek az adatok kőrisre, lucfenyőre, tölgyre, nyárra és juharra rendre 40%, 33%, 26%, 15% és 2% volt.

A faanyagban a kromofor, konjugált kettős kötések (színképző csoportok) a ligninben és az extraktanyagokban találhatóak. A lignin fotodegradációját követő oxidációs folyamat eredményeként elsősorban sárga irányú színeltolódás következik be. Ez a folyamat okozza a lignintartalmú papír sárgulását (Heitner, 1993). Az extraktanyagokban sokféle kromofor csoport előfordul. A vörös irányú színváltozásokat elsősorban az extraktanyagok degradációja okozza. Ezt támasztja alá az a tapasztalatunk is, hogy a kevés extraktanyagot tartalmazó nyár és juhar faanyag esetében volt a legkisebb a vörös színkoordináta változása a megemelt hőmérséklet és besugárzás hatására. A vörös színezet változása tekintetében hasonló eredményeket kapott Mitsui (Mitsui et al. 2001) is, amikor a fénybesugárzás után a mintákat száraz és nedves termikus kezelésnek tette ki. Azt tapasztalta, hogy a termikus kezelés nagyobb vörös színezet emelkedést okozott, ha azt megelőzte a fénybesugárzás. A nedves termikus kezelés nyolcszor nagyobb vörös színezetváltozást okozott, mint a száraz körülmények között végrehajtott. Mitsui 120°C és 160°C közötti hőmérsékleteket alkalmazott, ezért az általa mért színváltozás mértéke nem összemérhető

az általunk alkalmazott hőmérsékleten történt színváltozással, de a tendencia igen. Hasonló eredményre jutott Tolvaj (Tolvaj et al. 2010) az akácgőzölés vizsgálatakor. Kimutatták, hogy a sok extraktanyagot tartalmazó akác faanyag gőzölésénél a vörös színezet változása nagyon érzékeny az alkalmazott hőmérsékletre.

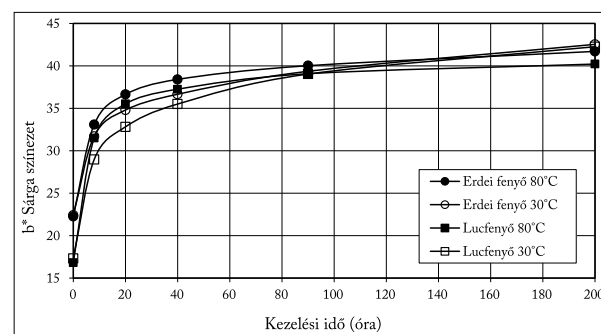
A beltérben lévő fából készült bútorok és belsőépítészeti elemek színe az évek során egyre sötétedik és barnább lesz. Ezt a változást a fotodegradáció és a termikus degradáció együttesen okozza. Mivel a termikus degradáció mértéke a hőmérséklettől exponenciálisan függ, ezért lehet ezt a szobahőmérsékleten végbemenő változást megemelt hőmérsékleten gyorsított formában vizsgálni. Meg kell jegyezni, hogy az ilyen jellegű vizsgálat (folyamatok gyorsítása) határa talán éppen a 80°C körüli hőmérsékleten lehet, mert felette már a degradáció minőségében is változás következik be, nem csak a sebességében. Éppen ez volt a célunk a 80°C-on végrehajtott fénybesugárzás megvalósításával. Ha a hőmérsékletet egyre csökkentjük, akkor a fentiek alapján a vörös színezet változásának egyre kisebbnek kell lennie. Ezt vizsgálta Mitsui és Tsuchikawa (2005) 50°C és -40°C között végzett fénybesugárzás esetében. Azt tapasztalták, hogy -40°C-on alig történt színváltozás. Ahogy emelték a hőmérsékletet, egyre nagyobb lett a vörös színezet változása. A gyors növekedést érzékelteti, hogy 20 és 50°C között háromszor akkora volt a vörös színezet változása, mint -40 és 20°C között. Ezek az eredmények is azt mutatják, hogy a megemelt hőmérséklet hatása elsősorban a vörös színkoordináta megváltoztatásában jelentkezik.

A fotodegradáció elsősorban a faanyag színének sárga irányú eltolódását okozza. Ezt a színváltozást a lignin degradációját követő oxidációs folyamatok során létrejövő kromofor csoportok produkálják. Ezért a fotodegradáció során létrejövő sárga színezetváltozás tekintetében nem szokott lényeges eltérés mutatkozni a fafajok között. Ezt igazolják a jelen vizsgálatok eredményei is. A lényegi változások tekintetében a vizsgált fafajok azonos jellegű sárga színezetváltozást mutatnak (7–9. ábra). Valamennyi vizsgált minta intenzív sárgulást mutatott a kezelés első 8 órájában. Ez az intenzív változás fokozatosan lassult az elkövetkező 32 órában, majd a sárga színezet változása lineárisan, enyhén növekvő tendenciát

vett fel. A fent leírtak egyformán igazak mindkét hőmérsékleten lejátszódott változásokra. Ezek az eredmények jól egyeznek a szakirodalomban leírtakkal (Kawamura et al. 1996, Tolvaj és Mitsui 2005, Wang és Ren 2008). Ha összehasonlítjuk a 80°C-on és a 30°C-on létrejött változásokat, akkor már észrevehető eltérések. Azt látjuk, hogy a fenyőknél alig van eltérés a kétféle kezelés hatása között. A besugárzás elején a 80°C-on történt kezelés okoz egy kicsivel intenzívebb sárgulást, de a kezelés végére ez a trend megfordul és a 30°C-os kezelés hatása lesz nagyobb. A megfordulást az okozza, hogy a kezelés döntő részében (20 órától 200 óráig) a 30°C-on történt kezelés hatására kis mértékben intenzívebb változás történik, mint a 80°C-on történt kezelés hatására. A lombhullató fajok esetében is intenzívebb volt a sárgulás a 30°C-on történt kezelés hatására a kezelés döntő részében. Lényeges eltérés a fenyők-höz képest, hogy a besugárzás első 20 órájában a lombhullató fajok esetében 30°C-on legalább olyan mértékű (vagy nagyobb) sárgulás következett be, mint 80°C-on. Sőt a juhar és a tölgy még jelentős előnyt is szerzett az első 20 órában. A mérési eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy a 30°C-on történt fénybesugárzás intenzívebb sárgulást okozott valamennyi vizsgált faj esetében, a kezelési idő döntő részében, mint a 80°C-on történt kezelés. Az eredmények összecsengnek Mitsui (Mitsui et al. 2001) megfigyeléseivel, amikor a fénybesugárzást követő termikus kezelés hatását vizsgálta. A fénybesugárzás hatására intenzív (12 egységnyi) sárgulást tapasztalt, de a fénybesugárzást követő termikus kezelés során csupán a kezelés első néhány órájában tapasztalt (2–6 egységnyi) sárgulást.

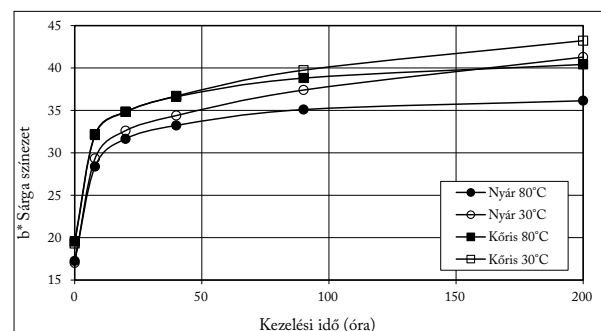
A fent leírt eltéréseket azzal magyarázhatjuk, hogy a fényhatásra bekövetkező lignindegradáció kromofor termékei nem stabilak, és az általunk alkalmazott 80°C hőmérsékleten részben elbomlanak. Ez a bomlás lehet annak az oka, hogy a faanyagok sárga színezete 30°C-on intenzívebben emelkedik, mint 80°C-on. Hasonló jelenséget figyeltek meg a faanyag gőzölésénél is (Tolvaj és Faix 1996, Tolvaj 2004/a). A 90°C-on gőzölt erdei fenyő, lucfenyő, vörösfenyő, nyár és akác minták esetében a kezelés első részében kialakult, a sárga színezetért felelős kromofor csoportok a kezelés további részében degradálódtak, számottevő sárga színezetcsökkenést

okozva. Az akác a többiekétől eltérően viselkedett, a gőzölés során a sárga színezete folyamatosan csökkent. Ez azt jelenti, hogy az akácban nagy számban jelen lévő, a sárga színezetért felelős, kromofor csoportok intenzívebben degradálódtak, mint ahogyan keletkeztek a 90°C-os hőmérsékleten. Az akác ezen különleges viselkedése miatt megvizsgáltuk, hogy hogyan változik a sárga színezete a 80°C-os és a 30°C-os hőmérsék-



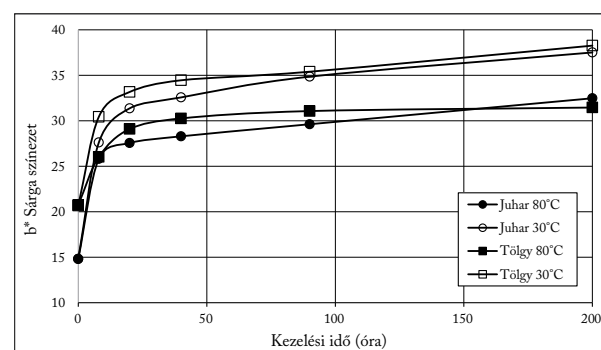
7. ábra Az erdei fenyő és a lucfenyő sárga színezetének változása 30 és 80°C-on történt fénybesugárzás hatására

Figure 7 The change of yellow colour co-ordinate for Scots pine and spruce caused by light irradiation at 30°C and 80°C



8. ábra A nyár és a kőris sárga színezetének változása 30 és 80°C-on történt fénybesugárzás hatására

Figure 8 The change of yellow colour co-ordinate for poplar and ash caused by light irradiation at 30°C and 80°C



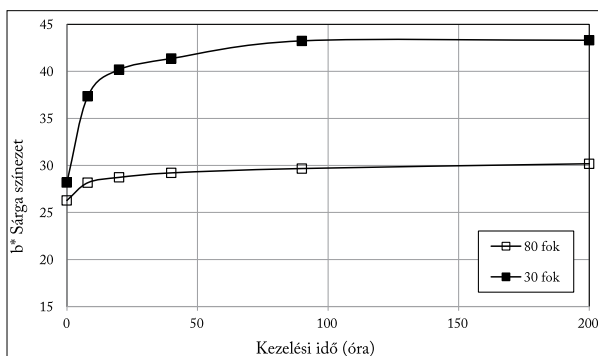
9. ábra A juhar és a tölgy sárga színezetének változása 30 és 80°C-on történt fénybesugárzás hatására

Figure 9 The change of yellow colour co-ordinate for poplar and maple caused by light irradiation at 30°C and 80°C

leten történő fénybesugárzás hatására. Az eredményeket a 10. ábrán mutatjuk be. Szembetűnő, hogy a 80°C-on történt kezelésnél, csak a kezelés elején történt kismértékű sárga színezet növekedés. Ezen a hőmérsékleten, valószínűleg az akác faanyagban eredendően meglévő kromofor kémiai csoportok már nem stabilak és részben elbomlanak. Így a kezelés során hamar egyensúlyba kerül a lignin bomlásából származó, a sárga színezetért felelős kromofor csoportok szaporodása, és a termikus hatásra lebomló kromofor csoportok fogyása. Ezzel a kettős folyamattal magyarázható az is, hogy egyedül az akác esetében áll be a sárga színezet egy konstans szintre 90 órák kezelés után.

A teljes sötétben 80°C-on végzett tiszta termikus kezelés hatására a faanyagok sárga színezete kis mértékben növekedett a kezelés első 20 órájában, majd változatlan maradt. Ez a kis változás éppen ott volt, ahol a kétféle hőmérsékleten alig volt eltérés a sárga színezet változásában. Ahol viszont nagy volt az eltérés a sárga színezet változásában a 80°C-os és a 30°C-os hőmérsékleten történt fénybesugárzás hatására, ott a tiszta termikus kezelés nem produkált észrevehető sárgulást. A fenti eredmények azt erősítik meg, hogy a 80°C-on mért fotodegradációs sárgulás nem a fotodegradációs hatás és a termikus hatás összege, hanem a megemelt hőmérséklet megsokszorozza a fotodegradációs változást. A megemelt hőmérsékletre tartozó intenzívebb hőmozgás hozzásegít a változás megindításához szükséges aktivációs energia megteremtéséhez.

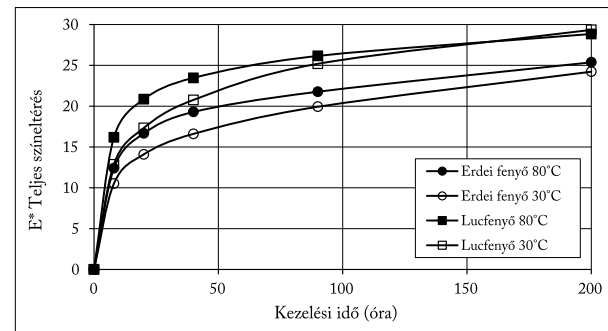
A szakirodalomban a színváltozást gyakran a teljes színváltozással szokták jellemezni, ezért meghatároztuk a teljes színváltozást is a víz-



10. ábra Az akác sárga színezetének változása 30 és 80°C-on történt fénybesugárzás hatására

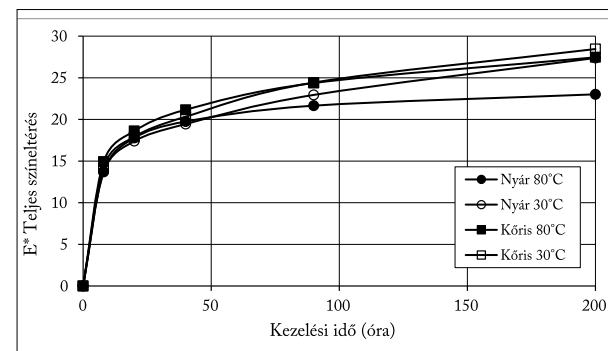
Figure 10 The change of yellow colour co-ordinate for black locust caused by light irradiation at 30°C and 80°C

gált fafajok esetében. Az eredményeket a 11–13. ábrákon mutatjuk be. A teljes színváltozást az egyes színkoordináták változásából a térbeli Pitagorasz-tétellel kapjuk meg, ezért mindhárom színkoordináta változását magába foglalja. A nagyobb változások jelentősebb szerepet kapnak a teljes színváltozás értékében. Esetünkben a sárga színkoordináta mutatta a legnagyobb változást.



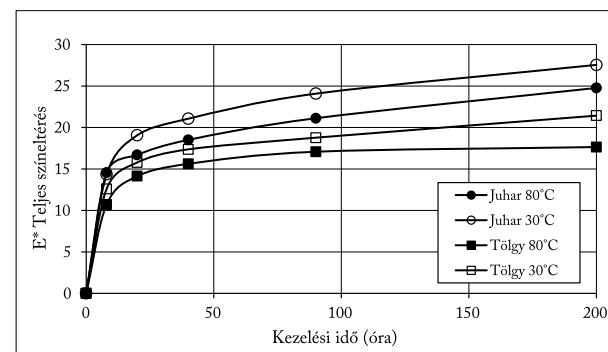
11. ábra Az erdei fenyő és a lucfenyő teljes színváltozása 30 és 80°C-on történt fénybesugárzás hatására

Figure 11 The total colour change of Scots pine and spruce caused by light irradiation at 30°C and 80°C



12. ábra A nyár és a kőris teljes színváltozása 30 és 80°C-on történt fénybesugárzás hatására

Figure 12 The total colour change of poplar and ash caused by light irradiation at 30°C and 80°C



13. ábra A juhar és a tölgy teljes színváltozása 30 és 80°C-on történt fénybesugárzás hatására

Figure 13 The total colour change of poplar and maple caused by light irradiation at 30°C and 80°C



A változás értéke 10,7 és 24,9 között volt. Ezt követte a világosság változása, melynek értéke 11,3 és 16,5 között változott. A legkisebb változást az a^* színkoordináta mutatta, mely 4,4 és 7,7 között változott. Ezért nem véletlen, hogy a teljes színváltozás görbéinek lefutása a sárga színezet görbéihez hasonlít. Nagyon intenzív változás játszódik le a kezelés első 8 órájában, melyet lassuló tendencia, majd enyhe, lineáris növekedés követ. Szinte teljesen elveszik a vörös színezetben a kétféle hőmérsékleten történő kezelés hatására jelentkező eltérés a nyár és a kőris esetében. Éppen a vörös színezet változásai kerülnek hátrányos helyzetbe, pedig ez a színkoordináta mutatta egyöntetűen mindegyik vizsgált mintánál a legnagyobb eltérést a kétféle kezelés között. Megállapíthatjuk, hogy a teljes színváltozás nem ad olyan részletes információt, mint az egyes színkoordináták külön-külön, előnye viszont, hogy a színváltozás egészét egyetlen számértékkel jellemezi.

Összefoglalás

A kutatásnál a fotodegradációs folyamat színváltoztató hatását vizsgáltuk. A próbatesteket higanygőz lámpával világítottuk meg 80°C-on és 30°C-on, hogy meghatározzuk a fotodegradáció során bekövetkező termikus változásokat. Az eredmények rámutatnak a hőmérséklet jelentőségére a faanyag fotodegradációja során. Kimutattuk, hogy ugyanaz a fénybesugárzás lényegesen nagyobb vörös színkoordináta növekedést okoz 80°C-on mint 30°C-on. Az erdei fenyő minták 80°C-on 57%-kal nagyobb vörös irányú színezetváltozást szenvedtek, mint 30°C-on. A legkevesebb extraktanyagot tartalmazó fafajok esetében volt a legkisebb vörös színezetváltozás. A szakirodalomban található eredményekre is alapozva megállapíthatjuk, hogy az extraktanyagoknak meghatározó szerepük van a vörös színezet változásában. A sárga színezet kétféle változást is mutatott. A fotodegradáció a sárga színezet növekedését okozta, míg a termikus hatás a sárga színkoordináta csökkenését produkálta. A fotodegradáció hatása a sárga színezet változására mindegyik fafajnál nagyobb volt, mint a termikus degradációé.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet szeretném kifejezni dr. Tolvaj László témavezetőmnek a kutatásaim során nyújtott segítségéért.

Irodalomjegyzék

- Andrady AL., Hamid SH., Hu X., Torikai A. (1998) Effects of increased solar ultraviolet radiation on materials. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 46:96-103
- Ayady N., Lejeune F., Charrier F., Merlin A. (2003) Color stability of heat treated wood during artificial weathering. *Holz Roh Werkstoff* 61:221-226
- Barta E., Tolvaj L., Nagy T., Szatmári S., Berkesi O., Papp G. (1998) Wood degradation caused by UV-laser of 248 nm wavelength. *Holz Roh Werkstoff* 56: 318
- Barta E., Tolvaj L., Nagy T., Szatmári S., Berkesi O., Papp G. (1999) Photodegradation of leafwood caused by 248.5 nm UV laser. *Wood Research (Drevarsky Vyskum)* 44 (1): 13-19
- Chang HT., Chang ST. (2001) Correlation between softwood discoloration induced by accelerated lightfastness testing and indoor exposure. *Polymer Degradation and Stability* 72:361-365
- George B., Suttie E., Merlin A., Deglise X. (2005) Photo-degradation and photo-stabilisation of wood (State of art). *Polymer Degradation and Stability* 88 (2): 268-274
- Hansmann C., Deka M., Wimmer R., Gindl W. (2006) Artificial weathering of wood surfaces modified by melamine formaldehyde resins. *Holz Roh Werkstoff* 64(3): 198-203
- Heitner C. (1993) Light-Induced Yellowing of Wood-Containing Papers. In: *Photochemistry of Lignocellulosic Materials*. Ed. Heitner, ACS Symposium Series; American Chemical Society: Washington, 3-25.
- Kawamura F., Ohashi H., Kawai S., Teratani F., Kai Y. (1996) Photodiscoloration of Western Hemlock (*Tsuga heterophylla*) Sapwood I. Actual conditions upon photodiscoloration of wood parts. *Mokuzai Gakkaishi* 42: 293-300.
- Mitsui K., Takada H., Sugiyama M., Hasegawa R. (2001) Changes in the Properties of Light-Irradiated Wood with Heat Treatment. Part 1. Effect of treatment Conditions on the Change in Color. *Holzforschung* 55: 601-605
- Mitsui K., Tolvaj L., Papp G., Bohus J., Szatmári S., Berkesi O. (2005) Changes in the properties of light-irradiated wood with heat treatment. Part 4. Application of laser. *Wood Research* 50 (1): 1-8.

- Mitsui K., Tsuchikawa S. (2005) Low Atmospheric Temperature Dependence on Photodegradation of Wood. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* 81: 84-88
- 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: 97-105
- Németh K., Vanó V., Faix O. (1992) The Effect of Wood Extractives on the Photodegradation of Wood. EWLP Conf. (2-4 September) Grenoble, France 191-192
- Oltean L., Teischinger A., Hansmann C. (2008) Wood surface discolouration due to simulated indoor sunlight exposure. *Holz Roh Werkstoff* 66 (1): 51-56
- Oltean L., Hansmann C., Németh R., Teischinger A. (2010) Wood surface discolouration of three hungarian hardwood species due to simulated indoor sunlight exposure. *Wood Research*. 55(1): 49-58
- Pandey KK., Vuorinen T. (2008) Comparative study of photodegradation of wood by a UV laser and a xenon light source. *Polymer Degradation and Stability* 93(12): 2138-2146
- Papp G., Preklet E., Košíková B., Barta E., Tolvaj L., Bohus J., Szatmári S., Berkesi O. (2004) Effect of UV laser radiation with different wavelengths on the spectrum of lignin extracted from hardwood materials. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 163 (1-2): 187-192
- Papp G., Barta E., Preklet E., Tolvaj L., Berkesi O., Nagy T., Szatmári S. (2005) Changes in DRIFT spectra of wood irradiated by UV laser as a function of energy. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 173 (2): 137-142
- Persze L. (2011) Magyarországi fafajok fotodegradációjának összehasonlítása: Színváltozás Faipar 59 (2-3) 35-46
- Persze L., Tolvaj L. (2012) Photodegradation of wood at elevated temperature: Colour change. *Photochemistry and Photobiology B: Biology* 108: 44-47
- Sharratt V., Hill CAS., Kint DPR. (2009) A study of early colour change due to simulated accelerated sunlight exposure in Scots pine (*Pinus sylvestris*) *Polymer Degradation and Stability* 94: 1589-1594
- Taneda K., Yata N., Ota M. (1989) The coloration of wood I. The light coloration of Beech sapwood. *Mokuzai Gakkaisi* 35 (6): 530-536
- Tolvaj L. (1994/a) A faanyag optikai tulajdonságai. In: A faipari műveletek elmélete (Szerk.: Sitkei György) Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
- Tolvaj L. (1994/b) Discoloration and deterioration of wood surface by ultraviolet light. *Wood Structure and Properties '94. Conf.* (5-9 September) Zvolen 177-182
- Tolvaj L., Faix O. (1995) Artificial Ageing of Wood Monitored by DRIFT Spectroscopy and CIE L*a*b* Color Measurements. I. Effect of UV Light. *Holzforschung* 49 (5): 397-404
- Tolvaj L., Faix O. (1996) Modification of Wood Colour by Steaming. ICWSF '96 Conference, (10-12 April) Sopron, 10-19
- Tolvaj L., Papp G. (1999) Outdoor Weathering of Impregnated and Steamed Black Locust. ICWSF '99 Conference, (14-16 July) Missenden Abbey (UK) 112-115
- Tolvaj L., Mitsui K. (2005) Light Source Dependence of the Photodegradation of Wood. *Journal of Wood Science* 51: 468-473
- Tolvaj L., Molnár S. (2006) Colour homogenisation of hardwood species by steaming. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica* 2: 105-112 (<http://aslh.nyme.hu/>)
- Tolvaj L., Mitsui K. (2010) Correlation between hue angle and lightness of light irradiated wood. *Polymer Degradation and Stability* 95 (4): 638-642
- Tolvaj L., Molnár S., Németh R., Varga D. (2010) Color modification of black locust depending on the steaming parameters. *Wood Research* 55 (2): 81-88
- Wang X. and Ren H. (2008) Comparative study of the photo-discoloration of moso bamboo (*Phillostachys pubescens* Mazel) and two wood species. *Applied Surface Science* 254: 7029-7034