

A vízgőz jelenlétének szerepe a faanyag színének 90°C-os termikus kezeléssel történő változtatásakor

TOLVAJ László¹, TAKÁTS Péter², PERSZE László¹

¹ NymE, FMK, Fizika és Elektrotechnika Intézet

² NymE, FMK, Fa- és Papíripari Technológiák Intézet

Kivonat

Termikus kezelést végeztünk száraz és nedves (100%-os páratartalom) körülmények között, 90°C-on. A következő fafajokat vizsgáltuk: akác (*Robinia pseudoacacia* L.), erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.), lucfenyő (*Picea abies* Karst), olasznyár (*Populus × euramericana* I-214) és vörösfenyő (*Larix decidua* L.). A színváltozásban és az infravörös színekben egyaránt jelentős eltérések mutatkoztak az abszolút száraz és a nedves körülmények között kezelt faanyagoknál. A vízgőz jelenlétében a változások lényegesen nagyobbak voltak, mint száraz állapotban. A víz jelenlétének tehát meghatározó szerepe van a faanyagok termikus kezelésénél. Nedves légtérben a színeképző vegyületek könnyebben hidrolizálódnak, majd oxidálódnak, kialakítva a gőzölt faanyag színét. Az akác faanyag színe nagyobb mértékben változott, mint a többi faanyagé. Az akác faanyagnak a többi faanyagtól eltérő viselkedése a magas extraktanyag-tartalmával magyarázható, ami a biotikus károsítókkal szembeni ellenálló képességének egyik záloga.

Kulcsszavak: hőkezelés, gőzölés, színváltozás, vízgőz, infravörös színek

The effect of the presence of steam on the colour change of wood during thermal treatment at 90°C

Abstract

The thermal treatments were carried out in dry and in wet (100% air humidity) conditions at 90°C. The selected wood species were: black locust (*Robinia pseudoacacia* L.), Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), spruce (*Picea abies* Karst), poplar (*Populus × euramericana* I-214) and larch (*Larix decidua* L.). There were significant differences in colour change and in the infrared spectrum comparing the effects of dry and wet treatment. The changes were much greater in presence of steam than in a dry environment. This means that the presence of steam has a determinative role during thermal treatment. The chromophore chemical groups can be hydrolysed and oxidised more easily in wet conditions than in a dry environment. These two processes modify the colour of the thermally treated wood. The colour of black locust underwent greater changes than the colour of the other wood species. The discrepant behaviour of black locust can be explained by its high extractive content, which is one of the causes of the high durability against biotic factors.

Key words: thermal treatment, steaming, colour change, steam, infrared spectrum

Bevezetés

A gőzölés színváltoztató hatásának leírásával először a magyar szakirodalomban találkozunk. Dessewffyné (1964) és kollégái a gőzölésnek az akác faanyag fizikai-mechanikai tulajdonságaira gyakorolt hatásával

foglalkoztak a Faipari Kutató Intézetben (Budapest). Laboratóriumi körülmények között, 100°C feletti hőmérsékleteken gőzölték a faanyagot és azt tapasztalták, hogy a minták 0,1-0,4 MPa gőztúlnyomás mellett fokozatosan sötétre színeződtek.



Gőzölés hatására bekövetkező színváltozás objektív mérésével először Stubenvoll (1984) munkájában találkozhatunk. Akác próbatesteket gőzölt 100°C-on, bükköt 70°C-on és 100°C-on, egy-egy mintacsoportot 6, 9, 12, 24 és 48 óráig. A színmerést Momcolor-D műszerrel végezte, és megállapította, hogy a vizsgált faanyagok egyikénél sem lépett fel számottevő telítettség és színezetváltozás, a folyamatot a világossági tényező változásával jól lehetett jellemezni.

Németh (1998) összehasonlította a faanyagok termikus hatásokra bekövetkező színváltozásait extrakt anyagok kivonása előtt és után. Megállapította, hogy a színváltozást döntően az extrakt anyagok okozzák. Oxidatív és nem oxidatív közegben elvégezve a kísérleteket azt tapasztalta, hogy oxigén jelenlétében erőteljesebben változik a szín.

Tolvaj és munkatársai (Tolvaj et al. 2000; 2004; 2009, Molnár et al. 2006, Varga és van der Zee 2008, Varga 2008) részletesen feltárták a gőzölési paraméterek (hőmérséklet, gőzölési idő és a faanyag kezdeti nedvességtartalma) hatását a gőzölés színváltoztató hatására. Megállapították, hogy az akác faanyag színváltozása nagyon érzékenyen reagál a gőzölési hőmérséklet változására.

Részletes kutatások (Horváth-Szováti E. 2000, Horváth-Szováti és Varga 2000, Tolvaj és Németh 2008) kimutatták, hogy az akác faanyag gőzölése során bekövetkező színváltozás jól jellemezhető a világosságváltozással. A világosság változását sikerült két független változót, a gőzölési hőmérsékletet és a gőzölési időt tartalmazó függvénnyel leírni. A korrelációs indexek értékei azt mutatják, hogy a számítással meghatározott és a gőzölés során kialakuló világosságváltozás között nincs jelentős eltérés. Ez nagy előrelépés az ipari gőzölések szempontjából, hiszen a célként kitűzött világossági értékhez számítással megállapítható a szükséges gőzölési hőmérséklet és gőzölési idő.

Jelen vizsgálatainkban abszolút száraz állapotban és 100%-os páratartalom mellett kezeltük a faanyagokat 90°C hőmérsékleten. Így az eltérések jól mutatták a nedvességtartalom szerepét a gőzölésnél.

Anyag és módszer

A vízgőz szerepének feltárásához a vizsgálatokat laboratóriumi körülmények között száraz állapotra kondicionált akác (*Robinia pseudoacacia* L.), erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.), lucfenyő (*Picea abies* Karst), olasznyár (*Populus euramericana* I-214) és vörösfenyő (*Larix decidua* L.) fafajokkal végeztük el. A kísérletek kezdetekor a minták nedvességtartalma

10-12% volt. A próbatestek méretét az infravörös spektrofotométer mintatartójának befogadó képessége szabta meg. Homogén, a felszínén csak korai pásztát tartalmazó, 12 mm átmérőjű és 1,5 mm vastag korongokat vágtunk ki a faanyagokból. A minták felületét 800-as csiszolópapírral csiszoltuk meg. A minták felületén maradt kvarcsemcséket sztereomikroszkóp alatt távolítottuk el. A próbatesteket exszikkátorba helyezve vetettük alá a kezeléseknél. Az egyik exszikkátorban foszforpentoxid, a másokban desztillált víz volt a minták alatt, hogy abszolút száraz illetve nedves klímát kondicionáljanak. Az exszikkátorokat a kezelése elvégzése céljából 90°C-ra beállított szárítószekrénybe tettük. A kezelést 1, 2, 4, 5, 7, 10, 13, 18, 26, 31, 36 nap után megszakítottuk, hogy megmérjük a minták színét és az infravörös színeképüket. A nedves klímában lévő mintákat a mérések előtt egy napig vákuumszáritóban szárítottuk. A mintákat a kezelése és a mérések között foszforpentoxid fölött, exszikkátorban, laboratóriumi hőmérsékleten és teljes sötétségben tároltuk. A színmerést egy számítógép vezérelt Elrepho-2000 típusú színmérő készülékkel végeztük el. Az eredményeket a CIELab színekoordináta rendszerben adtuk meg.

Mivel a faanyagok a fényt nagyon intenzíven elnyelik, a közvetlen átvilágításuk az abszorpciós színekép felvételéhez nem lehetséges. A mai technikai háttér mellett az egyik leggyakrabban alkalmazott módszer a diffúz reflexió mérésén alapul. Elméleti hátterét a Kubelka-Munk (K-M) elmélet szolgáltatja (Kubelka és Munk 1931, Kubelka 1948), melynek segítségével az abszorpciós koefficiens (k) és a szórási koefficiens (s) hányadosa határozható meg az alábbiak szerint:

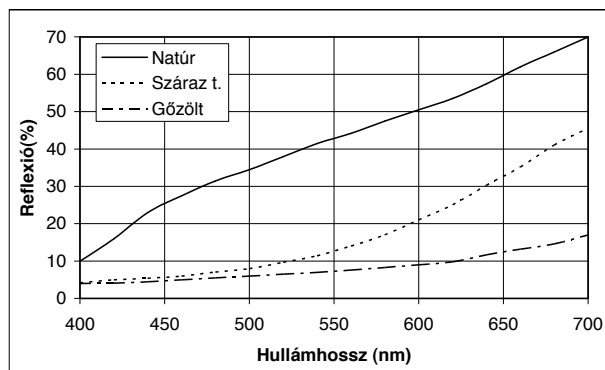
$$\frac{k}{s} = \frac{(1 - R_{\infty})^2}{2R_{\infty}} \quad [1]$$

Ahol R_{∞} a diffúz módon reflektált fény számára végtelennek tekinthető vastagságú (már semmennyi fényt át nem engedő) réteg által visszavert fény színeképe. Mivel a fényszórás alig függ a hullámhossztól, ezért a K-M összefüggés grafikonja az abszorpciós színeképpel azonos lefutásúnak tekinthető. Értékeit K-M egységekben szokás megadni a hullámszám függvényében. A K-M függvényt egy adott hullámszámnál egységnyire normáltuk, ezért a kapott színeképet relatív egységekben adtuk meg. A színeképeket az infravörös, 400-4000 cm^{-1} hullámszám tartományban vettük fel. Az infravörös (IR) színeképeket egy FTS-

40-es Bio-Rad Digilab FTIR spektrofotométerrel detektáltuk, mely fel volt szerelve egy Spectratech gyártmányú diffúz reflexiós feltétellel. A fafajonként és kezelési fokozatonként értendő színképeket 64 mérés átlagából, 4 cm^{-1} felbontással készítette el a készülék számítógépe. A háttér színképet egy alumínium lapka segítségével vettük fel. A színképeken 3800 , 1900 , és 850 cm^{-1} helyeken végeztünk alapvonal korrekciót, majd a 1352 cm^{-1} és 1406 cm^{-1} közötti csúcsnál egységnyire normáltuk. A változások demonstrálására különbségi színképeket képeztünk úgy, hogy a kezelt minta színképéből kivontuk a kezeletlen minta színképét. Mivel a diffúz reflexiós technika nagyon érzékeny a mérendő felület érdességére, ezért a mintákat mindig úgy helyeztük el a mintatartóban, hogy az IR sugár haladási iránya párhuzamos legyen a minta rostirányával.

Eredmények és értékelés

A 36 napig tartó kezelés által létrehozott színváltozást az 1-5. ábrák szemléltetik. Mindegyik ábra azt mutatja, hogy jelentős a különbség az abszolút száraz körülmények és a nedves körülmények között kezelt minták színváltozása között. A nem fényforrásként működő testek színe attól függ, hogy a rájuk eső fény spektrumából a különböző hullámhosszakon mennyit vernek vissza. Az akác faanyag reflexiós színképét az 1. ábra mutatja. A többi vizsgált faanyag is hasonló módon viselkedett.



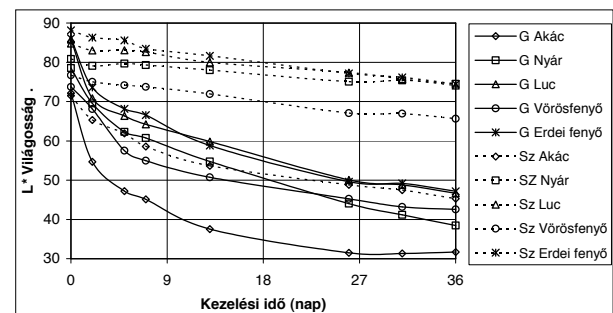
1. ábra A natúr és a 90°C -on abszolút száraz és nedves (gőzölés) körülmények között 36 napig kezelt akác faanyag reflexiós színképe

Figure 1 The remission spectrum of black locust before treatment (natúr) and after 36 days of dry (szárász t.) treatment and steaming (gőzölt) at 90°C

A grafikonok jól szemléltetik, hogy a faanyagok természetes állapotukban a rájuk eső fényből a színkép vörös oldalát jórészt visszaverik, míg a kék oldalát döntő mértékben elnyelik. A termikus ke-

zelések után a fényelnyelés minden hullámhosszon fölerősödik. A reflexió csökkenése a sárga-zöld hullámhossz tartományban a legjelentősebb. A látható színváltozásra a reflexiós színkép változásából nehéz következtetéseket levonni. Ezért a színmérés eszközrendszerét kell segítségül hívni.

A világosság változása (2. ábra) az abszolút száraz környezetben csak kismértékű, és a kezelés során egyenletesen csökkenő volt. Ez alól csupán az akác faanyag volt kivétel, mert itt a csökkenés a többinél intenzívebb volt a kezelés első negyedében. Nedves körülmények között viszont a kezelés első néhány napján jelentős világosság-csökkenés történt, ami később egyenletes csökkenésbe ment át. Az akác faanyag itt is erősebb világosság-csökkenést mutatott a kezelés kezdetén, mint a többi fafaj. Az akác faanyag abban is különbözött a többitől, hogy 26 nap után a világosság csökkenése megállt.



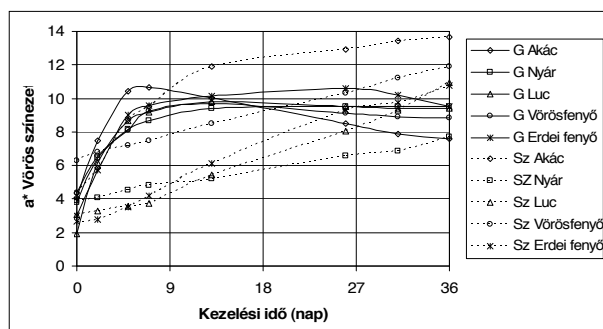
2. ábra A 90°C -on abszolút száraz (Sz) és nedves (G) körülmények között kezelt faanyagok világosságának változása a kezelési idő függvényében

Figure 2 Time dependence of lightness (L^*) under dry (Sz) and steam (G) condition at 90°C (Legend: Akác=Black locust, Nyár=Poplar, Luc=Spruce, Vörösfenyő=Larch, Erdei fenyő=Scots pine)

A vörös színezet változása (3. ábra) hasonló volt a világosságéhoz azzal a különbséggel, hogy itt növekedés történt. Az akác faanyag eltérő viselkedése itt is látható. Megállapítható, hogy ez a faanyag különösen hajlamos a vörös irányú elszíneződésre akár száraz, akár nedves körülmények között hőkezeljük. Az is szembevetendő, hogy a színes degradációs termékeket csak az akác esetében oldja ki számottevően a faanyagból a vízgőz. Az akác faanyagok a többitől eltérő viselkedését a magas extraktanyag tartalma okozza.

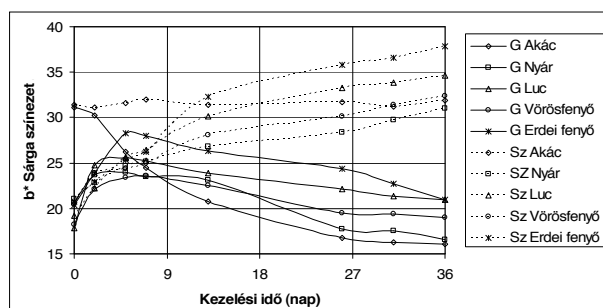
A sárga színezet változásában (4. ábra) volt a legnagyobb eltérés mind a fafajok között, mind a kétféle kezelés hatása között. Míg a kellően magas sárga színezetű akác faanyag abszolút száraz körülmények között gyakorlatilag nem mutatott változást,

addig a többi fafaj folyamatosan sárgult. Nedves körülmények között az akác faanyag folyamatosan veszített sárga színezetéből, amíg a többiek sárgultak. Ez a sárgulás hasonló volt az abszolút száraz állapotbelihez, az első három napban a nedves állapotbeli változás erőteljesebb volt, mint az abszolút száraz állapotbeli. A legnagyobb eltérést az erdei fenyőnél figyelhettük meg. Hat nap után ez a sárgulás megállt, és ezek a faanyagok is átvették az akác által diktált ütemet. Mivel az első időszakban a kétféle kezelés hatása közel egyforma volt, a nedves állapotbeli későbbi csökkenést a vízgőzzel történő kioldódással lehet értelmezni. A színeképző vegyületek megjelentek a kondenzvízben, és barnára színezték azt. A kondenzvíz elszíneződése viszont már a kezelés kezdetén megkezdődött. Ebből arra kell következtetni, hogy a kioldódás a kezelés teljes időtartama alatt folyamatos volt. Az összetett jelenség magyarázata az lehet, hogy eleinte a színeképző vegyületek keletkezése jóval intenzívebb volt, mint a kioldódás. Majd a keletkezés lelassult, de a kioldódás változatlan ütemben tovább folytatódott.



3. ábra A 90°C-on abszolút száraz (Sz) és nedves (G) körülmények között kezelt faanyagok vörös színezetének változása a kezelési idő függvényében

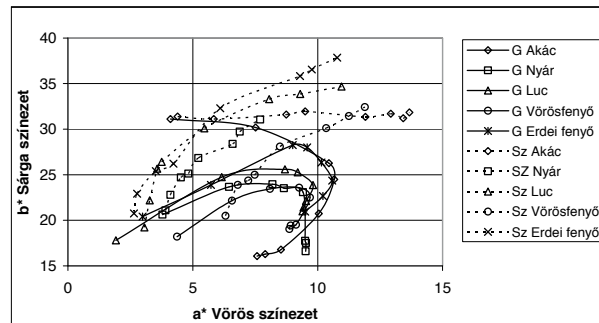
Figure 3 Time dependence of red hue (a^*) under dry (Sz) and steam (G) conditions at 90°C (for legend see Fig. 2)



4. ábra A 90°C-on abszolút száraz (Sz) és nedves (G) körülmények között kezelt faanyagok sárga színezetének változása a kezelési idő függvényében

Figure 4 Time dependence of yellow hue (b^*) under dry (Sz) and steam (G) conditions at 90°C (for legend see Fig. 2)

A színpontokat az a^* - b^* síkon ábrázolva (5. ábra) jól látszik, hogy abszolút száraz állapotban a színváltozás mindkét koordináta tekintetében szinte egyenes. Ezzel ellentétben nedves körülmények között a görbék jellegzetes patkó alakot formáznak a színeképző vegyületek kioldódása miatt.



5. ábra A színpontok vándorlása abszolút száraz (Sz) és nedves (G) termikus kezelés során 90°C-on. (A görbék baloldali kezdőpontjai a kezeletlen állapothoz tartoznak. Ezeket követik a kezelt állapotok színpontjai 2, 5, 7, 10, 13, 18, 26, 31, 36 nap időrendben)

Figure 5 The correlation between red (a^*) and yellow (b^*) hue under dry (Sz) and steam (G) condition at 90°C. (The let most dots refer to the untreated samples followed by the dots of samples after 2, 5, 7, 10, 13, 18, 26, 31 and 36 days of treatment, respectively.) (for legend see Fig. 2)

Megállapítható, hogy a víz jelenléte jelentősen felgyorsítja a színváltozást, ami száraz körülmények között csak lassan megy végbe. Az is jól látható, hogy a változások nedves körülmények között éppen a kezelés kezdetén erőteljesebbek. Ezeknek a jelenségeknek a kezelés költségei tekintetében van nagy jelentősége, hiszen a faiparban a 8-10 napnál hosszabb kezelésnek a költsége a termék árában már nehezen realizálható. Megmértük a termikusan kezelt faanyagok diffúz reflexiós infravörös színeképét is. Az infravörös színkép változása információkat szolgáltat a faanyagban előforduló kémiai kötések számának változásáról. Előállítottuk a különbségi színeképeket, melyek a kezelt minta és a kezeletlen minta színeképének különbségei. Abszolút száraz körülmények között végzett termikus kezelésnél a változások kicsik voltak; a rájuk rakódó zaj miatt (mely összemérhető volt a jellel) alig voltak értékelhetők. Ez azt jelenti, hogy a színváltozások nem a faanyag fő kémiai összetevőinek a változásával kapcsolatosak. A lignin tipikus abszorpciójában 1510 cm^{-1} -nél nem történt változás. Kis mértékű növekedés volt tapasztalható a nem konjugált helyzetben lévő karbonil csoportok

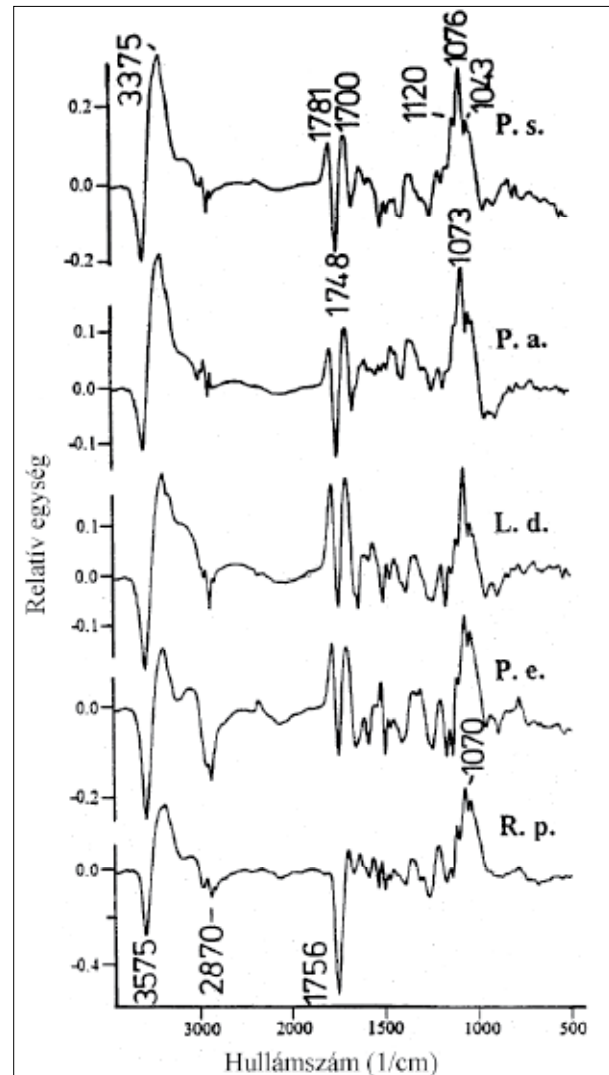
abszorpciójánál az 1700-1800 cm^{-1} tartományban. Tehát a száraz termikus kezelésnél a színváltozás oka a kis százalékban jelen lévő extrakt anyagok változásában keresendő.

A 90°C-on történő gőzölés hatására az infravörös színképben számottevő változások történtek, amit a 6. ábra szemléltet. Az egyes abszorpciós sávokhoz tartozó kémiai csoportokat egy korábbi publikáció tartalmazza (Tolvaj és Faix 1995). Ezek a változások három területre koncentráltak.

A hidroxil csoportok abszorpciójában csökkenés (3570 cm^{-1} környékén) és növekedés (3380 cm^{-1} környékén) egyaránt történt. A nem konjugált helyzetű karbonil csoportok tartományában (1650-1800 cm^{-1}) összetett abszorpcióváltozás történt. Amíg a hidroxil csoportok esetében nem volt lényeges különbség a vizsgált öt fafaj között, addig a karbonil csoportok esetében az akác a többi fafajtól eltérő módon viselkedett. Mindegyik fafaj esetében abszorpciócsökkenés történt 1750 cm^{-1} környékén. Az akác kivételével a többi fafajnál abszorpcionövekedést is tapasztaltunk 1700 és 1780 cm^{-1} környékén. Ezen két maximum helye bizonytalan, valószínűleg ennél közelebb vannak egymáshoz. A valódi helyzetük azért nem állapítható meg, mert a köztük lévő abszorpciócsökkenésből származó sáv levágja mindkettőnek az egymás felé néző oldalát. Így a maximumok helye eltolódik. Ha csak a vörösfenyő és a nyár minták színképét vettük volna föl, akkor az 1750 cm^{-1} körüli abszorpciócsökkenést nem lehetett volna egyértelműen felismerni. De az akác és mellette a két másik fenyőféle színképe ezt egyértelműen alátámasztja.

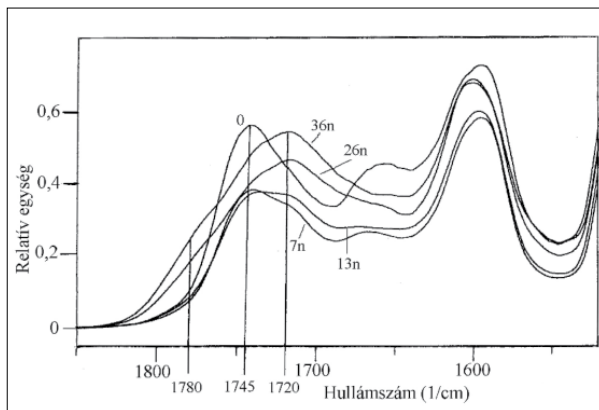
Ha megvizsgáljuk a karbonil sáv változásának időfüggését (a 7. ábrán a nyár mintákra vonatkozó mérési eredményeket prezentáljuk), akkor az 1745 cm^{-1} maximumú összetett sáv csökkenését figyelhetjük meg a gőzölés első időszakában. Hét napi kezelés után kezd növekedni egy sáv 1720 cm^{-1} környékén, ez a sáv folyamatosan növekszik a kezelés további időtartama alatt. A 13 napos kezelés után egy másik sáv is növekedésnek indul 1780 cm^{-1} környékén. Ez a növekedés az abszorpciós színképen csak mint egy váll látszik, de a különbségi színképeken egyértelműen megjelenik.

A fent leírt összetett változások értelmezését adó publikációt adtak közre Németh és munkatársai 2003-ban. Akác (*Robinia pseudoacacia*) és nyár (*Populus nigra*) famintákat vizsgáltak és a termi-



6. ábra Az erdei fenyő (*P. s.*), a lucfenyő (*P. a.*), a vörösfenyő (*L. d.*), a nyár (*P. e.*) és az akác (*R. p.*) faanyagok különbségi, infravörös színképei 90°C-on történt, 36 napos gőzölés hatására
Figure 6 The difference infrared spectra of scots pine (*P. s.*), spruce (*P. a.*), larch (*L. d.*), poplar (*P. e.*) and black locust (*R. p.*) wood samples after 36 days of steaming at 90°C

kus kezelés hatását az infravörös színképek felvételével követték. Vizsgálataikkal kimutatták, hogy mérsékelt hőmérsékletű ($\leq 200^\circ\text{C}$) termikus kezelés hatására a karbonil sávban lejátszódó változások két szakaszra oszthatók. Megállapították, hogy a kezelés első szakaszában egy degradációs, a karbonil csoportok csökkenésével járó folyamat játszódik le, melyet egy oxidációs szakasz követ, melyben a karbonil csoportok száma nő. Azt is kimutatták, hogy érvényesül a hőmérséklet-idő szuperpozíció. A mi eredményeink azt mutatják, hogy ezek az új karbonil csoportok legalább két-féle oxidációs folyamat eredményei és keletkezésüknél időbeli eltolódás mutatkozik.



7. ábra A nyár faanyag K-M függvényének módosulása a gőzölési idő (0-36 nap) függvényében 90°C-on történt gőzöléskor
Figure 7 The change of the K-M function for poplar sample during 36 days of steaming at 90°C (n=day)

A harmadik terület, ahol az IR színeképváltozást mutatott, az 1040-1120 cm⁻¹ közötti hullámszám tartomány, mely a C-O és C-O-C kötések abszorpciós tartománya. Az itt látható nagymértékű abszorpció-növekedés valóságában azonban kétséges. A faanyagok vizsgálatához széles körben alkalmazott Kubelka-Munk-elmélet alkalmazhatóságát megkérdőjelezi az itt tapasztalható erős abszorpciója a faanyagoknak.

Következtetések

A 90°C-on történő termikus kezelésnél mind a színváltozásban, mind az infravörös színekben jelentős eltérések mutatkoztak az abszolút száraz és a nedves körülmények között kezelt faanyagoknál. A víz jelenlétének tehát meghatározó szerepe van a faanyagok termikus kezelésénél. Nedves légtérben a színeképző vegyületek könnyebben hidrolizálódnak, majd oxidálódnak, kialakítva a gőzölt faanyag színeit. Az akác faanyagoknak a többi faanyagtól eltérő viselkedése a magas extraktanyag-tartalmával magyarázható, ami a biotikus károsítókkal szembeni ellenálló képességének egyik záloga.

Irodalomjegyzék

Dessewffy I-né (1964) Az akác anyagának hidrotermikus kezelése. Kutatási jelentés, FAKI.
 Horváth-Szováti E (2000) A gőzölt akác világosság-változásának hőmérséklet- és időfüggése. SE Tudományos Közleményei 46:179-189
 Horváth-Szováti E, Varga D (2000) Az akác faanyag gőzölése során bekövetkező színváltozás vizsgálata. II. A 105, 110 és 115°C-on történő gőzölés eredményei, javaslat az ipari hasznosításra. Faipar 49(4):11-13

- Kubelka P, Munk F (1931) Ein Beitrag zur Optik der Farbanstriche. Zeitschrift für technische Physik (12):593-601
 Kubelka P (1948) New Contributions to the Optics of Intensely Light-Scattering Materials. Part I. Journal of the Optical Society of America 38(5) 448-457
 Molnár S, Tolvaj L, Németh R (2006) Holzqualität und Homogenisierung der Farbe von Zerreice (*Quercus cerris* L.) mittels Dämpfprozess. Holztechnologie 47(5):20-23
 Németh K. (1998) A faanyag degradációja. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest.
 Németh K, Molnár-Hamvas L, Stipta J (2003) Kinetic interpretation of processes in wood at mild temperature. Wood Sci Technol 61:305-308
 Stubenvoll A (1984) A gőzölés hatása a fa színének alakulására. Faipar 37(1):26-33
 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, Németh K (2008) Correlation Between Hue-angle and Colour Lightness of Steamed Black Locust Wood. Acta Silvatica & Lignaria Hungarica 4:55-59 (<http://aslh.nyme.hu/>)
 Tolvaj L, Horváth-Szováti E, Sáfár C (2000) Colour modification of black locust by steaming. Wood Research (Drevarsky Vyskum) 45(2):25-32
 Tolvaj L, Molnár S, Takáts P, Varga D (2004) Az akác (*Robinia pseudoacacia* L.) faanyag színének változása a gőzölési idő és hőmérséklet függvényében. Faipar 52(4):9-14
 Tolvaj L, Németh R, Varga D, Molnár S (2009) Colour homogenisation of beech wood by steam treatment. Drewno-Wood (Poznan, Poland) 52:5-17
 Varga D, van der Zee ME (2008) Influence of steaming on selected wood properties of four hardwood species. Holz Roh Werkst 66(1):11-18
 Varga D (2009) Wood modification as value added concerning the steam treatment of several European and tropical hardwood species. 3rd Int. Conf. on Problems of Wood Processing. 17-20 June 2009, Sopron, Hungary. 47-54