

Nyugat-magyarországi Egyetem
Sopron

Doktori értekezés tézisei

A gőzölés modifikáló hatásának vizsgálata
két európai és két trópusi fafaj egyes fizikai-mechanikai
tulajdonságainak tükrében

Varga Dénes

Sopron
2008

Dotori Iskola: Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola (vezető: Dr. Winkler András)

Program: Faanyagtudomány (vezető: Dr. Molnár Sándor)

Tudományág: Anyagtudományok és technológiák

Témavezető: Dr. Tolvaj László

1. A kutatási téma előzményei, jelentősége és célkitűzései

A fa – szemben az arannyal, kőolajjal vagy földgázzal – olyan megújuló nyersanyagforrás, mely napjainkban ismét egyre jobban előtérbe kerül. Ez a tendencia nemcsak a gyorsan újratermelődő jellegének köszönhető. A faanyag azon kevés anyagok egyike, mely beépítés, szerkezeti elemmé vagy bútorrá válás után is lélegzik, környezetébe nedvességet ad le, vagy onnét nedvességet vesz fel, s ezer arcával minden egyes embert kivétel nélkül gyönyörködtet. Vannak azonban olyan felhasználási területek, melyek különleges faanyagjellemzőket igényelnek, valamint olyan fafajok, melyek egyes fizikai vagy mechanikai tulajdonsága az adott alkalmazási célnak nem, vagy csak bizonyos változtatások után felel meg. Az ilyen jellegű változtatásokat eszközlő technológiákat együttesen modifikációnak nevezzük.

A faanyagok modifikációja mind a kutatás-fejlesztést, mind a másodlagos fafeldolgozást illetően mára külön szakterületté vált. Az eltérő célok más-más technológiákat igényelnek; egyes technológiák kemikáliákat, mások magas hőmérsékletet, megint mások különféle hullámhosszúságú fényvel történő besugárzást alkalmaznak.

A gőzölés, mint modifikáló, hidrotermikus kezelés során a faanyagot légnemű halmazállapotú víz segítségével hő hatásának tesszük ki. A kezelés során a gőz által közölt hő hatására a természetes állapotú faanyagok szerkezete és alkotórészei fizikai és kémiai átalakuláson mennek keresztül. Ennek következtében egyes tulajdonságai átmenetileg vagy végleg megváltoznak. Az átmeneti tulajdonságváltozások általában a könnyebb megmunkálhatóságot segítik elő, míg a maradandó változások a faanyag nemesítését szolgálják.

Ipari méretű technológiákat tekintve a gőzölés csak egyes fafajok (pl. akác, bükk) esetében rendelkezik nagy hagyományokkal. A laboratóriumi körülmények között végzett kutatás-fejlesztés célú kísérletek beszámolói mára mind jobban szaporodnak, s egyre több fafajt érintenek.

Tudományos kutatómunkám célja két európai, és két trópusi fafaj egyes fizikai, mechanikai tulajdonságának vizsgálata különböző paraméterekkel gőzölt, illetve kezeletlen próbatesteken. A kocsányos tölgy (*Quercus robur* L.), mint Európában őshonos fafaj gőzölésének célja a ragaszthatóság, felületkezelhetőség javítása, az esztétikai megjelenés változtatása lehet. A fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) – mely Európában ugyan nem őshonos faj, de térnyerése mára jelentős – hidrotermikus kezelése nagy

hagyományokkal rendelkezik, de számos, a felületre jellemző paramétert nem vizsgáltak még, melyek a továbbfeldolgozás szempontjából (pl. felületkezelés) nagy jelentőséggel bírhatnak. A merbau (*Intsia bijuga*) és a sapupira (*Angelim pedra*) két olyan trópusi fafaj, melyek felhasználása jó mechanikai tulajdonságaiknak, és különleges megjelenésüknek köszönhetően Európában is jellemző. E két fafajnál fellépő egyes technológiai problémákra (ragasztási, felületkezelési nehézségek) a gőzölés megoldást nyújthat.

A fentiek alapján az alábbi kutatási célokat fogalmaztam meg:

- I) Megvizsgálom, hogy a gőzölés paraméterei milyen hatással vannak a vizsgált fafajok színére, melyik fafaj a legérzékenyebb színváltozás szempontjából, illetve melyik gőzölési paraméternek van nagyobb szerepe (idő vagy hőmérséklet).
- II) Vizsgálom a gőzölt, illetve gőzöletlen mintadarabok UV sugárzás hatására bekövetkező elszíneződését. A besugárzást felületkezelt és natúr felületeken is elvégzem.
- III) Feltételezve, hogy a vizsgált fafajok mechanikai jellemzői romlanak gőzölés közben, összefüggést keresek e változások és a gőzölés paraméterei (hőmérséklet és idő) között.
- IV) A gyenge adhéziós tulajdonságokból adódó nehéz ragaszthatóságot két oldalról vizsgálom: egyrészt az illeszkedési szög mérésével számítom a felületre jellemző szabad felületi energiát, másrészt a ragasztott felületek nyírószilárdságát határozom meg. E méréseket kezeletlen, illetve különböző paraméterek mellett gőzölt faanyagon kívánom elvégezni.

2. Az alkalmazott kísérleti módszerek

2.1. Az alkalmazott technológia

A deszka méretekben beérkezett fűrészárut feldolgozás előtt 2-3 hétig normál klímán (20°C, 65% relatív légnedvesség) tároltam. A pontos méretek kialakítása fűrészelés után gyalulással történt. A vizsgálatokhoz felhasznált próbatestek alapanyagait szín, rostlefutás és évgyűrű szerkezet alapján gondosan válogattam. Mivel egy gőzölési ciklusban a gőzölőhenger mérete miatt csak korlátozott mennyiségű faanyagot képes befogadni, ezért a kis elemszám mellett törekedni kellett az anyagtulajdonságok tekintetében

a szélsőségek elkerülésére. A kész próbatesteket újabb két hétig tároltam a klímazsekrényben.

Az elvégzett kísérletek paraméterei (hőmérséklet, kezelési idő), és az ismétlések száma:

a) akác, merbau és sapupira esetében:

	3 óra	7,5 óra	20 óra
108°C	x		x
115°C		xxx	
122°C	x		x

b) tölgy esetében:

	3 óra	7,5 óra	20 óra
92°C	x		x
100°C		xxx	
108°C	x		x

Tölgy esetében a gőzölési hőmérsékleteket csökkenteni kellett a gyengébb mechanikai tulajdonságok, repedékenység miatt. A másik három fafaj kevésbé kényes, így a teljes hőmérsékleti skálán túlnyomós gőzölés alkalmazható volt.

A gőzölendő faanyagot egy fémkosárban helyeztem el, majd ezt a fémkosarat tettem a hengerbe. A felfűtés 2 órát vett igénybe. A számítógéppel összekötött szabályzó berendezés lehetővé tette a beállított hőmérséklet $\pm 0,5^\circ\text{C}$ -os intervallumon belül tartását, illetve a folyamat teljes időtartama alatt a hőmérsékletváltozás nyomon követését. A grafikonok alapján a faanyag minden esetben jól követte a környezeti (a gőzölőhengerben uralkodó) hőmérséklet változását. A fenti táblázatokban feltüntetett időértékek a tiszta (felfűtési és lehűtési idő nélküli) gőzölési időket adják meg. Az atmoszférikus nyomás elérése után (tehát 100°C alatt)

a gőzölőedény kinyitható, így a lehűtés 10-20 percet vett igénybe. Tapasztalataim szerint hosszabb kondicionálási időre nincs szükség, mivel a bütürepedések nem a gőzölés után, hanem a folyamat közben keletkeznek. A kezelés után a próbatesteket egy hétig klímakamrában, normál klímán tároltam.

2.2. Hajlítószilárdság meghatározása

A rostokkal párhuzamos hajlítószilárdságot a DIN 52186 szabvány szerint hárompontos hajlító igénybevétellel határoztam meg. A 20x20 mm keresztmetszetű próbatesteket 300 mm-es támaszközzel, Zwick Z020 típusú anyagvizsgáló gépen vizsgáltam. A vizsgálatok próbadarabjait úgy válogattam össze, hogy azok egyenletes rostlefutásúak, homogén szerkezetűek legyenek. A próbatestek bütün mérhető évgyűrűállása $\alpha = 25\text{-}45^\circ$ volt.

2.3. Keménységmérés

A Janka szerinti keménységmérés során egy 11,284 mm átmérőjű polírozott acélgolyót feléig a mintadarabba nyomtam. A benyomáshoz szükséges erő közvetlenül a keménységet adja. Vizsgálataim során a faanyag oldalkeménységét 40x70 mm keresztmetszetű próbatestek két nagyobbik oldalfelületén mértem Zwick Z020 típusú anyagvizsgáló gépen.

2.4. Színmérés

A faanyag gőzölése során végbemenő színváltozás objektív mérésére Minolta CM 2600d típusú spektrofotométert használtam 10 mm átmérőjű szenzorral. A 40x70 mm keresztmetszetű próbatesteket gőzölés után nagyobbik oldalukkal párhuzamos irányban kettévágtam, az így nyert két friss felületet gyalultam, majd CIELab rendszerben meghatároztam a világosságot (L^*), illetve a színezetet (a^* és b^*). A méréseket D65 fényforrással, 10° -os megfigyelési szög mellett végeztem. A mérőberendezés a színkoordinátákat közvetlenül szolgáltatja, így kiegészítő számításokra nincs szükség, a módszer igen gyors. A színinger-különbséget (ΔE^*), azaz két színpont távolságát a koordinátákból a térbeli Pitagorasztétel adja meg. Az $a^*(t)$, $b^*(t)$, és az $L^*(t)$ diagramok a végbemenő színváltozást jól szemléltetik.

Vizsgálataim során elvégeztem a gőzöletlen, illetve gőzölt faanyagok rövid idejű besugárzását QUV típusú mesterséges öregítő berendezésben. A használt UVA-340 lámpa sugárzási tartománya: 295-390 nm, intenzitása: $0,7 \text{ W/m}^2$. Az öregítési vizsgálat előtt minden egyes gőzölési sorozatból két,

egyenként 40x350 mm felületű próbatestet alakítottam ki, melyek felületét négy részre osztva natúr, transzparens lakkal felületkezelt, pigmentált favédővel bevont, illetve átlátszatlan festékkel kezelt részeket képeztem. A felületkezelt darabokat klimatizálás (23°C-on, 50% relatív légnedvesség mellett) és színmérés után helyeztem az UV szekrénybe. A színváltozás vizsgálatához 1, 2, 7 és 14 nap besugárzási idő után végeztem újabb színméréseket.

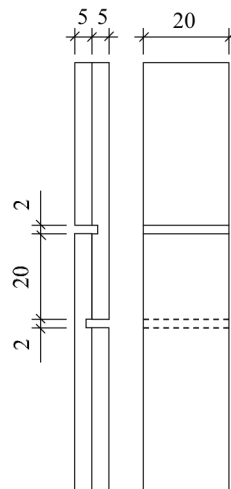
2.5. Illeszkedési szög, felületi szabad energia meghatározása

A felületi szabad energia kísérleti meghatározásához egy geometriai mérési és számítási módszert, az ún. „rögzített csepp” módszert alkalmaztam, mely során a felületre ejtett folyadéksepp geometriájából következtethetünk annak nedvesíthetőségére. A méréshez kettévágott, gyalult friss felületeket használtam. Az illeszkedési szöget három különböző folyadék (víz, diiodometán, formamid) esetében mértem. A három szögértékből a felületi szabad energia kiszámítható. Mindegyik vizsgálati folyadék legalább 99%-os tisztaságú volt.

2.6. Ragasztott kötések nyírószilárdsága

Az EN 205 1998 szabvány szerinti adhéziós vizsgálatához szükséges próbadarabok kialakítását az 1. ábra mutatja. Az általános, beltéri PVAC ragasztóval, hideg préselés útján összeragasztott faanyagokból klimatizálás után fafajonként két sorozatot alakítottam ki. A 1. sorozat nyírószilárdságát normálklímán történő tárolás után rögtön mértem, míg a 2. sorozat vizsgálatát 24 órás hideg vizes áztatást követően végeztem el. A ragasztott felület elnyírásához szükséges erőt anyagvizsgáló gépen mértem. A nyíróerő (F) és az igénybevett felület (A) ismeretében a nyírófeszültség az alábbi egyenletből adódik:

$$\tau = \frac{F}{A}$$



1. ábra A nyírószilárdság megállapításához használt próbatestek kialakítása

3. *Az új tudományos eredmények összefoglalása*

I) Megállapítottam, hogy a gőzölést követő színváltozás szempontjából a vizsgált fafajok közül az akác a legérzékenyebb; színváltozása a világosság- (L^*) és sárga színezet- (b^*) koordinátákkal jól jellemezhető. Az elért szint a gőzölés két paramétere (hőmérséklet és idő) együttesen határozza meg. A merbau kezelés során kialakuló vörös (a^*) és sárga (b^*) színezetét a gőzölés paraméterei nem befolyásolják, világosságát az alkalmazott hőmérséklet határozza meg. A sapupira és a tölgy színezete és világossága magas hőmérsékleten hosszú ideig végzett gőzölés mellett sem változott jelentős mértékben.

II) Kimutattam, hogy az akác faanyag UV sugárzás hatására bekövetkező elszíneződése jelentős mértékben csökkenthető hidrotermikus kezeléssel; kezeletlen minták besugárzás előtti és egy hétig tartó UV sugárzás utáni átlagos színinger-különbség (ΔE^*) értéke 18,55, ugyanez az érték 108°C -on, 20 óráig végzett előkezelést feltételezve 10,33. Magas hőmérsékleten (122°C) hosszú ideig (20h) végzett gőzölést követő UV sugárzás által okozott vörös színezet változás közel zérus. A színestabilitást a gőzölési hőmérséklet és a gőzölési idő azonos mértékben befolyásolja. A hőkezelt (108°C , 20h) tölgy faanyag nagyobb színestabilitást mutat, s ez a sárga színezet gőzölést követő nagyobb stabilitásával van összefüggésben. Tölgy faanyag gőzölést követő rövid idejű, UV fényvel történő besugárzása érdekes kombinált technológiai megoldás lehet a fafelület rajzolatának kiemelésére. A merbau és a sapupira kezeletlen illetve hőkezelt állapotban hasonló mértékben színeződik el.

A vizsgált felületkezelő anyagokkal kezelt faanyagok kevésbé színeződtek el UV besugárzás hatására. Transzparens lakkal felületkezelt akác faanyag színestabilitása gőzöléssel javítható. Merbau és sapupira esetében a felületkezelt próbatetek hasonló elszíneződést mutattak gőzölt és gőzöletlen állapotban is; a hőkezelés tehát nem nyújt megoldást a színestabilitás problémájára. Pigmentált lakkal az elszíneződés minimálisra csökkenthető; a különböző fafajok hasonló színinger-különbség (ΔE^*) értékeiből a lakk elszíneződésére következtethetünk.

- III) Kísérleteim során minden egyes mintasorozat abszolút száraz bázison számított átlagos nedvességtartalmát meghatároztam. A kezeletlen próbatestek nettó nedvességtartalma és a gőzölésre szánt faanyagra vonatkozó nedvességtartalmi értékek között azonban jelentős különbséget mutattam ki. Az eltérés a száraz bázis értékek különbségeivel magyarázható, mivel a tömegállandóságig történő szárítást a gőzölt próbatestek esetében kezelés után végeztem. E különbség a gőzölés során bekövetkező szárazanyag-tartalom csökkenését jelzi, melyből számolható a gőzölés során távozó vízdékony járulékos anyagok mennyisége, azonos kiindulási egyensúlyi fanedvesség tartalmat feltételezve. A különbségi értéket a gőzölési paraméterek együttesen befolyásolják: hosszabb hőkezelés és/vagy magasabb hőmérséklet az extraktanyagok erőteljesebb kimosódását eredményezi. A különbségi érték fafajtól szintén függ: merbau faanyagánál adódott a legnagyobb különbség a nedvességtartalmi értékek között. A legkisebb értéket a sapupira esetében mértem.
- IV) Kimutattam, hogy a vizsgált mechanikai jellemzők gőzölés hatására mind a négy fafaj esetében romlottak. A trópusi fafajok kisebb hajlítoszilárdság-csökkenést szenvedtek, mint az akác és a tölgy. A legdrasztikusabb változás akác esetében következett be, de a magas kiinduló értékeknek köszönhetően hajlítoszilárdsága hosszú idejű (20h), magas hőmérsékleten (122°C) végzett gőzölés után is magasabb, mint a kezeletlen tölgyé. Megállapítottam, hogy a vizsgált fafajok gőzölés után mérhető hajlítoszilárdsága csak kis mértékben függ a gőzölési hőmérséklettől, azt inkább a gőzölés időtartama befolyásolja. Ennek magyarázata, hogy a 200°C alatti hőmérséklet önmagában nem elegendő feltétel a faanyag fő építőelemeinek, azaz a lignin és cellulóz hődegradációjához, a kezelés időtartamának növelésével azonban ezek az összetevők kémiai szerkezetükben módosulnak.
- V) Kísérleteimmel igazoltam, hogy víz és szilárd faanyag között kialakuló illeszkedési szög fafajonként eltérő, gőzölés hatására változik. Az akácra jellemző illeszkedési szög 108°C-on 3 óráig végzett kezelés hatására csökkent. Magasabb hőmérsékleten és/vagy hosszabb ideig végzett gőzölés nagyobb szögértéket eredményezett. Sapupira felületre ejtett vízcsepp illeszkedési szöge nem változik számottevően gőzölés hatására. A tölgy fafelületre jellemző, viszonylag magas illeszkedési

szög gőzöléssel csökkenthető; a kezelés után kialakuló szögérték és a kezelés paraméterei között nincs összefüggés. Merbau fapelületre jellemző illeszkedési szög gőzölés hatására növekszik.

A gőzölés után kialakuló felületi szabad energia értékeket a folyamat mindkét paramétere befolyásolja fafajtól függetlenül. A merbau felületi szabad energiája 122°C-on, 20 óráig végzett hőkezelés következtében felére csökken. Tölgy faanyag felületi szabad energiája rövid ideig (3h), alacsony hőmérsékleten (108°C) végzett modifikációval, míg a sapupira felületi energiája hosszan tartó (20h), magas hőmérsékletű (122°C) modifikációval növelhető.

VI) PVAC ragasztóanyag felhasználásával végzett adhéziós vizsgálataim kimutatták, hogy az akác és a sapupira ragasztási tulajdonságai megfelelő paraméterű gőzöléssel javíthatók; akác esetében a rövid idejű (3h), alacsony hőmérsékleten (108°C) végzett modifikáció csökkentette a víz-fa anyagpárra jellemző illeszkedési szöget (V. tézis), minek következtében a vizes PVAC ragasztóval kialakított kötés szilárdsága is nőtt. Sapupira esetében közepes hőmérsékleten (115°C) 7,5 óráig végzett gőzölés javasolható. A merbau adhéziós tulajdonságai nem változnak, a tölgyé bármely gőzölési paraméterpárt alkalmazva romlanak.

4. Az értekezés témájában megjelent publikációk

Idegen nyelvű közlemények külföldi szakfolyóiratban:

László Tolvaj, Dénes Varga & Szabolcs Komán (2002): Colour modification of dried black locust and beech woods by steaming. Wood Structure and Properties '02 109-113

Varga D., van der Zee, M. E. (2008): Influence of steaming on selected wood properties of four hardwood species. Holz als Roh- und Werkstoff (will be published in print in issue 66/1 February 2008)

Magyar nyelvű közlemények:

Tolvaj L., Varga D., Molnár S., Pál A. (2001): A gőzölés színváltoztató hatása fehér és színes gesztű bükk faanyag esetében. Faipar 2001/4 11-12

Dr. Tolvaj L., Varga D. (2002): Az akácgőzölés színváltoztató hatása. *Intarzia* 2002/6 19-22

Horváth-Szováti E., Varga D. (2000): Az akác faanyag gőzölése során bekövetkező színváltozás vizsgálata II. A 105, 100 és 115°C-on történő gőzölés eredményei, javaslat az ipari hasznosításra. *Faipar* (4) 11-13

Tolvaj L., Molnár S., Takáts P., Varga D. (2004): Az akác (*Robinia pseudoacacia* L.) faanyag színének változása a gőzölési idő és hőmérséklet függvényében. *Faipar* 2004/4 9-14

Tolvaj L., Molnár S., Takáts P., Varga D. (2005): Az akác faanyag színének homogenizálása gőzöléssel. *Faipar* 2005/1 13-15

Konferencia előadások:

Tolvaj L., Varga D. (2001): Az akác faanyag színének változtatása gőzöléssel. Konferencia, Székelyudvarhely, Románia, 2001. május 18.

Tolvaj L., Varga D., Molnár S., Pál A. (2001): A gőzölési kísérletek tapasztalatai fehér és színes gesztű bükk faanyag esetében. "Kísérlet. Techn. álgesztes bükk továbbfeldolgozására" Konferencia, Lenti, 2001. június 7.

Varga D., Takáts P., Tolvaj L. (2003): Új lehetőségek az akác faanyag hidrotermikus kezelésénél. 5. Magyar Szárítási Szimpózium, Szeged 2003. október 21-22.

Varga D., van der Zee, M. E., Nienhouis, J., Tolvaj L. (2006): Influence of steaming on selected wood properties of four hardwood species. 56th Annual Meeting of the Japan Wood Research Society, August 8-10, 2006, Akita JAPAN

Varga D., van der Zee, M. E. (2006): Influence of Hydrothermal Treatment on UV-light Induced Discolouration of *Robinia pseudoacacia* L. and *Quercus robur* L. Timber Surfaces. In the Proceedings of the JSPS Japan and Hungary Research Cooperative Program / Joint Seminar, October 16-19, 2006, Noshiro JAPAN

Varga D., van der Zee, M. E. (2007): Influence of hydrothermal treatment on UV-light induced discolouration of *Robinia pseudoacacia* L. and *Quercus robur* L. timber surfaces. In the Proceedings of the 3rd European Hardwood Conference, Sopron, September 3, 2007.