

Soproni Egyetem  
Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar  
Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**A Pannónia nyár faanyag gőzölési tulajdonságainak  
vizsgálata**

Banadics Endre Antal

Sopron

2024

Soproni Egyetem  
Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar  
Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola  
Vezető: Prof. Dr. Németh Róbert egyetemi tanár

Doktori program: Faanyagtudomány  
Programvezető: Prof. Dr. Németh Róbert  
Tudományág: Anyagtudomány és technológiák

Doktori (PhD) értekezés tézisei

## **A Pannónia nyár faanyag gőzölési tulajdonságainak vizsgálata**

Készítette:

Banadics Endre Antal

Témavezetők:

Dr. Varga Dénes egyetemi docens  
Prof. Dr. Tolvaj László egyetemi tanár

Sopron

2024

## Bevezetés és célkitűzés

A disszertáció a nemesnyár (*Populus x euramericana*), ezen belül is a Pannonia nyár (*Populus x euramericana* cv. Pannonia) modifikációval elősegített felhasználási körének bővítési lehetőségeivel foglalkozik. Jelen munka hiánypótló jellegű, mivel nem állnak rendelkezésre a nyár gőzölésével foglalkozó szakirodalmak sem hazai, sem nemzetközi szinten, illetve nincs tapasztalat a faanyag viselkedéséről. Ez a gyors növésű, ültetvényes fafaj viszonylag nagy mennyiségben áll rendelkezésre magyarországi viszonylatban, ennek ellenére csak a másodlagos faipari felhasználásban (raklap, ládagyártás) illetve az energetikai hasznosításban van szerepe. A modifikációs eljárások okozta előnyös színváltozás a másodlagos alkalmazási kört elsődlegessé változtathatja. A gőzölt nyár anyag például alkalmas lehet lambéria vagy szauna burkolatnak is. Mivel más fafajok ipari felhasználása sokkal széleskörűbb, így érdemes vizsgálni, hogy ezen faanyagok (pl. bükk vagy akác) növelik-e a nyár előnyös tulajdonságainak számát a modifikációs eljárások alkalmazása során.

Összefoglalva a disszertáció fő kutatási kérdése: Alkalmas-e a gőzölés, mint modifikációs eljárás a nyár faanyag ipari célú feljavítására és ha igen milyen feltételek mellett?

**A következő célkitűzések, hipotézisek megfogalmazására került sor a doktori kutatás során:**

- H1. A másodlagos felhasználású Pannonia-nyár színe gőzöléssel javítható, sötétebb, barnább szín állítható elő, ami az emberi szem számára kellemesebb, mint a nyár faanyag eredeti színe.
- H2. A megfelelő gőzölési hőmérséklet-tartomány és időtartam megállapítható az optimális szín eléréséhez.
- H3. A gőzölt próbatestek szíjácsának és gesztjének színkülönbözősége gőzöléssel homogenizálható.
- H4. Bükk és akác segédanyagokkal történő együtt gőzölés hatása javítja a nyár faanyag színét. A gőz, mint hordozó közeg extrakt anyagokat szállíthat a nyárfába, ami jelentős színváltozást eredményez.
- H5. Gőzöléssel növelhető a nyár faanyag időjárással szembeni ellenállóképessége.

A hipotézisek mellett a disszertáció célja következtetések levonása az eredményekből, valamint költséghatékony alkalmazás, javaslattétel gyakorlati felhasználáshoz.

## Anyag és módszer

A vizsgálatok során a Pannónia nyár (*Populus x euramericana* cv. *pannonia*) előnytelen optikai tulajdonságait kívántuk javítani, oly módon, hogy gőzölési eljárásnak vetettük alá. A kísérletekhez próbatesteket készítettünk melyeknek nedvesség tartalma 8-12% között volt, amit tömegmérési módszerrel állapítottuk meg. A minták keresztmetszete 30x25 mm, a hosszuk pedig 160 mm volt, amelyet a gőzölő edény mérete alapján készítettünk el. Ahhoz, hogy a teljes keresztmetszet változásait követni tudjuk, a nyárfá mintákat szijácsra és gesztre szeparálva 90°C - 120°C -os hőmérsékleti tartományban gőzöltük 20 napig (120°C -on a kezelés 9 napig tartott). Mind a szijács, mind a geszt színváltozását objektív színméressel követtük és a CIE L\*a\*b\* háromdimenziós rendszerben adtuk meg, ahol a minta világosságát az L\* koordináta, a vörös színezetet az a\* koordináta, a sárga színezetet pedig b\* koordináta jelenti. A mérési eredmények a D65 fényforrásra vonatkoznak, 8 mm átmérőjű megvilágított felület esetén, 10°-os megfigyelés mellett. A színméréshez KONICA-MINOLTA 2600d típusú színmérő készüléket használtunk.

További kísérleteink során a nyár mintákat egy légtérben gőzöltük az iparban gyakran gőzölt akác (*Robinia pseudoacacia*) és bükk (*Fagus sylvatica*) mintákkal, hogy fokozzuk a gőzölés színmódosító hatását. A segédanyagoktól azt vártuk, hogy a gőz, mint hordozó közeg extrakt anyagokat szállíthat a nyárfába, ami jelentős színváltozást eredményez. Az alkalmazott kezelési hőmérséklet 90°C - 120°C volt, míg a gőzölés maximális

időtartama 20 nap volt (120 °C-on csak 9 nap), ami megegyezik a korábbi vizsgálatok paramétereivel. A gőzölő edényben elhelyezett javítandó (nyár), illetve segédanyag (akác vagy bükk) térfogat aránya minden esetben megegyezett, így a 100%-nak vett javítandó anyaghoz minden esetben 50% segédanyagot tettünk.

Miután változtattunk a nyár faanyag vizuális megjelenésén, megvizsgáltuk a gőzölés által létrehozott új szín tartósságát. A vizsgálatokhoz öt napig, 100, 110 és 120°C-on gőzölt nyár faanyagot használtunk, amit higanygőz lámpa által biztosított UV sugárzásnak tettük ki. A kezelés színváltoztató hatását 7, 16, 36, 60 és 90 órás besugárzás után mértük meg.

## **Eredmények és kiértékelés**

A vizuális vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy a gőzölés ésszerű alternatíva lehet a nyárfa színének javítására. A gőzölt faanyag sötétebbé, barnábbá vált, továbbá a rajzolata kiemelkedett. A jelenség a teljes keresztmetszetben jelen volt.

A gőzöléssel kialakított színváltozást az egyes színkoordináták változásának bemutatásával adjuk meg. A világosság értéke jelentős mértékben csökkent az összes beállított hőmérsékleten. A legnagyobb világosság csökkenés 44 egység volt, amit 9 napos 120°C-os gőzöléssel értünk el. Az eredmények megerősítették azt a hipotézisünket, hogy a gőzölés a megfelelő módszer a nyárfa sötét színének előállítására. Megállapítottuk, hogy a 90-110°C -os tartományban a nyár faanyag

világosságának változása nem függ a hőmérséklettől az első 5 napos gőzölés során. Ennek az eredménynek az a gyakorlati jelentősége, hogy ezeken a hőmérsékleteken nem kell szigorúan tartani egy állandó hőmérsékletet, tehát a gőzölő berendezés nem igényel precíz hőmérséklet szabályozó rendszert.

A vörös színezet értéke minden esetben folyamatosan nőtt a gőzölési idő előrehaladtával 90°C, 100°C és 110°C-os kezelések esetén. A növekedés a gőzölés első 5 napjában a kezdeti értékek 2,5-3-szorosát érték el, majd ezt a változást mérsékelt növekedés követte. A 120°C-os kezelés esetében, ahol sokkal gyorsabban zajlottak le a változások, megfigyelhető volt, hogy mind a geszt, mind a szijács  $a^*$  értéke már az első nap után a kezdeti érték 4-szeresére emelkedett, majd ezután lassult a változás. A szijács esetében ez a lassú változás folytatódott a kezelés végéig, a geszt pedig a hatodik napon elérte maximális  $a^*$  értéket és ezt követően csökkenést mutatott a gőzölés végéig.

A sárga színkoordináta növekedése hasonló volt az  $a^*$  érték növekedéséhez. 90 °C és 100 °C hőmérsékleten a szijács és a geszt görbéi közel kerültek egymáshoz. A 110°C-os kezelés a szijácsnál jelentős, a gesztnél kismértékű sárga színezet növekedést eredményezett. A legintenzívebb növekedés a gőzölés első 5 napjában következett be. Ezt a változást mérsékelt növekedés követte a gőzölés végéig. Hasonlóan a vörös színezethez, 120°C-on az első nap jelentős emelkedést hozott a sárga színezet tekintetében, majd lassulás következett be. Mind a szijács, mind a geszt sárga színezetének értéke elérte a maximumot, az előbbi a negyedik az utóbbi a hatodik napon.

Ezután a  $b^*$  értékei a szijács és a geszt esetében is a kezelés végéig csökkenést mutattak.

A 20 napos, 110°C-os gőzölés eredményeként a sárga színezet értéke 33,25 egység, ami 1,9-szerese a kezdeti értéknek. Ugyanakkor a vörös színezet legnagyobb értéke 12,3 egység, ami majdnem 5-szörösére nőtt a kezdeti értéknek. Így százalékos értékben a vörös színváltozás nagyobb. Viszont, a színkoordináták egységében mért változások alapján a vörös színezet 9,7 egységnyi növekedést, míg a sárga színezet 15,7 egységnyi növekedést mutatott. Tehát abszolút értékben a sárga színezet növekedése jelentősebb, amit még tovább fokoznak az eltérő kezdeti értékek.

A szín intenzitásának vizsgálatánál megállapítottuk, hogy a gőzölés minden vizsgált hőmérsékleten fokozza a nyár szintelítettségét ( $C^*$ ). A legmagasabb telítettségi érték 35,2 volt, ami kétszer akkora, mint a kezdeti érték.

Magas korrelációt állapítottunk meg a nyárfa gőzölése során keletkező világosság és színezeti szög értékek között, ami mind a szijács, mind a gesztre vonatkozik. A determinációs együtthatók ( $R^2$ ) magas értéke 0,88 és 0,98 között volt, ami jó lineáris korrelációt mutat. A legmagasabb értéket 100°C -os kezelési hőmérsékleten értük el.

A teljes színváltozás tekintetében a hőmérséklet és az idő növelésével egyre nagyobb  $\Delta E^*$  -ot számítottunk a kezeletlen mintákhoz képest az összes kezelési hőmérsékleten. 100°C -os, két napos kezeléssel már 6 egységnyi változást értük el, ami szabad szemmel is nagyon jól látható. A legnagyobb értéket a 120°C -os 9 napos kezelés mutatta, 45 egységnyi értékkel a



szijács és a geszt esetében is. Esetünkben a teljes színváltozás, a jelentős világosság csökkenés miatt nem ad többlet információt, mivel a  $\Delta E^*$  számításánál az  $L^*$  dominál. Ez azt eredményezi, hogy nem mutatja ki a kisebb számértékű, viszont a szemünk számára jelentősen érezhető vörös színezet változását, valamint a rajzolat általi hatásokat. A teljes színváltozás hasznos lehet a geszt és a szijács színbeli eltérésének mérésére, ami a faipar számára fontos információ. Figyelembe kell venni, hogy a fa rajzolata befolyásolhatja a szemünk számára az eredményt. A geszt és szijács homogenizálódása szempontjából optimális kezelési idők a következők:

- 90°C-on 9 nap.  $\Delta E^*=0,78$ . Az összes kezelési hőmérsékleten tapasztalt legkisebb érték, ami közel van a nem érzékelhető színelkülönbséghez. Hátránya a hosszú gőzölési idő.
- 100°C-on 5 nap.  $\Delta E^*=1,78$ . Az előkísérletek során, ami szintén 100°C-os kezeléssel járt, ugyanezt az eredményt kaptuk, miszerint a színpontok az 5. napon voltak egymáshoz a legközelebb.
- 110°C-on nem javasolt, mert nem volt kisebb érték a kiinduló állapotnál. Tehet ezen a hőmérsékleten inhomogenizálódik az anyag. Ezen a hőmérsékleten kaptuk a legnagyobb eltérést is 5,78 értékkel.
- 120°C-on 2 nap.  $\Delta E^*=1,72$

Kísérleteink következő csoportja során a nyár mintákat akác és bükk mintákkal egy légtérben gőzöltük, hogy fokozzuk a gőzölés színmódosító hatását. Az objektív színmérés alapján megállapítottuk, hogy a segédanyagok jelenléte nincs hatással világosság változására egyik hőmérsékleten sem, továbbá a nyár színezetének változását csak 100°C feletti hőmérséklet a

tartományban fokozta. Mindkét iniciátor jelenléte enyhe vörös színezet növekedést okozott a nyár szijácsnál az önmagában gőzölt nyárral összehasonlítva. Az akác jelenléte nagyobb vörös színezet változást okozott, mint a bükk jelenléte, ami az akác magasabb extraktanyag tartalmával magyarázható. A 120°C-s gőzölésnél az első két napon jelentkezik az együtt gőzölés hatása, amit később leront a gőz kimosó hatása. Ez a megállapítás a gesztre és a szijácsra egyaránt érvényes. A b\* változásának viselkedése hasonló volt a vörös színezet viselkedéséhez a segédanyagok összefüggésében. A bükk segédanyagoknak 100°C felett van enyhe hatása a nyár szijácsra és jelentősebb hatása a nyár gesztjére. A legnagyobb eltérést a 110°C -os kezelés hatására értük el. Az akác jelenléte, hasonlóan a vörös színezethez, nagyobb hatást gyakorolt a sárga színezetre, mint a bükk jelenléte. Az akác szijácsra gyakorolt hatása 120 °C -on érzékelhető, viszont a gesztre már 100 °C alatt enyhe változást 100 felett viszont jelentős változást idézett elő. Összességében megállapíthatjuk, hogy a segéd faanyagok színváltozást segítő hatása 110 és 120°C-on jelentkezik.

A nyár faanyag vizuális megjelenésén változtattunk, majd megvizsgáltuk a gőzölés által létrehozott új szín tartósságát. Ehhez gőzölt nyár faanyagot UV sugárzásnak tettük ki. Az UV sugárzás hatása a nyár faanyag világosságára azt mutatja, hogy a gőzölt faanyagok kisebb mértékű sötétedést szenvedtek el az UV kezelés során, mint a natúr faanyag. A vörös színezet tartóssága szempontjából a 120°C-os gőzöléssel előállított vörös színezet stabil maradt az UV sugárzással szemben. Továbbá a többi hőmérsékleten gőzölt nyár faanyag is jobban ellenállt az UV besugárzásnak, mint a gőzöletlen faanyag. A sárga színezet esetében is a 120°C-on gőzölt próbatestek mutatták a legnagyobb színtabilitást, de nem olyan mértékben, mint az a\* esetében. Míg a natúr faanyag sárga színezete 2,3 szeresére

növekedett addig a 120°C-on gőzölt faanyag sárga színezete csupán 1,3 szeresére emelkedett a 90 órás UV besugárzás hatására. A többi gőzölt minta színváltozása a fenti két érték között volt.

Végül a gőzölt nyár faanyag egyensúlyi nedvességtartalmát vizsgáltuk, ami a tartósság és az ellenállóképesség szempontjából fontos tényező. Ezeket a kísérleteket a kezelés után 3 év elteltével végeztük annak érdekében, hogy meggyőződjünk róla hosszú távon milyen egyensúlyi fanedvességre állnak be a kezelt minták. Ebben a 3 évben a gőzölt minták szobaszáraz körülmények között voltak tárolva. A gőzölt minták nedvességtartalmának meghatározását tömegméréses módszerrel végeztük. A mérési eredmények azt mutatták, hogy az összes kezelés hatására csökken az egyensúlyi nedvességtartalom. Folyamatos, mérsékelt csökkenés tapasztalható nedvességfelvétel terén a 90-110°C-on kezelt minták esetében. A 120°C-os gőzölés hatására, az előzőektől eltérően, az első két napos kezelés jelentősen csökkenti a felvehető víztartalmat, ezután viszont már nincs hatással a minták egyensúlyi nedvességtartalmára a további gőzölés. Az eredmények alapján kijelenthetjük, hogy a kezelési idő vagy a hőmérséklet növelésével egyre alacsonyabb egyensúlyi fanedvességre áll be a nyár faanyag. A 20 napos gőzölés hatása 90°C-on 0,5%-kal, 110°C-on pedig 1% alacsonyabb egyensúlyi fanedvességet eredményezett. A 120°C-os kezelés esetében az első két nap alatt 2%-os egyensúlyi fanedvesség csökkenést tapasztaltunk. A 2 nap utáni stagnáló eredményekből arra következtettünk, hogy sem a hőmérsékletet, sem az időt nem érdemes növelni ennek a hatásnak a fokozása érdekében.

## Tézisek

- 1) Megállapítottam, hogy a Pannónia-nyár jellegtelen szürkésfehér színe gőzöléssel javítható. Gőzölésével sötétebb, barnább szín állítható elő, ami az emberi szem számára kellemesebb, valamint a rajzolat kiemelkedik, láthatóvá válik. Kimutattam, hogy a megfelelő gőzölési hőmérséklet tartomány és időtartam meghatározható az elérni kívánt optimális szín eléréséhez. A 90-110°C-os tartományban a nyár faanyag világosságának változása nem függ a hőmérséklettől az első 5 napos gőzölés során.
- 2) Megállapítottam, hogy a gőzölés minden vizsgált hőmérsékleten fokozza a nyár színtelítettségét, ami a létrehozott szín esztétikai értékét növeli.
- 3) Kimutattam, hogy lineáris korreláció van a gőzölés során létrehozott színpontok világossága és színezeti szöge között. A 100°C-os gőzölés hozza létre a legjobb korrelációs együtthatót a színezeti szög és a világosság között, mind a szijács ( $R^2=0,94$ ), mind a geszt ( $R^2=0,98$ ) esetében.
- 4) Megállapítottam, hogy nyár faanyag szijácsának és a gesztjének a színekülönözősége homogenizálható. Ez a gőzölési hőmérsékleteknek megfelelően 90°C-on 9 nap, 100°C-on 5 nap, 120°C-on 2 nap. Ezt követően viszont a színek távolodnak egymástól. Kimutattam, hogy a 110°C-os kezelés nem alkalmas a homogenizálásra, mert a teljes gőzölési idő alatt inhomogenizálódott az anyag.

- 5) Bükk és akác segédanyagokkal történő együtt gőzölés hatása javítja a nyár faanyag színét. Feltártam, hogy az egy légtérben gőzölt bükk és az akác segédanyagok nincsenek hatással a nyár faanyag világosság változására, viszont hatással vannak a sárga és vörös színezetre. Megállapítottam, hogy a segéd faanyagok sárga és vörös színváltozást segítő hatása 110 és 120°C-on jelentkezik.
- 6) Gőzöléssel növelhető a nyár faanyag ultraibolya sugárzással szembeni ellenállóképessége. A gőzölés növeli a nyár faanyag UV sugárzással szembeni színtartósságát a gőzöletlen faanyaghoz képest. Az ellenálló képesség a gőzölési hőmérséklet növelésével emelkedett. A 90 órás UV besugárzás hatásainak összehasonlítása a kezeletlen és a 120°C-on gőzölt minták színekoordinátáira vonatkozóan a következő eredményeket hozta: A világosság csökkenés értéke a kezeletlen minta esetében 10 egység volt, míg a gőzölt minta esetében 1 egység. A vörös színezet értéke a kezeletlen minta esetében 2,9 szeresére növekedett, míg a gőzölt minta esetében nem növekedett. A sárga színezet értéke a kezeletlen minta esetében 2,3 szorosára növekedett, míg a gőzölt minta esetében 1,3 szorosára.
- 7) Bizonyítottam, hogy a gőzölés hatására csökken a nyár faanyag egyensúlyi nedvességtartalma. A gőzölési idő és a hőmérséklet növelésével egyre alacsonyabb egyensúlyi fanedvességre áll be a nyár faanyag, aminek a hatása 120°C-on maximalizálódik. A 20 napos 90°C-os gőzölés után a nyár minták egyensúlyi nedvességtartalma 9%-ról 8,5%-ra csökken, míg 100-110°C-on ez az érték 8%-ra esik vissza, ami 1%-os csökkenést jelent. 120°C-os

kezelésnél azonban már az első két napban 2%-os csökkenést mutat, így a faanyag egyensúlyi nedvességtartalma 7%-ra áll be.

## **Publikációk**

### **Folyóiratcikk:**

Banadićs, E., Gálos, B., Tolvaj, L. (2016): A sötét egzóta faanyagok helyettesítése gőzölt akác faanyaggal. *Faipar* 64(1):22-28. DOI: 10.14602/WOODSCI.2016.1.58.

Banadićs, E.A., Tolvaj, L. (2019): Colour modification of poplar wood by steaming for brown colour. *European Journal of Wood and Wood Products* 77:717-719. DOI: 10.1007/s00107-019-01397-9

Banadićs, E.A., Tolvaj, L., Varga, D. (2019): Colour stability of steamed poplar wood during short-term photodegradation. *BioResources* 14(4):8250-8256. DOI: 10.15376/biores.14.4.8250-8256

Banadićs, E.A., Tolvaj, L., Varga, D. (2022): Steaming of poplar, black locust and beech timbers simultaneously to investigate colour modification effect of extractive transport. *Drewno* 65(209):41-51. DOI: 10.12841/wood.1644-3985.368.04

Preklet, E., Tolvaj, L., Banadics, E.A., Alpár, T., Varga, D. (2019): Colour modification and homogenisation of larch wood by steaming. *Wood Research* 64(5):811-820.

Tolvaj, L., Banadics, E., Tsuchikawa, S., Mitsui, K., Preklet, E. (2019): Color modification and homogenization of sugi wood by steaming. *Asian Journal of Forestry* 3(1):20-24 DOI: 10.13057/asianjfor/r030103

### **Konferenciakiadvány - cikk:**

Banadics, E. (2018): Nyár faanyag modifikálása segédanyagokkal. In: Keresztes, G., Szabó, Cs. (szerk.) *Tavaszi Szél Konferencia III. kötet. Doktoranduszok Országos Szövetsége Kiadó. Budapest. p. 39-48. DOI: 10.23715/TSZ.2018.3*

Banadics, E. (2018): Colour modification of poplar wood by steaming. In: Németh, R., Teisinger, A., Rademacher, P., Bak, M. (szerk). *8th Hardwood Conference, With special focus on „new aspect of hardwood utilisation – from science to technology”*. p 40-42. ISBN 978-963-359-095-9

### **Poszter:**

Banadics, E., Gulyás, K. (2015): A faipari felhasználásra szánt faanyagok jövője a klímaváltozás tükrében. V. Kari tudományos konferencia, Sopron.

Banadics, E. (2018): Colour modification of poplar wood by steaming. *8th Hardwood Conference, With special focus on „new aspect of hardwood utilisation – from science to technology”* Sopron.

### **Konferenciakiadvány - Absztrakt/kivonat:**

Banadics, E., Gulyás, K. (2015): A faipari felhasználásra szánt faanyagok jövője a klímaváltozás tükrében. In: Bidló, A., Facskó, F. (szerk.) V. Kari Tudományos Konferencia - Nyugat-magyarországi Egyetem Erdőmérnöki Kar konferencia előadásainak és poszttereinek kivonatai. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó. p. 29.

Banadics, E. (2018): Nyár faanyag modifikálása segédanyagokkal. In: Keresztes, G. (szerk.) Tavaszi Szél Konferencia Absztraktkötet. Doktoranduszok Országos Szövetsége Kiadó Budapest. p. 335. ISBN 978-615-5586-26-2

Tolvaj, L., Banadics, E., Tsuchikawa, S., Inagaki, T., Varga, D., Preklet, E. (2018): Colour modification of conifer timbers by steaming for getting attractive braun colour. SWST/JWRS International Convention: Era of a Sustainable World - Tradition and Innovation for Wood Science and Technology.