

Nyugat-magyarországi Egyetem
Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar
Faanyagtudományi Intézet

Hőkezelés hatása a bálványfa évgyűrűi mentén meghatározott egyes fizikai tulajdonságaira

Konzulens: Dr. Horváth Norbert
Dr. habil. Németh Róbert

Készítette: Gyuricsek Tamás

Sopron, 2014.04.17.

Tartalom

1. Bevezetés, célmeghatározás.....	3
2. Bálványfa (<i>Ailanthus altissima</i> Swingle).....	4
3. Publikációk és korábbi vizsgálatok eredményei	6
4. A hőkezelés	11
5. Vizsgálatok leírása	14
5.1. Hőkezelő berendezés, választott paraméterek	14
5.2. Próbatetek kialakítása	15
5.3. Egyensúlyi fanedvesség meghatározása	16
5.4. Sűrűség meghatározása.....	18
5.5. Színmérés.....	19
5.6. Dimenzióstabilitás	20
6. Vizsgálati eredmények értékelése	21
6.1. Egyensúlyi fanedvesség.....	21
6.2. Sűrűség	23
6.3. Színmérés.....	24
6.4. Dimenzióstabilitás	26
7. Összefoglalás	30
8. Köszönetnyilvánítás	32
9. Irodalomjegyzék	33
10. Mellékletek.....	34

1. Bevezetés, célmeghatározás

TDK-dolgozatom a száraz termikus kezelés hatásának feltérképezésével foglalkozik bálványfa fatestének vonatkozásában. A kiválasztott fizikai tulajdonságok összehasonlítása egy 180°C -os és egy 200°C-os menetrend alkalmazása mellett valósult meg. Akutatómunka hipotézise az volt, hogy egy a bétől számított 13 évgyűrűt magában foglaló fatest fizikai tulajdonságainak évgyűrűk mentén történő meghatározása során a kontroll és a hőkezelt minták a bétől kifelé haladva eltérő viselkedést mutatnak majd. A hipotézis alapjául a fiatalkori ún. juvenilis fatest kémiai és anatómiai szerkezetének változékonysága szolgált. A vizsgálati anyagokegy gyorsnövésű, széles évgyűrű szerkezetű fatörzsből kivágott mintából származtak.

A bálványfa hazánkban a kevésbé ismert fajok közé tartozik. Fizikai tulajdonságai mindazonáltal nagyon hasonlatosak a jól ismert kőris illetve nemes tölgyek fájához. Ennek köszönhetően ismét a tudományos kutatások fókuszába került. Dolgozatomban az egyes évgyűrűk mentén kivágott minták sűrűségét, egyensúlyi fanedvességét, zsugorodás-dagadási jellemzőit és a CIE Lab színmérő rendszer segítségével megállapított színváltozását tárgyalom.

2. Bálványfa (*Ailanthus altissima* Swingle)

Elterjedése

Az *Ailanthus* (bálványfa) nemzetségének 9 faja ismert. Kelet-Ázsiától Észak-Ausztráliáig honosak. A hazánkban is elterjedt közönséges bálványfa (*Ailanthus altissima* vagy *Ailanthus glandulosa*) Kína középső és északkeleti részén, valamint Koreában őshonos. Európába 1751-ben került és mint parkfa gyorsan elterjedt. Hazánkban a lassabban nöövő télálló változata terjedt el és kb. 1820-tól ültetik. Elsősorban a sík- és dombvidék fája, elterjedésének a felső határa 1000 m. Melegkedvelő, így érzékeny a korai fagyokra és az erős téli hidegekre. A szélsőséges (pl. száraz) termőhelyeket is jól viseli, de szép növekedést,



1. ábra Bálványfa (forrás: www.wikipedia.org)

jó minőségű, méretes faanyagot jó vízgazdálkodású, levegős, humuszos talajokon biztosít. Rendkívül fényigényes. Hazánkban elsősorban a lakott településeken, utcákon, parkokban található, de növekvő a szerepe a homok fásításában is. (Molnár S., 2004)

Az élő fa jellemzői

Fiatalkorban rendkívül gyorsan nöövő, 20–25 m magasságot, 0,3–0,5 m vastagságot ér el 35–40 éves korban. Budapesten a Városmajorban található talán az ország legnagyobb és legöregebb bálványfája (100–120 éves) 1 m átmérőjű és 23 m magas. Könnyen telepíthető és kiválóan sarjadzik. Gyakran szenved vihartörést. Levelének és fiatal hajtásainak kellemetlen az illata, a kérge is igen keserű (így a biotikus károsítók nem kedvelik). Levele páratlanul szárnyalt, nagy méreteket ér el. Virágja az akác után nyílik (június-júliusban), jó mézelő. Kérge sima, szürke, az idősebb fákön hosszan elnyúló fehér repedések keletkeznek. (Molnár S. – Bariska M., 2005)

A fatest makroszkópos jellemzői

A fája hasonlít a kőriséhez, világossárgás színű. A geszt alig különíthető el a széles szíjácstól, de kicsit sötétebb narancssárgás árnyalatú. A fatest dekoratív megjelenésű, a sugárirányú metszet a pászták elkülönülése miatt csíkos, az érintőirányú pedig rajzos. (Molnár S. – Bariska M., 2005)

Mikroszkopikus jellemzők

Tipikusan gyűrűslikacsú fafaj, a korai pásztában nagyméretűek az edények (200–300 μm). A késői pásztában az edények a szilhez hasonlóan érintőirányú sávokat alkotnak. Az edényfalakon spirális sejtfalvastagodás figyelhető meg. A bélsugarai vastagabbak, mint a kőrisnél, szabad szemmel is jól láthatók, nagyszámúak és selyemfényűek. A bélsugártükrök a sugárirányú metszeteken 1 mm magasak is lehetnek. A farostok viszonylag hosszúak: 1,2–1,3 mm. (Molnár S. – Bariska M., 2005)

Műszaki jellemzői

Kevésbé ismert, hogy a bálványfa fája a fizikai-mechanikai tulajdonságokat tekintve közel azonos értékű a kőrisével.

Sűrűsége:		Szilárdsága (rostokkal párhuzamosan):	
ρ_0	650 kg/m ³	- nyomó	69,5 MPa
Zsugorodása:		- hajlító	94,8 MPa
-húr	11,3%	-húzó	199,1 MPa
-sugár	5,3%	-nyíró	10,7 MPa
		-ütő-hajlító	6,8 J/cm ²
Keménysége (Brinell):		Statikus rugalmassági modulusz (hajlító):	
-bütü	45 MPa		12200 MPa

Gyakorlati tapasztalatok szerint a bálványfa faanyaga már nem rendelkezik a levél és a kéreg kellemetlen illatával, de a faanyagot a különböző gombakárosítók gyorsan megtámadják. Tehát a kevésbé tartós fafajok közé tartozik. (Molnár S., 2004)

Kémiai tulajdonságok

E fafaj kémiai jellemzőire részletes vizsgálatok nem állnak rendelkezésre. A mohácsi farostlemezgyárban végzett kísérletek szerint magas cellulóztartalma (54,5%) és hosszú rostjai miatt kedvező lehet farostlemezek és papírgyártás alapanyagaként.

Gyakorlati tapasztalatok szerint a bálványfa faanyaga már nem rendelkezik a levél és a kéreg kellemetlen illatával.(Molnár S. – Bariska M., 2005)

Fahibák, károsodások, tartósság

A bálványfa érzékeny a fagyokra. Fáját a gombák, rovarok könnyen megtámadják. Így nem tartozik a tartós fafajokhoz. Döntéskor belül gyakran korhadt. Nem fülledékeny, de kékülésre hajlamos. Könnyen reped, vetemedik.(Molnár S. – Bariska M., 2005)

Felhasználása

Az erdei választékolás során a kitermelt bálványfából fűrészipari rönköt, papírfát, rostfát és tűzifát készítenek. A fűrészüzemi feldolgozásnak nincsenek tapasztalatai. Javasolható, hogy a méretes anyagból fő termékként bútorelvet, kiegészítő termékként raklapdeszkát és parkettfríz gyártsanak. A kisebb tartósság miatt bálványfából oszlop- és karóféleség nem készíthető. Mesterséges szárításkor a körisnek megfelelő menetrendek alkalmazhatók. Vizsgálatok szerint a bálványfa kedvező szeg- és csavarállósági értékekkel rendelkezett. Így javasolható a raklapgyártásban való felhasználása is. A bálványfa problémamentesen ragasztható és felületkezelhető. A bútorgyártás során a körishez hasonló területeken lehet felhasználni (tömör frontfelületek, székek, kárpitos bútorok szerkezeti elemei stb.). Szép rajzolata kedvezően érvényesülhet a belsőépítészetben is (pl. falburkolatok).(Molnár S. – Bariska M., 2005)

3. Publikációk és korábbi vizsgálatok eredményei

A Faanyagtudományi Intézet által a rendelkezésre bocsátott három, a bálványfa témakörét taglaló, korábbi szakdolgozatok és a Bútor és Faipar című folyóirat egy 1996-ban megjelent cikkének segítségével szeretném összefoglalni az ismeretanyagokat.

Kardos József (1988) szakdolgozatában arra az eredményre jutott, hogy Bálványfa mechanikai, fizikai tulajdonságairól nagyon kevés irodalmi adat állt a rendelkezésére. A meglévő irodalmi adatokkal saját mérési adatait összehasonlítva megállapította, hogy kisebb eltérésektől eltekintve közel megegyezők. Megjegyzi, hogy „Ahhoz, hogy a bálványfa esetleges felhasználhatóságáról bővebb képet nyerjünk, szükséges összehasonlítani egy már jól ismert fafaj fizikai, mechanikai tulajdonságaival.” Mivel a bálványfa közös rendszertani csoportba tartozik a szintén gyűrűslikacsú körissel, továbbá kinézetre, színárnyalatra is hasonlóak, ezért ennek a fának a műszaki tulajdonságaival hasonlította össze a bálványfáét. Kardos szerint a legfontosabb fizikai jellemző a sűrűség, amely elsődlegesen utal a szöveti szerkezetre és meghatározója valamennyi jellemzőnek. A bálványfa sűrűségét azonban nem nevezi jelentősnek. Érdekes módon a sűrűség alacsonyabb értéke mellett bütükeménységét nagyobbak, nyomószilárdságát pedig a körisnél alig kisebbnek találta. A húzó-, hajlító-, nyírószilárdsági vizsgálatainál a köris szilárdsági értékei jóval kedvezőbbek voltak. Eztazzal magyarázza, hogy a köris évgyűrű szerkezeténél a korai pászta tömörebb, míg a bálványfa korai pásztája sokkal nagyobb üregű edényeket tartalmaz és a likacsgyűrű nagyon széles. E szerkezeti felépítés miatt kedvezőtlenebbnek tartja a rugalmassági tulajdonságait. Merevnek és ridegnek nevezi a bálványfa anyagát, melyet a törési kép jellegéből is kikövetkeztet. A dolgozat eredményeit összefoglalva megállapítja, hogy a bálványfa fájának rajzolata, színárnyalata szép, szilárdsági értékei viszonylag jók, rugalmassági tulajdonságai gyengébbek. Olyan területen célszerű alkalmazni fáját, ahol az esztétikai hatás játszik döntő szerepet, mint pl. falburkolatoknál, belsőépítészetben, intarzia készítésénél. Szilárdsági értékei alapján parkettagyártásra, aglomerált lapok gyártására és papírgyártásra is alkalmasnak tartja fáját.

Várhegyi Gabriella (1995) szakdolgozata a bálványfa mechanikai tulajdonságait taglalja. A légszáraz rugalmassági modulusz és a légszáraz sűrűség között érdemi kapcsolatot nem talált, továbbá a vizsgált fa fatestében a sűrűségi értékek alakulását egyenletesnek jellemzi. Az egyik legkisebb sűrűségű próbatest 12,56 GPa-os rugalmassági moduluszhoz 560 kg/m³ sűrűségi értéket határozott meg, míg a 16-os próbatestnél, ami a legmagasabb sűrűségűek között volt 12,46 GPa-os rugalmassági értékhez 650 kg/m³ sűrűségi értéket mért. Az adatokból kiderül, hogy a légszáraz sűrűség 510-650 kg/m³ közötti értékű a vizsgált bálványfa minták esetében. Megjegyzi továbbá, hogy a vizsgált bálványfában a lignifikáció mértéke nem túl magas, érdemes ezért ezt a fafajt tovább vizsgálni idősebb, gesztesedett egyedeknél, ahol a sűrűségi értékek nagyobb szórást mutatnak. A légszáraz hajlítószilárdság és a légszáraz sűrűség között érdemi összefüggésre nem talált. Összehasonlítva az egyik legkisebb (510

kg/m³) és legnagyobb (650 kg/m³) sűrűségű próbatesteket, közel azonos hajlítószilárdsági értékeket (100,81 GPa illetve 101,00 GPa) határozott meg. Mérései szerint a légszáraz sűrűség és a légszáraz nyírószilárdság grafikonjának haladásában azonos tendencia mutatkozott, ami valamilyen összefüggésre enged következtetni. Míg egy 581 kg/m³ sűrűségű próbatestnél 9,38 MPa-t, addig egy 678 kg/m³ sűrűségűnél 12,01 MPa nyírószilárdsági értéket rögzített. A sűrűség és a szegállósági értékek között nem talált érdemi kapcsolatot. Hasonlóan a többi vizsgálathoz, ennél a mérésnél is kihangsúlyozza, hogy a sűrűségi értékek kis szórásúak ahhoz, hogy érdemi összefüggés megállapítható legyen közöttük.

A mérési eredmények és az irodalmi értékek összehasonlítása

Fafaj	$\rho_{12}[k/m^3]$		$\sigma_{haj\ 12}[MPa]$		$E_{12}[GPa]$		$\tau_{12}[MPa]$	
Forrás	irodalmi adat	saját adat	irodalmi adat	saját adat	irodalmi adat	saját adat	irodalmi adat	saját adat
Magasköris	690		120		13,9		12,0	
Bálványfa	650	610	102,7	94,83		12,2		10,66

1. táblázat A mérési eredmények és az irodalmi értékek összehasonlítása (Várhegyi G., 1995)

Várhegyi ugyancsak megállapítja, hogy abálványfa fizikai és mechanikai tulajdonságaira nagyon kevés irodalmi adat áll rendelkezésre. Mért adatai és a meglévő irodalmi adatok jelentős eltérést nem mutatnak. Ahhoz, hogy a bálványfa felhasználhatóságáról bővebb képet kapjunk, érdemes összehasonlítani egy ismert fafaj fizikai és mechanikai tulajdonságaival. Mivel a bálványfa leginkább a magaskörishoz hasonló, ezzel a fafajjal hasonlította össze. Az egyik legfontosabb fizikai jellemző a sűrűség, mely elsődlegesen utal a szöveti szerkezetre és így meghatározója valamennyi jellemzőnek. Megállapítja, hogy a bálványfa sűrűségi értékei alacsonyabbak a körisnél. A köris hajlító- és nyírószilárdsági értékeit viszont magasabbnak nevezi a bálványfa értékeinél, melyet azzal magyaráz, hogy a köris évgyűrűszerkezeténél a korai pászta tömörebb, míg a bálványfa korai pásztája sokkal nagyobb üregű, a likacsgyűrű nagyon széles és nagy edényű. A szerkezeti felépítése miatt kedvezőtlenebbek a rugalmassági tulajdonságai. Várhegyi a bálványfa felhasználási területeit Kardossal egyezően inkább az esztétikai célú, belsőépítészetre és alapíró-, illetve agglomerált lapok gyártására szűkíti.

Szintén a bálványfával kapcsolatos Varga Anikó (1995) szakdolgozata, amelyben megállapítja, hogy húzószilárdságáról irodalmi adat nem állt rendelkezésre. Mérési eredményeit az egyazon fafajcsoportba tartozó köris szilárdsági értékével (165 MPa)

hasonlította össze. Az húzószilárdsági átlagérték (173,38 MPa) egyértelműen mutatja, hogy a mérések szolgáltatta eredmények igen nagyok. Ezt a következőkkel magyarázza: „A bálványfa azon fák közé tartozik, amelyeknél későn, 40 év után indul meg a lignifikáció. Valószínű, hogy a vizsgált faminta fiatal fából származik, így igen jelentős a cellulóztartalma. A cellulóz nagy húzószilárdsága azonban növeli a faanyag szilárdságát is. A rugalmassági modulus a szilárdság növekedésével szintén emelkedik.” A vizsgálata során használt próbatestek átlagsűrűsége a 610 kg/m^3 volt, amit összehasonlítva az irodalmi adattal (670 kg/m^3) megállapította, hogy a két érték eltérése nem nagy. Ez a kis eltérést azonban természetesnek véli, mivel a termőhely és az életkora nagymértékben befolyásolják mind a fizikai, mind a mechanikai tulajdonságokat. A nyomószilárdsági értékek a sűrűség növekedésével növekvő tendenciát mutattak. Míg a bálványfa nyomószilárdsága irodalmi adatok szerint 44, 14 MPa, a kőrisé 52 MPa volt, addig amért 69,49 MPa ezeknél lényegesen nagyobbak bizonyult. A sűrűségváltozás az átlagértékhez viszonyítva azt mutatta, hogy nagy szóródás a minták között nincsen, mivel a legtöbb próbatest sűrűségi értéke a $550 - 650 \text{ kg/m}^3$ -es sávban mozogott. A sűrűség és a keménységi szám közötti összefüggés az irodalmi adatokhoz hasonlóan alakult, tehát a sűrűség növekedésével a keménység is nőtt. Mindkét oldalkeménység értéknél észrevehető volt, hogy a mért adatok szórása kisebb, mint a bütükeménységnél. Ezt a fa egyenletesebb szöveti szerkezetével magyarázta. Konkrét keménységi adat a Krippel-Pallay-féle keménységi számra nem volt elérhető, így ezek összehasonlítását nem tudta elvégezni. Az átlagsűrűség 630 kg/m^3 volt, amely érték közel van az irodalomban szereplő 670 kg/m^3 -hez. Összefoglalva a felhasználás terén hazánkban kevésbé ismert bálványfa szilárdsági vizsgálatait során megállapította, hogy nem elhanyagolható tulajdonságai sokrétű felhasználást tesznek lehetővé. Szilárdsági értékei a kőriséhez hasonlóak, keménysége is jó. A húzószilárdsági eredményeknél meg kell említeni, hogy valószínűleg idősebb, érettebb fa vizsgálatánál alacsonyabb értékeket kapnánk, így a felhasználás előtt mindenképpen további vizsgálatok javasoltak. Mivel a bálványfának szép rajzolata, színe van, szilárdsági értékei viszonylag jók, faburkolatok készítésénél, belsőépítészetben eredményesen felhasználható. Ezen kívül parkettagyártásra szintén megfelel.

A Bútor és Faipar című folyóirat 1996/4. számában megjelent "Felhasználható-e a bálványfa(ecetfa)?" című cikkben a bálványfa fizikai, mechanikai tulajdonságait vizsgálták és hasonlították össze a kőrissel. A Kiskunsági Erdészeti és Faipari Rt. Császártöltési

Erdészetétől kapott vizsgálati anyag segítségével elvégezték a legfontosabb faanyag tulajdonságokra vonatkozó vizsgálatokat. Munkájuk során a faanyag fizikai, mechanikai tulajdonságainak meghatározásához sűrűségi, húzó- és nyomószilárdsági, nyírószilárdsági, hajlítószilárdsági illetve keménységi vizsgálatokat végeztek, valamint meghatározták a statikus rugalmassági moduluszt is. A felhasználás során fontos szegezhetőség eldöntésére szegállósági próbák szolgáltak. Az elvégzett mérések illetve a számításokhoz felhasznált összefüggések ismertetésének mellőzésével az eredményeket táblázatos formában közölték, feltüntetve az ugyanazon csoportba tartozó magas kőris jellemzőit is.

Vizsgált jellemzők		Bálványfa	Kőris
Testsűrűség	(kg/m ³)	610	690
Nyírószilárdság	(MPa)	10,66	12,00
Brinell keménység bütü	(MPa)		65,00
Krippel-Pallay keménység bütü	(MPa)	35,7	45,20
Hajlítószilárdság	(MPa)	94,83	120,00
Rugalmassági modulusz	(MPa)	12200	13400
Nyomószilárdság	(MPa)	64,49	52,00
Szegállósági vizsgálat fajlagos húzóerő			
Beverés után két órával			
sugárirány	(N/mm)	64,36	16,00
húrirány	(N/mm)	82,33	
Beverés után egy héttel			
sugárirány	(N/mm)	59,27	
húrirány	(N/mm)	69,84	

2. táblázat A mérési eredmények (Varga. Fné. - Fehér S.;1996)

Összefoglalva a vizsgálati eredményeket elmondható, hogy a hazánkban kevésbé ismert bálványfa szilárdsági tulajdonságai széleskörű felhasználást tesznek lehetővé. Szilárdsági és keménységi értékei a kőrishez hasonlóak, a hajlítószilárdság valamivel alatta marad, a nyomószilárdság viszont magasabb. Valamennyi szilárdsága a kocsányos tölgy, éger szelídgesztenye, mezei szil értékeit meghaladva rugalmas, teherviselő elemként jól felhasználható anyagot jellemez. Mivel a bálványfának szép a rajzolata és színárnyalata, olyan felhasználási területeken célszerű alkalmazni, ahol a szilárdsági tulajdonságok mellett az esztétikai funkció is szerepet kap: belsőépítészet, falburkolat, parkettagyártás, intarzia. (Varga. Fné.-Fehér S.,1996)

A cikk címével kapcsolatban fontosnak tartom megjegyezni, hogy a bálványfát Molnár S. és Bariska M. (2005) alapján hibásan nevezik ecetfának, mert a botanikában létezik egy "igazi" ecetfa, a *Rhustyphina*.

A bálványfa hasznosításáról ezek mellett a közelmúltban is születtek publikációk. Reinhard Brandner és Gerhard Schickhofer (2013) Holztechnologie című folyóiratban a bálványfában rejlő mechanikai potenciál vizsgálatával foglalkoztak szerkezeti fa vonatkozásában.

4. A hőkezelés

Az elmúlt években a faanyagok ipari hőkezelésére számos országban szabadalmaztattak eljárásokat, melyek tulajdonképpen a hő hatására történő bomlásfolyamatok kézbe tartására és új, módosított, minőségi faanyagok gyártására irányultak. Az eljárások a gazdasági érdekeknek megfelelően részben titkosak, de a kutatásoknak köszönhetően jól nyomon követhető a hatásuk. (Horváth N., 2008)

A faanyag, mint komplex makromolekulás rendszer, hő hatására rendkívül bonyolult, összetett kémiai és fizikai-kémiai változásokon megy keresztül. A lejátszódó változások elsősorban az összetett rendszer kémiai, fizikai, anatómiai felépítésétől - mint belső tényezőktől -, valamint az alkalmazott hőmérséklettől és nyomástól, a hőhatás idejétől, a rendszert körülvevő atmoszférától, mint külső tényezőktől függenek. Jelentősen befolyásolhatják a lejátszódó folyamatokat a kis mennyiségben jelenlévő járulékos anyagok is, így iniciálhatnak vagy inhibeálhatnak egyes folyamatokat. Hasonló hatásúak lehetnek a faanyagban eredetileg jelenlévő vagy kezelés során bevitt szerves anyagok is. Fontos szerepet játszik a hő okozta átalakulásokban, a faanyagban jelenlévő víz, nedvességtartalom is. Befolyásolja a folyamatokat a faanyag anatómiai felépítettsége, fajlagos felülete és szemcsemérete. A faanyag első közelítésben is három fő komponensből álló rendszer, melyből mindegyik komponens önmagában is összetett, vagy molekulatömeg eloszlását tekintve, vagy a kémiai összetételéből adódóan. Ebből következően a faanyag termikus bomlása számos egymást követő és versengő folyamatnak az eredője. (Németh K., 1998)

A degradációs folyamatokat csak az egyes komponensekre jellemző és a komplex rendszerrel lejátszódó átalakulások együttes ismeretében lehet helyesen értelmezni, a degradációt a kívánt irányba vinni, vagy meggátolni. (Csonkáné, 2005)

A növényi eredetű anyagok e három fő alkotórésze a cellulóz, a hemicellulóz és a lignin. E természetes polimerek hő hatására igen eltérően viselkednek. A poliszacharidok viszonylag szűk hőmérséklettartományban bomlanak, a cellulóz termikusan stabilabb, mint a hemicellulóz. A lignin egy aromás gyűrűket tartalmazó térhálós polimer, bomlása szélesebb hőmérséklettartományban megy végbe, mint a poliszacharidoké. A lignocellulózok termikus

sajátságainak vizsgálatakor figyelembe kell vennünk, hogy a növényi mintákban jelenlevő egyéb komponensek (szervetlen ionok, extrahálható vegyületek) befolyásolják a természetes polimerek hőbomlását. A szervetlen alkotók katalizátorként hatnak, jelenlétükben a növényi anyagok bomlása alacsonyabb hőmérsékleten megy végbe, és a folyamat során keletkező szerves maradék mennyisége megnő. Az extrahálható komponensek illékonyságuknak köszönhetően a növényi anyag gyúlékonyságát befolyásolják. (Mészáros E., 2005).

A kezelés közegeként az ipari alkalmazásban légköri levegőt több vagy kevesebb vízgőztartalommal, nitrogént és növényi olajokat (napraforgó-, repce-, lenolajat) használnak.

A faanyagot körülvevő közeg jellege határozza meg alapvetően a lejátszódó folyamatokat. Az inert gázatmoszféra (nitrogén) és a vákuum a termikus bomlásfolyamatoknak kedvez, míg az oxigén, illetve a levegő jelenlétében - különösen magasabb hőmérsékleten - az oxidációs reakciók a mérvadók. A hidrolitikus folyamatokat a vízgőz segíti elő, mind az oxidatív, mind inert gázatmoszférában. Bizonyos esetekben rövidebb idejű, magasabb hőmérsékletű, ill. hosszabb idejű, alacsonyabb hőmérsékletű kezelés azonos hatást eredményezhet. (Németh K., 1998)

A hőhatás következtében lejátszódó változások jellegzetesen hőmérsékletfüggők, adott hőmérséklet-intervallumokhoz jellemző folyamatok kapcsolhatók. (Németh, 1998; White és Diätenberger, 2001):

- 100°C-ig a fában levő vízzel összefüggő folyamatok játszódnak le, így elsősorban a fagyás, olvadás, szorpciós folyamatok, párolgás. Ebben a hőmérséklet tartományban található a hidrogénhidas kötésben bekövetkező változásokhoz kapcsolható átalakulások, illetve az ezeket jelző másodlagos átalakulási hőmérsékletek is.

- 100-200°C között hasadnak a gyengébb kémiai kötések. Oxidatív atmoszféra esetében ebben a tartományban oxidálódnak jelentősebb mértékben a járulékos alkotórészek, a fa színének jelentős változását eredményezve. Már keletkeznek kisebb mennyiségben gázok, elsősorban szén-dioxid.

- 200-400°C között játszódik le a faanyag legintenzívebb átalakulása mind inert, mind oxidatív atmoszférában. Gyakorlatilag minden fakomponensben alapvető kémiai változások zajlanak le, jelentős mennyiségű gáz- és gőzalakú termék keletkezése közben.

- 400°C felett elsősorban szenesedési folyamatok zajlanak az eredeti kémiai struktúra teljes elbomlásával.

Az átalakulásoknak megfelelően az ipar törekvése olyan eljárások kifejlesztése, mely mind a rentabilitás, mind a befolyásolni kívánt tulajdonságokra vonatkoztatott hatások szempontjából optimálisnak vehetők. A hőkezeléssel, mint módosító eljárással kapcsolatosan a legfontosabb anyagismerettani alaptulajdonságok közül az alábbiak említhetőek(Horváth N., 2008):

-Fizikai:

- szín
- tömeg- és térfogatcsökkenés, sűrűség alakulása
- porozitás
- dimenzióstabilitás
- fa és víz kapcsolata, egyensúlyi fanedvesség és szorpciós tulajdonságok
- hőtechnikai tulajdonságok

-Mechanikai:

- hajlítószilárdság
- ütőhajlító-szilárdság
- nyírószilárdság
- nyomószilárdság
- húzószilárdság
- keménység

-Kémiai:

- pH-érték
- szabad gyökök száma
- emissziós értékek

-Egyéb:

- gombaállóság
- természetes tartósság

5. Vizsgálatok leírása

5.1. Hőkezelő berendezés, választott paraméterek

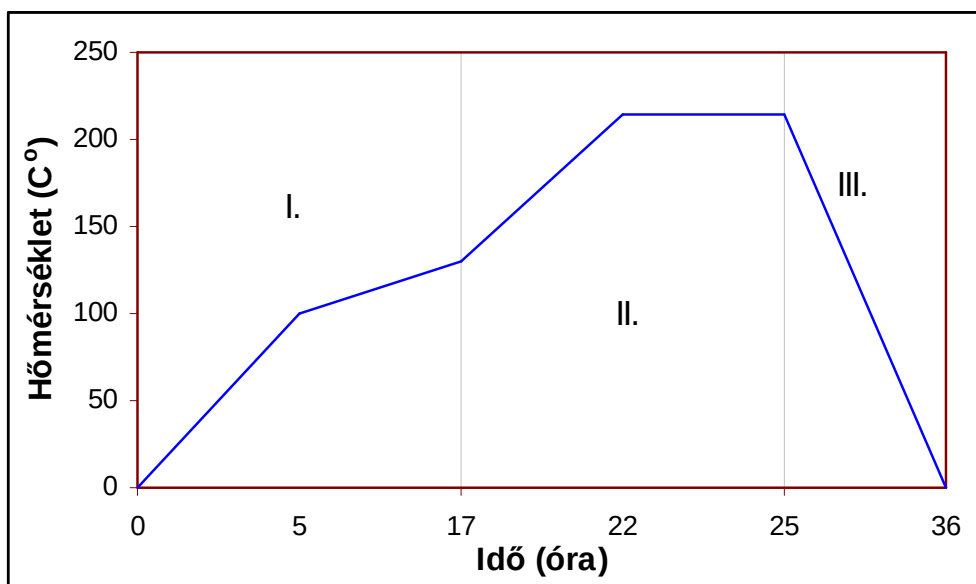
A hőkezelésre a Faanyagtudományi Intézet erre célra kifejlesztett speciális, kb. 0,4 m³ belső térfogatú, szigetelt berendezését használtam. A berendezésben belső légfűtés működik, bordázott 2 pár U-alakú egyenként 750W teljesítményű elektromos fűtőszállal, melyeket a hátsó faltól kb. 10-15cm re lévő acéllemez választ el a kezelőtértől. A levegő keringetését, a kaloriferek felett elhelyezett, 23cm átmérőjű alumínium ventillátorok (2db.) biztosítják. A hőfokszabályzás egy PT100-as hőmérő és egy új Siemens szabályzóegységvégzi. A keletkező gázok, csapadékok elvezetése is megoldott. A gázok egy része a szerkezet tetején lévő 5cm átmérőjű nyíláson és flexibilis alumíniumcsövön keresztül jut a kémény kürtőjébe. A csapadékok elvezetését és a védőgáz bejuttatását egy kettős járatú alsó csőrendszer biztosítja. A tűzbiztonsági okokból felszerelt hőkorlát egy kritikus hőmérséklet felett leállítja a programot, s az e célból felszerelt nitrogénpalackból egy elektromágneses szelepen át védőgázzal árasztja el a kamrát, ami csökkenti az éghető komponensek koncentrációját. Az esetleges robbanás hatásának csökkentése érdekében a kamra ajtaja 4 ponton rugózott pántolással szerelt. A külön helységben elhelyezett számítógép segítségével, vagy manuálisan is történhet a programozás.



2. ábra hőkezelő berendezés (Horváth N., 2008)

A száraz termikus kezeléseket a ThermoWoodmenetrend alapján végeztem, így röviden kitérek a kezelés egyes szakaszainak értelmezésére.

A „ThermoWood” technológia három fő részre tagolható, ahol az első fázisban a hőmérséklet növelése, majd magas hőmérsékleten való szárítás történik. Hőbevezetés alatt, gőzt felhasználva a szárítókamra hőmérsékletét relatív gyorsan kb. 5 óra alatt 100°C-ig, s ezek után további 12 óra alatt 130°C-ig fokozatosan növelik. Miután a magas hőfokú szárítás megtörtént, a második fázisban a hőmérsékletet 185-215°C közé növelik, majd 2-3 órán át szinten tartják, a kívánt végfelhasználói céloktól függően. A harmadik, egyben zárófázis az ún. klimatizálás során a hőmérséklet csökkenése mellett gőz segítségével újranedvesítik a faanyagot, melynek nettó nedvességtartalma kb. 4-7%-ot ér el a végső stádiumban. (Horváth N., 2008)



3. ábra Thermo Wood-mentrend (Thermo Wood Handbuch, 2004)

A bálványfa próbatestek hőkezelése során két menetrendet alkalmaztam. Az egyiknél 180 °C-on 10 órás hőntartás mellett, a másik kezelés során pedig 200 °C-os ugyancsak 10 órás hőntartás mellett kezeltem a faanyagokat. A kezelés a száraz eljárással, azaz külön gőzbevezetés nélkül történt.

5.2. Próbatestek kialakítása

A hőkezelések után a két kezelt és egy kontroll kezeletlen deszkadarabok 3., 5., 7., 9., 11., 13. évgyűrűikből úgy fűrészelttem ki a próbatesteket, hogy az anatómiai főirányoknak megfelelőek legyenek. Az eltérő évgyűrűszélességek miatt a pásztahatártól befelé azonos vastagságú fatest lett kimunkálva. Ez kis mértékben torzítja a teljes évgyűrűre vett tulajdonságokat. Így a próbatestek méretei 7*20*30 mm lett. A két hőkezelt faanyag mellett a kontroll, kezeletlen rész is ugyan abból a deszkából származott.



4. ábra Próbatestek alapanyaga évgyűrű számozással



5. ábra Próbatestek

5.3. Egyensúlyi fanedvesség meghatározása

A kezelt és kezeletlen próbatesteket laboratóriumi körülmények között Binder típusú berendezésben klimatizáltam. Az alkalmazott levegő relatív páratartalma 65% és hőmérséklete 20 °C, tehát normál klíma volt. A mérésnél ezred gramm pontosságú digitális analitikai mérleget alkalmaztam.



6. ábra Analitikai mérleg

A nettó egyensúlyi nedvességtartalom az abszolút száraz tömeg és a klimatizálás végén, azaz a tömegállandóság beálltakor mért nedves tömeg különbségéből határozható meg az alábbi képlet segítségével:

$$u = \frac{m_x - m_o}{m_o} \cdot 100$$

ahol: u nettó nedvességtartalom, %-ban

m_x a nedves tömeg, g-ban

m_o az abszolút száraz tömeg, g-ban



7. ábra Binder típusú klímakamra

5.4. Sűrűség meghatározása

A mérés során az egyensúlyi fanedvesség meghatározásánál említett próbatesteket vizsgáltam tovább. A próbatest rost-, húr- és sugárirányú méreteit századmilliméteres pontossággal, digitális tolómérővel határoztam meg.



8. ábra Digitális tolómérő

A méretekből és az ezred gramm pontosságú, digitális mérlegen mért tömegekből az alábbi képlet segítségével számítható a próbatestek sűrűsége:

$$\rho = \frac{m}{l \cdot r \cdot t} \cdot 10^6 [\text{kg/m}^3]$$

ahol: ρ a klimatizált próbatest sűrűsége, kg/m^3 -ben
 l a klimatizált próbatest rostirányú mérete, mm-ben
 r a klimatizált próbatest sugárirányú mérete, mm-ben
 t a klimatizált próbatest húrirányú mérete, mm-ben
 m a klimatizált próbatest tömege, g-ban

5.5. Színmérés

A színéréshez egy számítógépes háttérrel is rendelkező KONICA-MINOLTA CM-2600d típusú színmérő készüléket használtam, melynek a mérőnyílása 8mm átmérőjű volt. A mérés irányítása SpectraMagic NX számítógépes program segítségével történt, melynek során a CIELab- mérőrendszer minden egyes színíngerhez egy pontot rendel az L^* , a^* , b^* térbeli derékszögű koordináta-rendszerben, melyeket színkoordinátáknak nevezünk. Az a^* tengely pozitív irányban a vörös, negatív irányban a zöld színezetet jelenti, a b^* tengely pozitív irányban a sárgát, negatív irányban a kékét. Az a^* , b^* tengelyekre merőlegesen helyezkedik el az L^* tengely, amelyen a színínger világosságát ábrázoljuk.

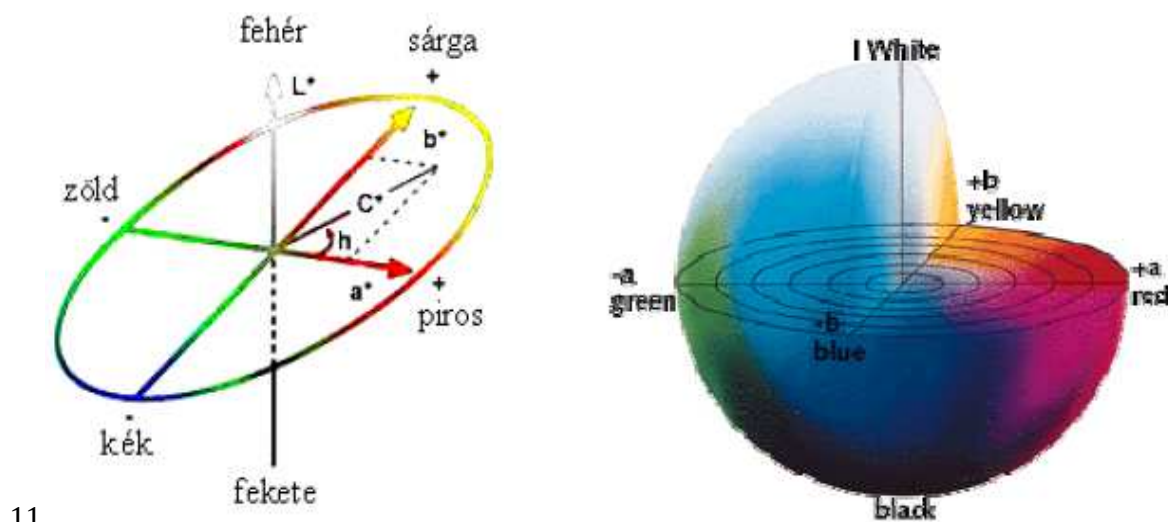
A próbatestek színének különbözőségét az ún. teljes színeltéréssel (ΔE) határozhatjuk meg, mely a színkoordinátákból számítható a következő képlet alapján:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

ahol: ΔE próbatest teljes színeltérése
 ΔL^* a kezelt és kontroll próbatestek világosság különbsége ($L^*_{\text{kezelt}} - L^*_{\text{kontroll}}$)
 Δa^* a kezelt és kontroll próbatestek vörös színezet-különbsége ($a^*_{\text{kezelt}} - a^*_{\text{kontroll}}$)
 Δb^* a kezelt és kontroll próbatestek sárga színezet-különbsége ($b^*_{\text{kezelt}} - b^*_{\text{kontroll}}$)

A minták teljes színeltéréseinek értékelésekor ΔE alapján öt kategóriába sorolják az eredményeket. Amennyiben ΔE értéke 0-1 közé esik akkor nincs, ha 1-2 közötti akkor

csekély mértékű, ha 2-4 közötti akkor jelentős, ha 4-5 közötti akkor erős és 5 feletti értéknél már nagyon erős színelterésről beszélhetünk. A mintákat a vizsgálatot megelőzően normálklimán klimatizáltam.



9. ábra A CIELAB színrendszer háromdimenziós modellje (Tolvaj L., 2008)

A mérés során a fentebb említett próbatesteken végeztem el a vizsgálatot. Próbáltam a mérést mindig homogén felületen elvégezni, hogy az értékek ne mutassanak nagy szórást. Mivel a kezeletlen bálványfán is mértem színt ezért megállapítható a két hőkezelés hatására bekövetkezett színváltozás.

5.6. Dimenzióstabilitás

A dimenzióstabilitás, vagy méretstabilitás fogalma a faanyag nedvességgel kapcsolatos méretváltozásához köthető. A fatestben kötött víz változása a faanyag zsugorodását, dagadását eredményezi. A kötött víz maximális értéke, ún. rosttelítettségi pont, feletti nedvesedés, vagy száradás nem jár méretváltozással. Beszélhetünk a három anatómiai főirányban vett vonalas zsugorodási, ill. dagadási értékekről. A vizsgálataimban a klimatizált próbatestek abszolút nedves állapotba történő telítés után a maximális dagadási értéket határoztam meg. Természetesen a maximális térfogati dagadás is meghatározható a három főirányban vett klimatizált és abszolút nedves méretekből számított térfogatok különbségéből. A dagadást mértékét az abszolút nedves állapothoz viszonyítva százalékosan fejezzük ki. Ennek megfelelően a dagadással kapcsolatosan a következő számítási képleteket alkalmaztam:

$$d_{t,r,l} = \frac{x_{klim} - x_0}{x_0} * 100 \qquad d_v = \frac{V_{klim} - V_0}{V_0} * 100$$

ahol: $d_{t,r,l}$ a próbatest vonalas dagadási értéke, %-ban
 t - tangenciális, r - radiális, vagy l - longitudinális anatómiai főirányokban
 d_v a próbatest térfogati dagadásának értéke, %-ban
 $x_{klim.}$ a próbatest klimatizált méretei az adott anatómiai irányban, mm-ben
 x_0 a próbatest abszolút száraz méretei az adott anatómiai irányban, mm-ben
 V_{klim} a próbatest klimatizált térfogata, mm³-ben
 V_0 a próbatest abszolút száraz térfogata, mm³-ben
a térfogat a vonalas méretek (x_r ; x_t ; x_l) szorzataként adódik mindkét esetben

A méret-, vagy dimenzióstabilitás javulását ($DS_{z,d}$) a kezelés által lecsökkent zsugorodás, ill. dagadás eredményezi. A következő képlet alkalmazható ennek meghatározására:

$$DS_d = \frac{d_{kontroll} - d_{kezelt}}{d_{kontroll}} * 100$$

ahol: DS_d a kezelés hatása a méretstabilitás értékére, %-ban (+/javul, -/romlik)
 d -dagadás esetén
 $d_{kontroll}$ a kezeletlen faanyag dagadása az adott anatómiai irányban, %-ban
 d_{kezelt} a kezelt faanyag dagadása az adott anatómiai irányban, %-ban

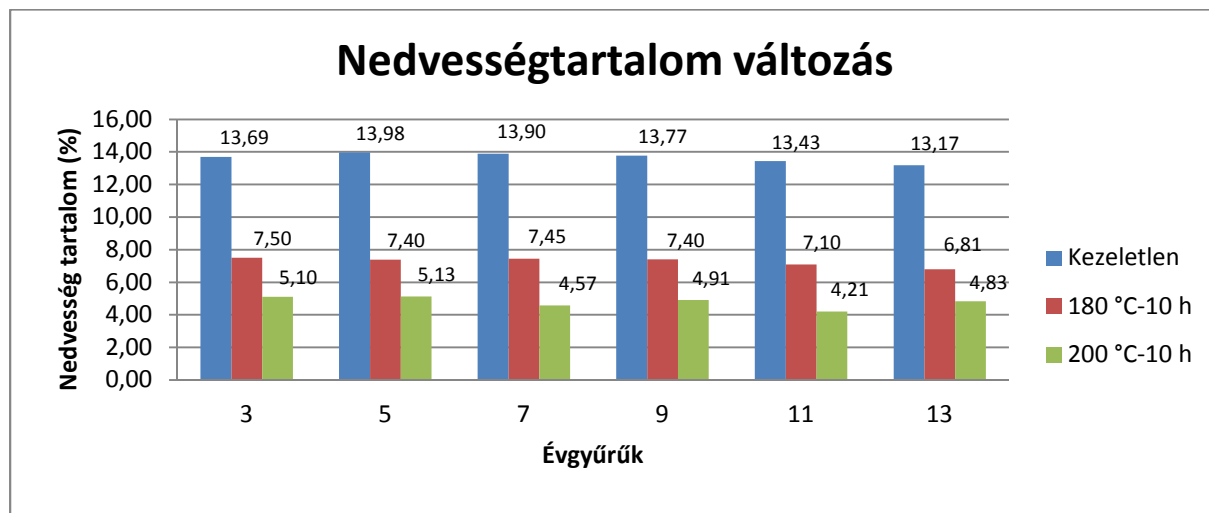
Amennyiben az érték pozitív, úgy a kezelés növeli, ha negatív, akkor csökkenti a méretstabilitást. A vizsgálatokat a 7*20*30 mm-es, hasáb alakú próbatesteken végeztem, melyeknek a hosszabb éle a rostirányban értendő. Itt fontos megjegyezni, hogy az anatómiai főirányoknak a hasáb éleivel közel azonos futásúaknak kell lenniük.

6. Vizsgálati eredmények értékelése

6.1. Egyensúlyi fanedvesség

A vizsgálataim során végzett hőkezelések eredményei a bálványfa fa-víz kapcsolatának módosulását támasztja alá. E viselkedésnek a tudományos magyarázata a hidroxil-csoportok (-OH) számának csökkenésével és a zsugorodásból származó szférikus okokkal

magyarázható. A faalkotók -OH csoportjainak csökkenése a faanyagba jutott vízmolekulák hidrogén-hídjainak csökkenését eredményezi, mely a sejtfalban kötött víz mennyiségét is meghatározza.



1. diagram Egyensúlyi nedvesség változása a hőkezelés hatására normál klímán 20/65 évgyűrűkre bontva

Az egyensúlyi fanedvesség átlagértéke 13,6 %, ami egy kicsit magasabb a vártnál de, így is látni, hogy a hőkezelések hatására jóval lecsökkent a faanyag párafelvevő képessége.

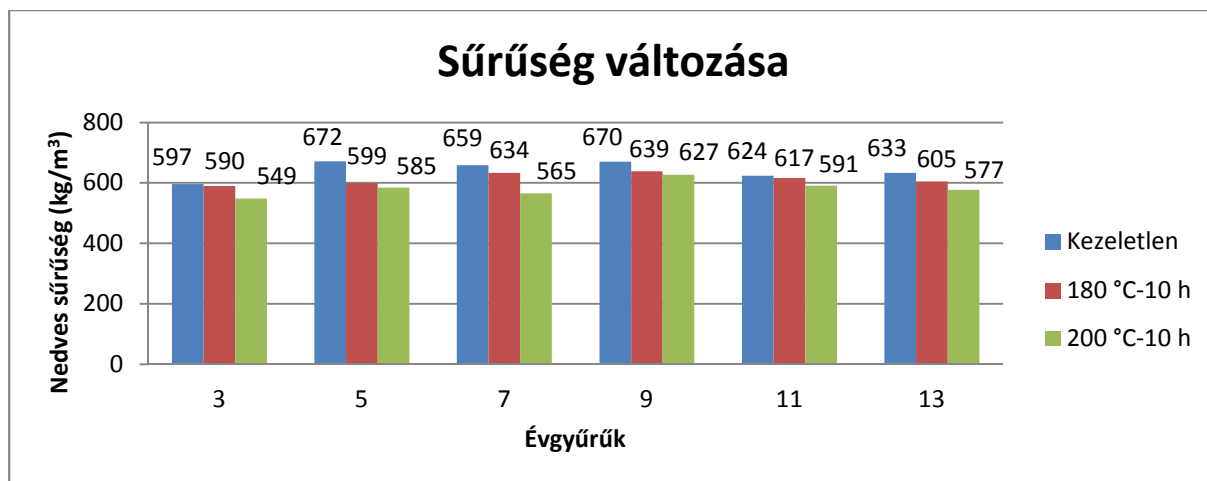
A kezeletlen próbatestek esetében a magasabb egyensúlyi fanedvesség a klímaberendezés relatív páratartalmi értékének ingadozásával magyarázható, mely időnként elérte a 68-70 % ot is.

A 180 °C-os kezelésnél az egyensúlyi nedvességtartalom átlagértéke 7,2 %, míg a 200 °C-os kezelésnél mindössze 4,8 % volt. Az általam mért értékek tehát azt mutatják, hogy a hőkezelés hatására nagymértékben csökkent a felvett vízpára mennyisége a kezeletlen mintákéhoz képest. A 180 és 200 °C-os menetrendekhez tartozó egyensúlyi fanedvesség értékek is szignifikánsnak voltak.

Az 1. diagram alapján megállapítható, hogy az évgyűrűk mentén mért egyensúlyi fanedvességértékek nem mutattak szignifikáns eltéréseket. Ennek ellenére által a bétől kifelé haladva kismértékű csökkenés figyelhető meg. A rendelkezésre álló forrásokban és egyéb szakirodalmakban nem találtam a bálványfára vonatkozó normál klímához tartozó nedvességtartalmi adatokat.

6.2. Sűrűség

A termikus és részben hidrolitikus bomlásfolyamatok során a faanyag egyes kémiai alkotói különböző mértékben lebomlanak és illékony vegyületek formájában a kezelőtérbe jutnak. A faanyag így a víztartalom elpárolgásán felüli, maradandó tömegcsökkenést szenved. E folyamat velejárója a faanyag mátrixszerkezetének zsugorodása is, mely ugyancsak irreverzibilis folyamatnak tekinthető. A maradandó alakváltozás és a tömegcsökkenés mértékétől függően a sűrűség is változik. E két hatás természetesen ellentétes az abszolút száraz faanyag sűrűségének alakulására. Ahogy láttuk a megváltozott hidrofil jelleg a faanyag sejtfalaiban kevesebb kötött vízzel jár, mely a kisebb mértékű dagadást is előrevetíti. A nedvesség felvétel és az ebből adódó dagadás ellentétes folyamatok a nedves sűrűség alakulására. A felhasználás és az egyéb vizsgálatok szempontjából a nedves sűrűség alakulása a lényegesebb. Amérések alapján megfigyelhető, hogy a hőbomlás előrehaladtával csökkenő tendenciát mutat a sűrűség. E jelenségek a fent említett ellentétes folyamatokkal magyarázhatók. A méréssel kapcsolatban meg kell említeni az is, hogy a próbatestek széles évgűrűkből kerültek ki, valamely még az 10 mm szélességet is meghaladta. A sűrűségi értékeket ezek a gyors növekedésű zónák befolyásolták. A fix vastagságú próbatestek miatt a teljes évgűrű sűrűségére vonatkozóan itt sem tudtam megállapítást tenni. A későbbiekben célszerű lenne a korai edények mentén hasított próbatesteken a folyadék kiszorítás elvén történő sűrűség meghatározás alkalmazása.



2. diagram Sűrűség változása a hőkezelés hatására normál klímán 20/65 évgűrűkre bontva

Az általam mért értékek alapján megfigyelhető, hogy a sűrűségi értékek a hőkezelés hatására csökkentek, hiszen a kezeletlen próbatestek sűrűségének átlagértéke 641 kg/m^3 , míg

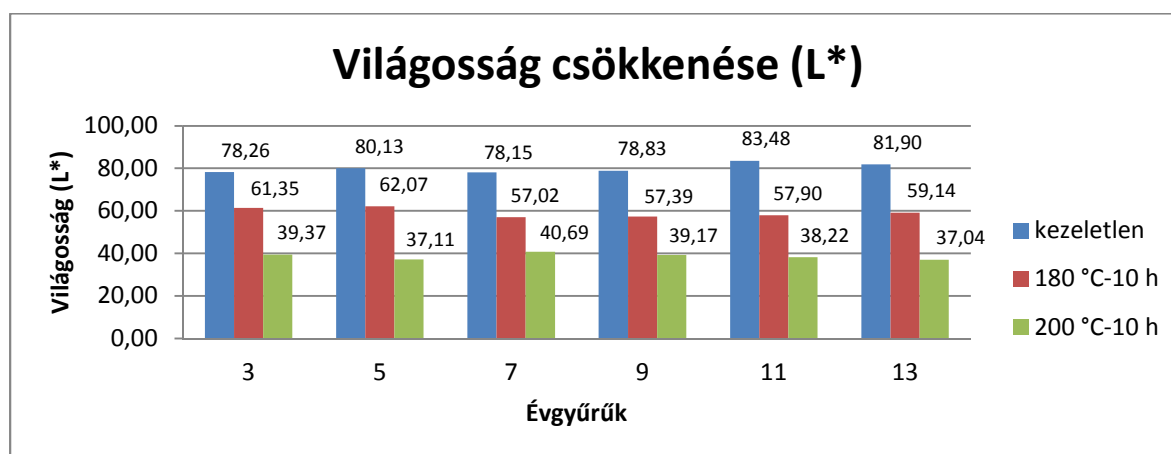
a 180 °C-os kezelésnél ez az érték már csak 604 kg/m³ és a 200 °C-os kezelésnél 591 kg/m³ volt. A kis mértékű csökkenés az évgyűrűk sűrűségénél a bétől kifelé haladva azzal magyarázható, hogy a vizsgált faanyag még nagyon fiatal volt, nagy mértékben tartalmazott juvenilis farészt és mivel még a lignifikáció nem volt meghatározó mértékű, a sűrűségi értékek ezen okokból kifolyólag mutathattak ilyen irányú eltéréseket.

Az irodalmi adatokkal összehasonlítva a nedves sűrűségi értékek jó egyezőséget mutatnak, bár itt meg szeretném ismételten jegyezni, hogy a 12%-os nettó fanedvességhez képest pár százalékpontos eltérés volt mintáim egyensúlyi fanedvességének adataiban. Míg Kardos József (1985) szakdolgozatában 606 kg/m³-t, Várhegyi Gabriella (1995) 610 kg/m³-t, és Varga Anikó (1995) 630 kg/m³ nedves sűrűségi értékeket jelöl meg, addig az általam vizsgált próbatestek sűrűségének átlagértéke 641,45 kg/m³ volt.

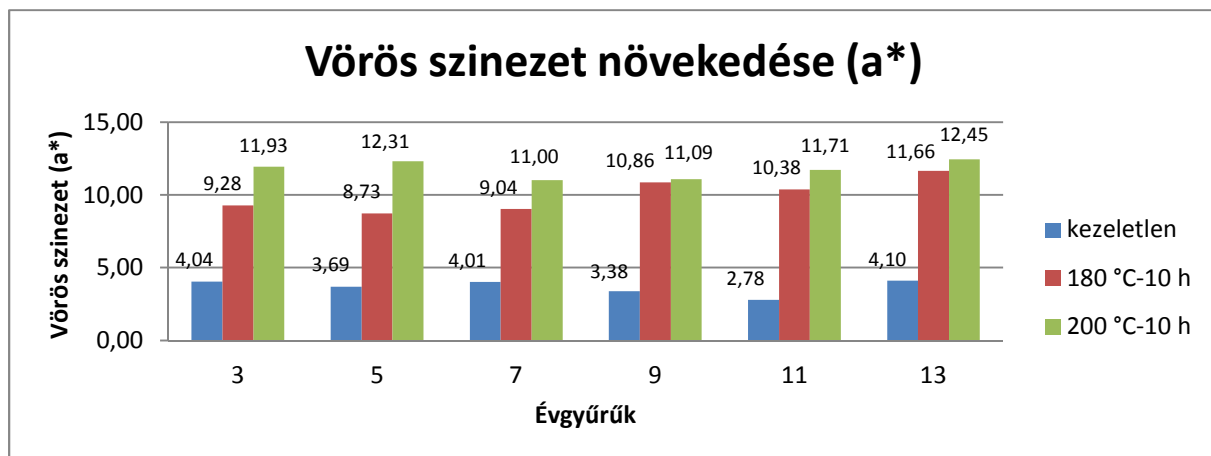
6.3. Szín-mérés

A vizsgálataim alapján a CIELab színmérő rendszer segítségével meghatározott világosság, mint a színíngér-tér függőleges tengelyén elhelyezkedő színkoordináta (L*) a hőkezelés hatására csökkenő tendenciát mutat. A faanyagok színe a vörös felé tolódik el. Ezt a vörös színezet (a*) színkoordináta értékének változásával követhetjük nyomon.

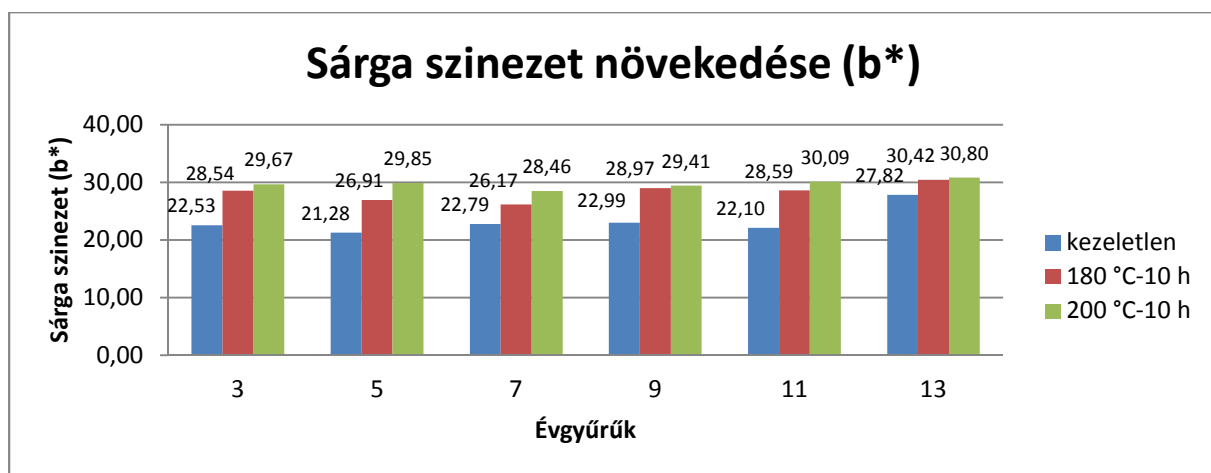
A minták sárga színezete (b*) a hőkezelés során hasonlóan viselkedik mint a vörös színezet, növekvő tendenciát mutat. A teljes színeltérés a hőkezelés hatására markánsan változik.



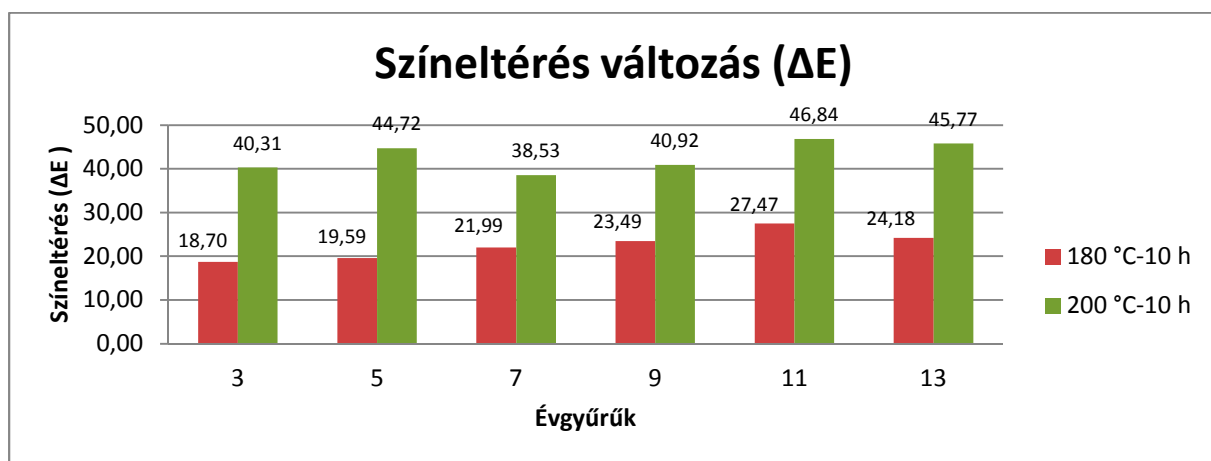
3. diagram A világosság csökkenése a hőkezelés hatására normál klímán 20/65 évgyűrűkre bontva



4. diagram A vörös színezet növekedése a hőkezelés hatására normál klímán 20/65 évgyűrűkre bontva



5. diagram A sárga színezet növekedése a hőkezelés hatására normál klímán 20/65 évgyűrűkre bontva



6. diagram A színeltérés növekedése a magasabb hőkezelési fokon normál klímán 20/65 évgyűrűnkre bontva

A világosság átlagértéke kezeletlen bálványfa esetén 80,13 míg a 180 °C-os kezelés hatására ez 59,15 értékre csökkent. A 200 °C-os kezelésnél az érték még kisebb lett 38,60. A vörös színezet 3,67-ről 9,99-re és 11,75-nöött a hőkezelések hatására. A sárga színezet 23,25-ről 28,27-re és 29,71-re emelkedett.

A 3. diagramon megfigyelhető, hogy a világosság a hőkezelések hatására az évgyűrűk mentén hasonló módon csökken, mindegyik évgyűrű esetében szinte azonosak a változások, tehát nem volt kimutathatóan szignifikáns eltérés az egyes évgyűrűk között.

A kezeletlen próbatestek vörös színezete és a 180 °C-os hőkezelésen átesett próbatestek vörös színezete között elég nagy az eltérés. A 3., 5. és 7. évgyűrűn a két hőkezelt faanyag vörös színezete jobban eltér egymástól, mint a 9., 11. és 13. évgyűrű vörös színezete. Ennek oka lehet többek között az is, hogy a bélhez közelebbi faanyag nagyobb számban tartalmazott kromoforcsoportokat, mint a beltől távolabbi részek. A kromoforok a hőközlés hatására keletkeznek a faanyagban és ezek tolják el a vörös színezet értékét magasabb tartományokba.

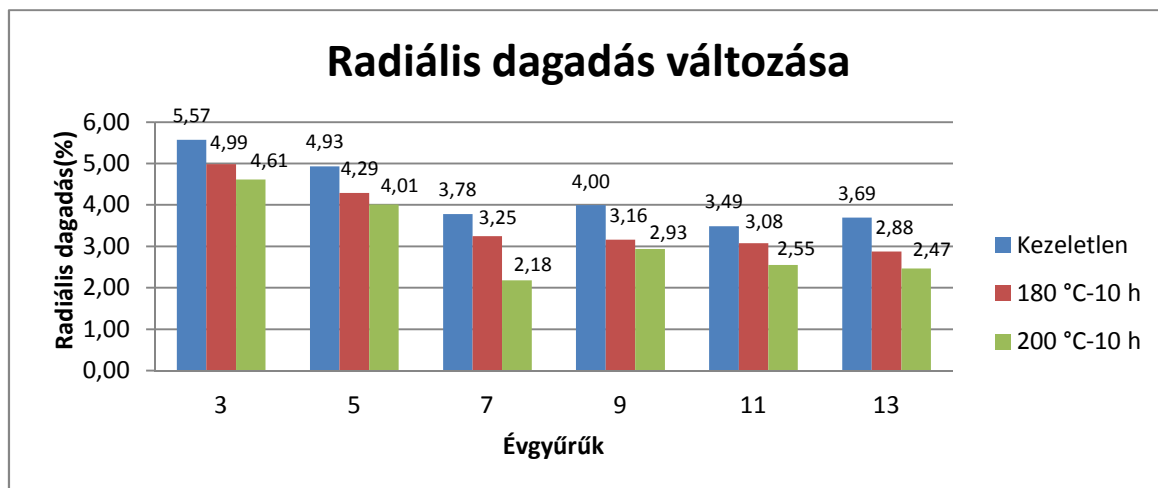
Az 5. diagramon a sárga színezet változása látható. Hasonlóan a vörös színezethez, ennek az értéke is növekedett azonban nem akkora mértékben és az évgyűrűk mentén sem fedezhető fel szignifikáns eltérés. A kezeletlen és a 180 °C-os hőkezelés által okozott sárga színezet eltérés jóval szerényebb mértékű mint a vörös színezetnél. Ugyan ez elmondható a két hőkezelt faanyag sárga színezetéről.

A teljes színeltérés (ΔE) láthatóan jóval nagyobb mértékű volt a 200°C-os kezelés után, tehát megállapítható, hogy a hőmérséklet növelésével a színeltérés is nő.

Ezek a színváltozások a faanyagban végbemenő bomlási folyamatoknak tudhatók be elsősorban, mivel a faanyag fő alkotói a lignin, a cellulóz és a hemicellulózok oxidatív degradációt szenvednek.

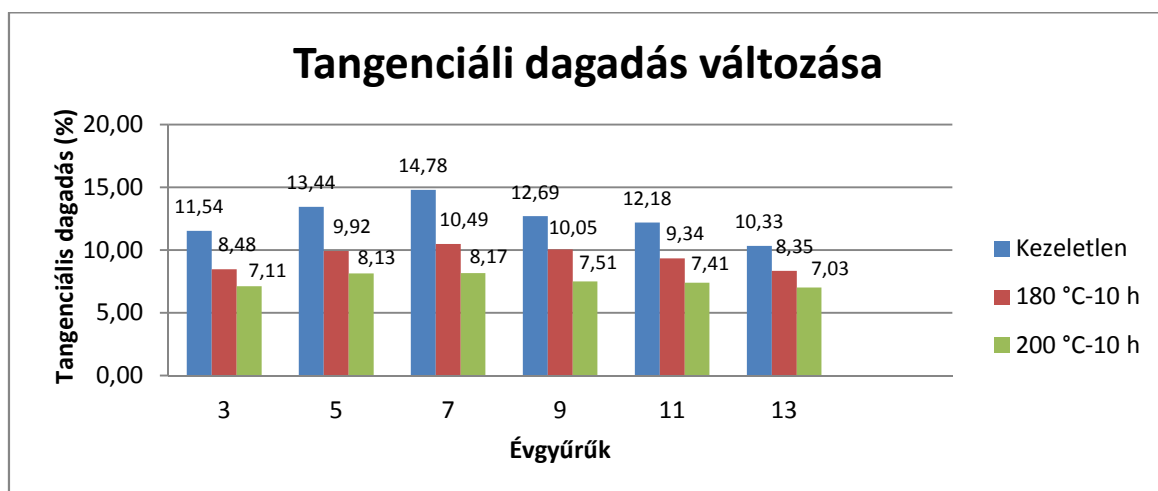
6.4. Dimenzióstabilitás

A radiális, azaz sugárirányú dagadás százalékosan mutatja meg, hogy a próbatestek az adott irányban a vízfelvétel hatására mekkora méret növekedést szenvedtek el. A mérést évgyűrűnként három próbatesten végeztem el rendre kezeletlen és egy-egy hőkezelt (180°C-10h; 200°C-10h) mintán.



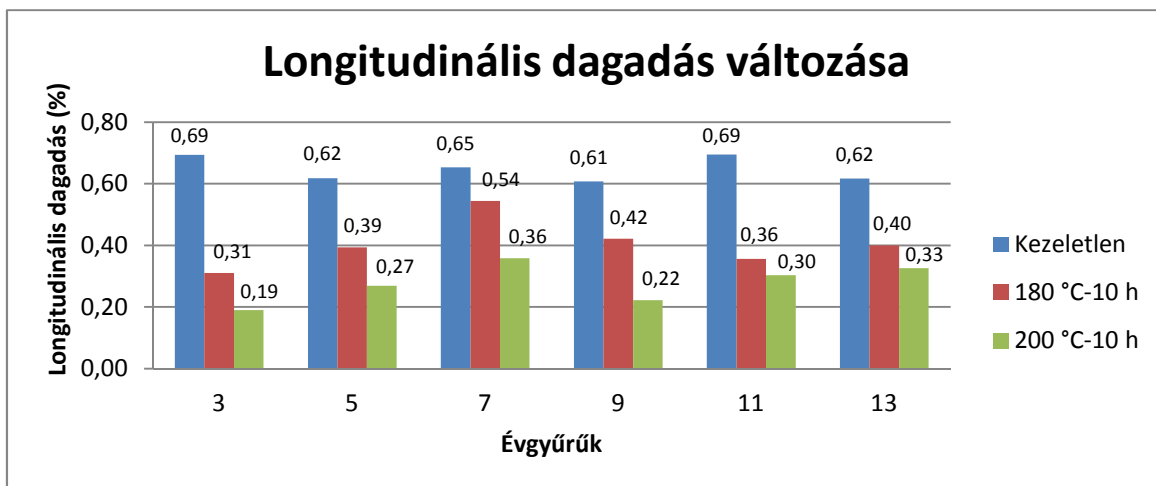
7. diagram A radiáli dagadás változása a hőkezelés hatására normál klímán 20/65 évgyűrűkre bontva

A 7. diagramból az derül ki, hogy a radiális irányú dagadás a bétől kifelé haladva csökken. Minden évgyűrűnél megfigyelhető az is, hogy a kezeletlen próbatestek szenvedték el a legnagyobb méretváltozást átlagosan 4,24 %-ot, majd következett a 180 °C-on kezelt faanyag, aminek átlagos radiális dagadása 3,61 % és végül a 200 °C-os kezelés után a faanyag dagadási értéke csak 3,12 % volt. Ez alapján belátható hogy a hőkezelés hatására a faanyag dagadásra való hajlama csökken.



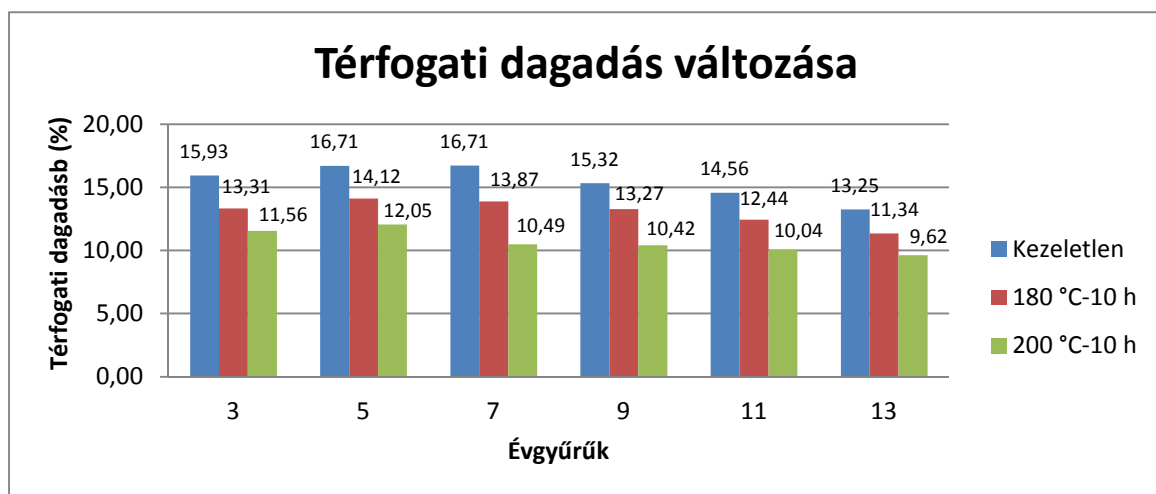
8. diagram A tangenciális dagadás változása a hőkezelés hatására normál klímán 20/65 évgyűrűkre bontva

A tangenciális (húrirányú) dagadás változását mutatja be a 8. diagram. Érdekes módon a legnagyobb méretváltozást a 7. évgyűrűből kikerülő próbatestek szenvedték el, ha összevetjük a előző diagrammal akkor többnyire az látható, hogy amelyik évgyűrűnél nagy volt a radiális dagadás ott a tangenciális dagadás kisebb. Tehát megállapítható hogy a két vonalas dagadási érték befolyásolja egymást.



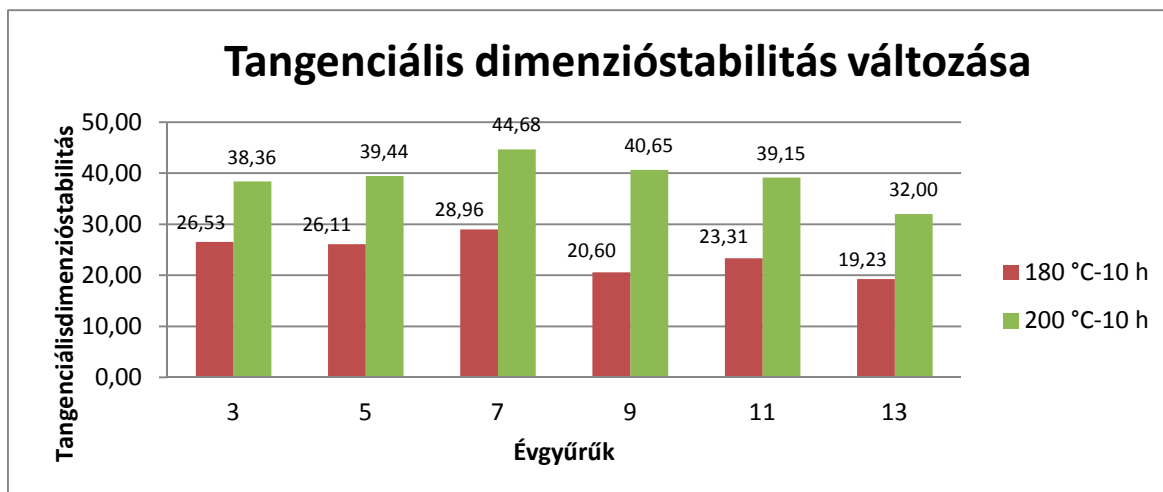
9. diagram A longitudinális dagadás változása a hőkezelés hatására normál klímán 20/65 évgyűrűkre bontva

A 9. diagramon a longitudinális (rostirányú) vonalas dagadási értékek láthatóak. Mivel ilyen irányban általában a faanyag egy nagyságrenddel kisebb változást szenved el mint tangenciális vagy radiális irányban, ezért a mérése is nehezebb. Az adatok ezért mutatnak egy kis szórást de, még így is megállapítható, hogy a hőkezelések hatására csökkentek a dagadási értékek.



10. diagram A térfogati dagadás változása a hőkezelés hatására normál klímán 20/65 évgyűrűkre bontva

A térfogati dagadásnál ismét megfigyelhető, hogy a bétől kifelé haladva csökkennek a dagadási értékek. Mindazon által a kezeletlen és hőkezelt anyagok különbségei is sokkal homogénebb képet mutatnak. Az évgyűrűnkénti dagadás csökkenése közel lineáris.



11. diagram A tangenciális dimenzióstabilitás változása a hőkezelés hatására normál klímán 20/65 évgyűrűkre bontva

A radiális dimenzióstabilitás mérőszáma a radiális anatómiai főirányban mért maximális dagadás-különbséget mutatja a kezeletlen faanyag maximális dagadásának százalékában. A pozitív érték a méretstabilitás javulását, a negatív pedig a romlását jelenti. A vizsgálati eredmények ismeretében megállapítottam, hogy a termikus kezeléssel és annak hőfokának emelésével a radiális méretstabilitása növelhető.

9. Összefoglalás

Vizsgálataim során vizsgáltam egy bálványfa törzséből kivett faminta kezeletlen és annak 180 °C-on és 200 °C-on termikusan kezelt társait az évgűrűk mentén meghatározott sorrendben úgy, hogy a rendre a natúr, 180 °C-on hőkezelt és 200°C-on hőkezelt szöveti elemek egy-egy évgűrűből kerültek kivágásra, rost irányban egymást követő sorrendben.

A próbatestek kivétele úgy történt, hogy a kiválasztott 3., 5., 7., 9., 11., 13. évgűrűk pásztahatárain érintőleges vágást ejtettünk és azzal párhuzamosan 7mm vastag lapkákat alakítottunk ki, mely egyben a minta radiális méretét is adta. A szélesség, azaz a tangenciális méret, illetve a hosszméret, azaz a rostirányú méret 20 illetve 30 mm volt.

A próbatestek normál klímán történő tárolását követően meghatároztam az évgűrűk mentén a nettó egyensúlyi fanedvességet. Megállapítottam, hogy a kezeletlen bálványfa minták átlagosan 13,6 %-os, a 180 °C-on kezelték 7,2 %-os, és a 200 °C-on kezelték pedig mindössze 4,8 %-os nettó nedvességtartalommal rendelkeztek. A évgűrűk mentén a nedvességtartalmi értékek nem mutatnak szignifikáns eltérést. Mindazon által a bétől kifelé haladva kis csökkenés figyelhető meg.

Mértem a próbatestek sűrűségét is szintén a normál klímás tárolás után. Megállapítottam, hogy a kezeletlen próbatestek átlagsűrűsége 641 kg/m^3 , míg a 180 °C-os kezelésnél ez az érték már csak 604 kg/m^3 és a 200 °C-os kezelésnél 591 kg/m^3 volt. Az évgűrűk mentén a sűrűség kis mértékben csökken. Ez a fa fiatal korának, a nagy juvenilis farésznek és a lignifikáció hiányának tudható be.

A színmérés során mértem a világosság, a vörös színezet, a sárga színezet értékét és kiszámoltam a színeltérést a kezeletlen és a két hőkezelt mintám is. Megállapítottam, hogy a világosság átlagértéke kezeletlen bálványfa esetén 80,13 míg a 180 °C-os kezelés hatására ez 59,15 értékre csökkent. A 200 °C-os kezelésnél az érték még kisebb lett 38,60. A vörös színezet 3,67-ről 9,99-re és 11,75 nőtt a hőkezelések hatására. A sárga színezet 23,25-ről 28,27-re és 29,71-re emelkedett. A világosság értékei az évgűrűk mentén nem mutatnak szignifikáns eltérést. A hőkezelt minták vörös színezet értékei a 3. 5. .7. évgűrűkön eltérő értékűek mint a 9., 11. és 13. évgűrűkön. Ez a kromoforcsoportok egyenlőtlen eloszlásával magyarázható.

A sárga színezet hasonlóan nő mint a vörös színezet igaz itt az évgűrűk mentén nem állapítható meg szignifikáns eltérés.

A teljes színeltérés láthatóan jóval nagyobb mértékű volt a 200°C-os kezelés után, tehát megállapítható, hogy a hőmérséklet növelésével a színeltérés is nő.

A próbatestek rosttelítettségi határ feletti nedvességtartalom elérése után, mértem a vonalas méreteket. Ezekből megállapítottam a vonalas és térfogati dagadást és kiszámoltam a tangenciális dimenzióstabilitást. Megállapítottam, hogy a radiális irányú dagadás a bétől kifelé haladva csökken. Minden évgyűrűnél megfigyelhető az is, hogy a kezeletlen próbatestek szenvedték el a legnagyobb méretváltozást átlagosan 4,24 %-ot, majd következett a 180 °C-on kezelt faanyag, aminek átlagos radiális dagadása 3,61 % és végül a 200 °C-os kezelés után a faanyag dagadási értéke csak 3,12 % volt. A tangenciális dagadás során ismét a kezeletlen próbatestek szenvedték el a legnagyobb méretváltozást átlagosan 12,49 %-ot. A 180 °C-on kezelt próbatestek átlagos dagadása 9,44%, míg a 200 °C-on kezeltké 7,56% volt. Itt is megfigyelhető, hogy a hőkezelések hatására csökkentek a dagadási értékek, a kezelési hőfok emelésével ez az érték még tovább javítható. A longitudinális irányban általában a faanyag egy nagyságrenddel kisebb változást szenved el mint tangenciális vagy radiális irányban, ezért a mérése is nehezebb. Az adatok ezért mutatnak egy kis szórást de, még így is megállapítható, hogy a hőkezelések hatására csökkentek a dagadási értékek. A kezeletlen próbatestek dagadása 0,65%, a 180°C-on kezeltké 0,40 % és a 200°C kezeltké 0,28 % volt. A leghomogénebb képet a térfogati dagadás adja. Itt a kezeletlen minták átlag dagadási értéke 15,41% a 180°C-on kezelt mintáké 13,06% és végül a 200°C-on kezeltké 10,70%. Az évgyűrűnkénti dagadás csökkenése közel lineáris. A tangenciális dimenzióstabilitás azt mutatja meg, hogy a kezelt próbatestek dagadási értékei a kezeletlenekhez képest milyen irányban változtak. A pozitív érték a méretstabilitás javulását, a negatív pedig a romlását jelenti. Megállapítottam, hogy a hőkezelés hatására a dimenzióstabilitás javul, a hőmérséklet emelésével ez még inkább megfigyelhető. Meg kell még említenem azt, hogy a mintavétel az egyes tulajdonságok esetében sajnos torzító hatású. A későbbiekben célszerű lenne a korai edények mentén hasított próbatesteken a folyadék kiszorítás elvén elvégezni a sűrűség meghatározást. Mivel a bálványfa lignifikációja későn indul meg, így a későbbi vizsgálatokat fontos lenne kiterjeszteni idősebb (30-50 éves) törzsekre.

10. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszöni mindenki segítségét aki hozzájárult ahhoz hogy TDK dolgozatom elkészülhessen. Elsősorban konzulenseimnek Dr. Horváth Norbertnek, és Dr. habil. Németh Róbertnek, szeretném megköszönni, hogy mindig rendelkezésemre álltak, ha kérdéseim voltak, javaslataik és segítségük emelték dolgozatom színvonalát. Külön köszönet illeti Horváth Imrét, akinek a segítsége nélkül nem készültek volna a próbatesteim. Köszönöm még azoknak az évfolyamtársaimnak, akik bármilyen módon segítettek munkámat.

11. Irodalomjegyzék

Molnár Sándor (2004): *Faanyagismeret, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó Budapest*

Molnár Sándor, Bariska Mihály (2002): *Magyarország ipari fái, Szaktudás kiadóház Budapest, digitális jegyzet*

Kardos József (1988): *Hazai termőhelyen fejlődő ecetfa fájának vizsgálata, Fatechnológia Tanszék*

Várhegyi Gabriella (1995): *Ailanthusaltissima (bálványfa) fájának fizikai-mechanikai vizsgálata, Fatechnológia Tanszék*

Varga Anikó (1995): *A Bálványfa (Ailanthusaltissima) vizsgálata, Fatechnológia Tanszék*

Dr. Varga Ferencné, Dr. Fehér Sándor (1996): *Felhasználható-e a bálványfa (ecetfa)?, Bútor és Faipar, 6. példány*

Reinhard Brandner, Gerhard Schickhofer (2013): *The mechanical potential of the Tree-of Heaven (Ailanthusaltissima), Holztechnologie*

Németh K.: (1998) *A faanyag degradációja -Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest*

Csonkáné R.R.: (2005) *Aflavonolok és a faanyag termikus átalakulása – PhD. értekezés, NYME-Sopron*

Mészáros E.: (2005) PhD. *Értekeztézisei. „Lignocellulóz tartalmú anyagok termikus vizsgálata”- Eötvös Loránd Tudományegyetem, Kémia Doktori Iskola, Analitikai, kolloid- és környezetkémia, elektrokémia doktori program, Budapest*

Horváth N.: (2008) *A termikus kezelés hatása a faanyag tulajdonságaira, különös tekintettel a gombaállóságra, PhD. értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem Faipari Mérnöki Kar, Sopron*

White R.H, Dietenberger M.: (2001) *Wood products: Thermal degradation and fire-in: Encyclopaedia of Materials, Science and Technology*

THERMO WOOD HANDBUCH.: http://www.hokagermany.com/fileadmin/Lieferant_FTA/Thermowood_Handbuch_deutsch.pdf

12. Mellékletek

Normál klíma												
	Kezeletlen				180 °C-10 h				200 °C-10 h			
	sugár (mm)	húr (mm)	rost (mm)	tömeg (g)	sugár (mm)	húr (mm)	rost (mm)	tömeg (g)	sugár (mm)	húr (mm)	rost (mm)	tömeg (g)
3/1	10,17	22,81	30,27	4,079	6,99	20,06	29,87	2,308	6,82	20,22	29,62	2,403
3/2	10,27	23,00	30,29	4,305	6,97	20,04	30,04	2,294	6,76	20,20	29,89	2,401
3/3	10,15	22,95	30,28	4,178	7,03	20,19	29,98	2,335	6,67	20,29	29,95	2,408
5/1	10,20	22,95	30,25	4,891	7,00	20,30	29,92	2,456	6,68	20,16	29,66	2,396
5/2	10,29	23,10	30,25	4,748	6,85	20,41	30,67	2,516	6,80	20,27	29,69	2,441
5/3	10,28	22,94	30,21	4,729	6,99	20,52	30,49	2,577	6,76	20,24	29,63	2,440
7/1	10,06	22,96	29,97	4,430	7,05	20,51	29,84	2,731	6,41	20,06	29,65	2,137
7/2	10,19	23,17	30,23	4,680	7,09	20,60	29,98	2,771	6,29	20,09	29,67	2,116
7/3	10,32	23,34	30,25	4,960	6,89	20,36	29,80	2,657	6,25	20,10	29,69	2,131
9/1	10,32	23,19	30,23	4,836	6,98	20,35	30,04	2,713	6,68	20,20	30,04	2,543
9/2	10,30	23,29	30,22	5,085	7,05	20,52	29,90	2,761	6,70	20,26	29,91	2,569
9/3	10,33	23,07	30,28	4,622	6,95	20,27	29,86	2,700	6,62	20,32	29,83	2,495
11/1	10,35	23,10	30,29	4,596	6,85	20,17	29,86	2,529	6,52	20,16	29,69	2,330
11/2	10,24	22,72	30,28	4,345	7,02	20,25	29,81	2,597	6,55	20,21	29,62	2,311
11/3	10,32	22,97	30,27	4,453	7,08	20,49	30,03	2,719	6,59	20,14	29,66	2,310
13/1	10,24	22,99	30,25	4,505	5,38	20,20	29,95	1,974	6,72	20,26	29,67	2,364
13/2	10,29	23,11	30,28	4,591	5,41	20,21	29,92	1,957	6,55	20,15	29,36	2,199
13/3	10,33	23,08	30,29	4,537	5,56	20,38	29,87	2,065	6,64	20,24	29,72	2,308

1. táblázat A próbatestek méretei és tömegei 20 °C, 65% normál klímán

Abszolút száraz												
	Kezeletlen				180 °C-10 h				200 °C-10 h			
	sugár (mm)	húr (mm)	rost (mm)	tömeg (g)	sugár (mm)	húr (mm)	rost (mm)	tömeg (g)	sugár (mm)	húr (mm)	rost (mm)	tömeg (g)
3/1	9,96	21,94	30,24	3,588	6,93	19,54	29,85	2,146	6,76	19,87	29,64	2,282
3/2	10,08	22,06	30,28	3,785	6,87	19,51	30,00	2,136	6,70	19,80	29,85	2,286
3/3	9,95	22,02	30,26	3,676	6,95	19,69	29,95	2,171	6,61	19,91	29,92	2,294
5/1	10,02	21,82	30,19	4,291	6,91	19,72	29,87	2,291	6,63	19,76	29,67	2,277
5/2	10,02	21,97	30,20	4,168	6,73	19,84	30,59	2,341	6,75	19,83	29,70	2,323
5/3	10,01	21,86	30,18	4,147	6,92	19,92	30,48	2,397	6,72	19,82	29,61	2,322
7/1	9,92	21,89	29,95	3,891	6,99	19,85	29,80	2,536	6,39	19,68	29,64	2,044
7/2	10,01	22,00	30,20	4,112	7,03	19,91	29,95	2,581	6,26	19,71	29,67	2,027
7/3	10,13	22,13	30,20	4,350	6,84	19,69	29,75	2,476	6,23	19,72	29,68	2,034
9/1	10,18	22,04	30,21	4,255	6,91	19,74	30,01	2,523	6,63	19,83	30,03	2,424
9/2	10,14	22,20	30,15	4,462	7,00	19,90	29,88	2,573	6,65	19,82	29,94	2,448
9/3	10,19	22,03	30,25	4,065	6,89	19,67	29,86	2,515	6,57	19,87	29,79	2,379
11/1	10,18	22,03	30,23	4,050	6,80	19,64	29,85	2,362	6,47	19,78	29,69	2,235
11/2	10,09	21,71	30,23	3,836	6,96	19,70	29,80	2,426	6,51	19,87	29,62	2,220
11/3	10,16	22,00	30,24	3,922	7,00	19,88	29,98	2,537	6,52	19,81	29,63	2,215
13/1	10,05	22,14	30,24	3,986	5,36	19,76	29,97	1,847	6,70	19,88	29,65	2,261
13/2	10,08	22,18	30,24	4,055	5,32	19,77	29,88	1,832	6,47	19,79	29,32	2,092
13/3	10,11	22,09	30,25	4,005	5,52	19,87	29,89	1,935	6,62	19,86	29,71	2,202

2. táblázat A próbatestek méretei és tömegei abszolút száraz állapotban

Rosttelítettségi nedvesség felett									
	Kezeletlen			180 °C-10 h			200 °C-10 h		
	sugár (mm)	húr (mm)	rost (mm)	sugár (mm)	húr (mm)	rost (mm)	sugár (mm)	húr (mm)	rost (mm)
3/1	10,54	24,39	30,46	7,24	21,33	29,93	7,07	21,39	29,69
3/2	10,64	24,67	30,48	7,24	21,37	30,12	7,00	21,31	29,89
3/3	10,58	24,58	30,47	7,36	21,48	30,03	6,97	21,44	30,00
5/1	10,47	24,86	30,36	7,20	21,86	29,98	6,89	21,53	29,78
5/2	10,54	24,84	30,40	7,06	22,02	30,76	7,03	21,52	29,75
5/3	10,60	24,77	30,37	7,22	22,15	30,56	7,02	21,62	29,69
7/1	10,30	25,00	30,13	7,22	22,17	29,95	6,53	21,43	29,77
7/2	10,39	25,31	30,40	7,26	22,29	30,13	6,40	21,50	29,78
7/3	10,55	25,47	30,41	7,08	21,96	29,91	6,37	21,44	29,76
9/1	10,63	25,00	30,39	7,13	21,98	30,17	6,82	21,39	30,09
9/2	10,60	25,03	30,33	7,25	22,10	30,00	6,85	21,44	29,97
9/3	10,55	24,65	30,44	7,10	21,86	29,96	6,78	21,52	29,90
11/1	10,58	24,79	30,44	7,01	21,63	29,98	6,63	21,39	29,77
11/2	10,42	24,34	30,43	7,17	21,74	29,90	6,67	21,44	29,70
11/3	10,53	24,62	30,46	7,24	21,95	30,07	6,71	21,39	29,74
13/1	10,43	24,42	30,40	5,51	21,52	30,13	6,81	21,43	29,75
13/2	10,47	24,42	30,44	5,49	21,51	29,99	6,68	21,19	29,41
13/3	10,50	24,43	30,45	5,68	21,78	29,98	6,80	21,41	29,81

3. táblázat A próbatestek méretei rosttelítettségi nedvesség feletti állapotban

	Dagadás (%)											
	Kezeletlen				180 °C-10 h				200 °C-10 h			
	dr (mm)	dt (mm)	dl (mm)	dV (mm)	dr (mm)	dt (mm)	dl (mm)	dV (mm)	dr (mm)	dt (mm)	dl (mm)	dV (mm)
3/1	5,50	11,17	0,73	15,61	4,28	8,39	0,27	12,55	4,38	7,11	0,17	11,33
3/2	5,26	11,83	0,66	15,84	5,11	8,70	0,40	13,71	4,29	7,09	0,13	11,19
3/3	5,95	11,63	0,69	16,33	5,57	8,33	0,27	13,67	5,16	7,14	0,27	12,17
5/1	4,30	13,93	0,56	16,47	4,03	9,79	0,37	13,74	3,77	8,22	0,37	12,01
5/2	4,93	13,06	0,66	16,47	4,67	9,90	0,55	14,59	3,98	7,85	0,17	11,67
5/3	5,57	13,31	0,63	17,18	4,16	10,07	0,26	14,03	4,27	8,33	0,27	12,48
7/1	3,69	14,21	0,60	16,17	3,19	10,46	0,50	13,75	2,14	8,17	0,44	10,53
7/2	3,66	15,05	0,66	16,81	3,17	10,68	0,60	14,02	2,19	8,33	0,37	10,66
7/3	3,98	15,09	0,70	17,15	3,39	10,34	0,53	13,84	2,20	8,02	0,27	10,29
9/1	4,23	13,43	0,60	16,07	3,09	10,19	0,53	13,42	2,79	7,29	0,20	10,06
9/2	4,34	12,75	0,60	15,66	3,45	9,95	0,40	13,41	2,92	7,56	0,10	10,34
9/3	3,41	11,89	0,63	14,22	2,96	10,02	0,33	12,97	3,10	7,67	0,37	10,86
11/1	3,78	12,53	0,69	15,08	3,00	9,20	0,43	12,30	2,41	7,53	0,27	10,00
11/2	3,17	12,11	0,66	14,20	2,93	9,38	0,33	12,33	2,40	7,32	0,27	9,79
11/3	3,51	11,91	0,73	14,40	3,31	9,43	0,30	12,69	2,83	7,39	0,37	10,34
13/1	3,64	10,30	0,53	13,10	2,72	8,18	0,53	11,15	1,62	7,23	0,34	9,04
13/2	3,72	10,10	0,66	13,13	3,10	8,09	0,37	11,26	3,14	6,61	0,31	9,82
13/3	3,71	10,59	0,66	13,51	2,82	8,77	0,30	11,61	2,65	7,24	0,34	10,00
Átlag	4,24	12,49	0,65	15,41	3,61	9,44	0,40	13,06	3,12	7,56	0,28	10,70
Szórás	0,84	1,50	0,05	1,34	0,84	0,84	0,11	1,01	0,97	0,50	0,09	0,93

4. táblázat A próbatestek dagadási értékei

	Egyensúlyi nedvesség (%)		
	Kezeletlen	180 °C-10 h	200 °C-10 h
3/1	13,68	7,55	5,30
3/2	13,74	7,40	5,03
3/3	13,66	7,55	4,97
5/1	13,98	7,20	5,23
5/2	13,92	7,48	5,08
5/3	14,03	7,51	5,08
7/1	13,85	7,69	4,55
7/2	13,81	7,36	4,39
7/3	14,02	7,31	4,77
9/1	13,65	7,53	4,91
9/2	13,96	7,31	4,94
9/3	13,70	7,36	4,88
11/1	13,48	7,07	4,25
11/2	13,27	7,05	4,10
11/3	13,54	7,17	4,29
13/1	13,02	6,88	4,56
13/2	13,22	6,82	5,11
13/3	13,28	6,72	4,81
Átlag	13,66	7,28	4,79
Szórás	0,30	0,28	0,36

5. táblázat A próbatestek egyensúlyi nedvesség tartalma

	Sűrűség (kg/m ³)		
	Kezeletlen	180 °C-10 h	200 °C-10 h
3/1	580,89	551,05	588,31
3/2	601,69	546,72	588,26
3/3	592,33	548,74	594,09
5/1	690,70	577,66	599,86
5/2	660,33	586,76	596,48
5/3	663,79	589,25	601,87
7/1	639,95	632,95	560,52
7/2	655,70	632,84	564,37
7/3	680,73	635,59	571,34
9/1	668,45	635,81	627,36
9/2	701,44	638,31	632,75
9/3	640,51	641,85	621,78
11/1	634,64	613,00	597,05
11/2	616,77	612,84	589,40
11/3	620,58	624,14	586,81
13/1	632,60	606,48	585,22
13/2	637,58	598,23	567,48
13/3	628,25	610,11	577,84
Átlag	641,50	604,57	591,71
Szórás	32,88	31,87	20,43

6. táblázat A próbatestek nedves sűrűség értékei

	Tangenciális dimenzióstabilitás	
	180 °C-10 h	200 °C-10 h
3/1	24,85	36,36
3/2	26,43	40,11
3/3	28,32	38,62
5/1	29,73	40,99
5/2	24,21	39,88
5/3	24,37	37,46
7/1	26,34	42,52
7/2	29,03	44,66
7/3	31,51	46,85
9/1	24,12	45,70
9/2	21,91	40,73
9/3	15,76	35,53
11/1	26,57	39,92
11/2	22,54	39,55
11/3	20,81	37,97
13/1	20,58	29,77
13/2	19,90	34,58
13/3	17,21	31,66
Átlag	24,12	39,05
Szórás	4,28	4,49

7. táblázat A próbatestek tangenciális dimenzióstabilitása