

Taschner Róbert

**A tölgyek nagy értékű hasznosítását befolyásoló
tényezők vizsgálata
és összehasonlító elemzése**

Doktori (PhD) értekezés

**Témavezető:
Dr. Fehér Sándor
egyetemi docens**

**Nyugat-magyarországi Egyetem
Simonyi Károly Műszaki, Faanyagtudományi és Művészeti Kar
2013**

A tölgyek nagy értékű hasznosítását befolyásoló tényezők vizsgálata és összehasonlító elemzése

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

*a Nyugat-magyarországi Egyetem, Cziráki József Faanyagtudomány- és Technológiák
Doktori Iskolája

Faanyagtudomány programja

Írta:

Taschner Róbert

**Készült a Nyugat-magyarországi Egyetem Cziráki József Faanyagtudomány- és
Technológiák Doktori Iskola

Faanyagtudomány programja keretében

Témavezető: Dr. Fehér Sándor egyetemi docens

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton% -ot ért el,

Sopron,

.....

a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen / nem)

Első bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

Második bíráló (Dr.) igen /nem

(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr.) igen /nem

.....

(alírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján.....% - ot ért el

Sopron,

.....

a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése.....

.....

Az EDT elnöke

A tölgyek nagy értékű hasznosítását befolyásoló tényezők vizsgálata és összehasonlító elemzése

Kivonat

A disszertáció, a fahasznosításban kiemelkedő értékű, legmagasabb minőségi osztályba sorolható tölgyek átfogó vizsgálatával foglalkozik. 4 jellemző hazai állományból/termőhelyről (Zemplén, Mecsek, Zala, Somogy) származó kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*), illetve amerikai fehér tölgy (*Quercus alba*) frízek fizikai és mechanikai tulajdonságait mutatja be, elkülönítetten a termőhely, a természetes szárítás ideje és a száradás alatt végbemenő természetes degradáció foka alapján. A vizsgálat célja az volt, hogy megállapítsuk: a fafaj, a különböző származások és rakatokon belüli kitétségek, továbbá bizonyos anatómiai jellemzők hogyan viszonyulnak a nagy hozzáadott értéket képviselő felhasználási területek elvárásaihoz.

A fentiek alapján a disszertáció kitér a sajátos faanyagjellemzők, mint pl. az évgyűrű és pásztszerkezet homogenitása, a faanyag sűrűsége, a zsugorodási és dagadási sajátosságok, a fatest tiliszesedése, hajlító- és nyomószilárdság, továbbá a rugalmassági modulus miként befolyásolják a felhasználást, kiemelten a hordó, mint késztermék gyártás igényeit.

Examination and comparative analysis of the factors influencing the high-value utilization of oaks

Abstract

The dissertation makes a comprehensive examination of the high quality oaks, which have highest value in wood utilisations. It shows the physical and mechanical properties of friezes of Sessile oak (*Quercus petraea*) from four typical Hungarian forests/region (Zemplén, Mecsek, Zala, Somogy) and American white oak (*Quercus alba*). It separates the friezes by the growing site, natural drying time and the degree of degradation occurring during natural drying. The aim of the study was to determine how the species, the different origins, the exposures in the friezes, and certain anatomical features relate to the expectations of high value-added uses.

In conclusion, the thesis looks at how specific wood properties such as the homogeneity of annual rings, the wood density, shrinkage and swelling characteristics, tyloses, compressive strength, modulus of elasticity affect usage and how meet these properties with the needs of especially the barrel manufacturing.

1	Bevezetés	2
2	A hordógyártás tölgy alapanyagainak összehasonlító elemzése a szakirodalmak alapján	6
2.1	A vizsgált tölgyek erdészeti jellemzői és elterjedése.....	6
2.1.1	<i>Kocsánytalan tölgy (Quercus petraea)</i>	6
2.1.2	<i>Kocsányos tölgy (Quercus robur)</i>	7
2.1.3	<i>Fehér tölgy (Quercus alba)</i>	8
2.2	A tölgyek hordógyártást befolyásoló anatómiai sajátosságai	8
2.2.1	<i>Mikroszkópos és makroszkópos szöveti jellemzők</i>	10
2.2.2	<i>Az anatómiai jellemzők kapcsolata a hordógyártással</i>	14
2.3	A tölgyek hordógyártást befolyásoló műszaki tulajdonságai	15
2.3.1	<i>Fizikai és mechanikai tulajdonságok</i>	15
2.4	A hordógyártás szempontjából fontos fakémiai tulajdonságok	18
2.4.1	<i>Csersavak – tanninok</i>	18
2.5	A szabadtéri dongaérlelés faanyag-degradációs hatása	21
3	Vizsgálati anyagok és módszerek	23
3.1	A vizsgálati alapanyag és mintavétel.....	23
3.2	Vizsgálati módszerek.....	24
3.2.1	<i>Fizikai tulajdonságok vizsgálata</i>	24
3.2.1.1	<i>Nedveségtartalom, dongák természetes szárítása</i>	24
3.2.1.2	<i>Sűrűség mérése</i>	26
3.2.1.3	<i>Zsugorodási és dagadási tulajdonságok</i>	28
3.2.1.4	<i>Éngyűrű szerkezet és pásztaarány vizsgálata</i>	31
3.2.2	<i>Mechanikai tulajdonságok vizsgálata</i>	34
3.2.2.1	<i>Nyomószilárdság vizsgálata</i>	34
3.2.2.2	<i>Hajlítószilárdság és hajlító rugalmassági modulus roncsolásos vizsgálata</i>	35
3.2.2.3	<i>Hajlítószilárdság és hajlító rugalmassági modulus roncsolásmentes vizsgálata</i>	37
3.3	Vizsgálat eredmények értékelési módszere.....	40
4	Vizsgálati eredmények értékelése	41
4.1	Fizikai tulajdonságok	41
4.1.1	<i>Nedveségtartalom</i>	41
4.1.2	<i>Sűrűség</i>	49
4.1.3	<i>Dagadási jellemzők</i>	59
4.1.3.1	<i>Húrirányú dagadási jellemzők</i>	59
4.1.3.2	<i>Sugár irányú dagadás</i>	70
4.1.4	<i>Éngyűrűelemzés</i>	81
4.1.4.1	<i>Átlagos éngyűrűszélesség és vonalas késői pászta arány</i>	81
4.2	Mechanikai tulajdonságok.....	85
4.2.1	<i>Nyomószilárdság</i>	85
4.2.2	<i>Hajlító szilárdság</i>	93
4.2.3	<i>Hajlító rugalmassági modulus (MOE)</i>	102
4.2.3.1	<i>Roncsolásos vizsgálat</i>	102
4.2.3.2	<i>Roncsolásmentes hajlító rugalmassági modulus vizsgálat</i>	110
5	Összefoglalás	111
6	Az értekezés tézisei	114
7	Irodalomjegyzék	116
8	A témában megjelent tudományos publikációk	122
	Köszönetnyilvánítás	124
	MELLÉKLETEK JEGYZÉKE	125

1 Bevezetés

A legősibb írásos emlékünk a magyar tölgyekről a Krisztus utáni I. századból származik, melyben Plinius római hadvezér, – Szíria későbbi kormányzója –, történetíró, botanikus és polihisztor, „*Glandifera Pannoniae*”-nek, azaz makktermő országnak nevezi Pannonia provinciát (CAIUS PLINIUS S. M., KR. U. 77).

Hazánkban a fahasznosítás (fafeldolgozás, fakereskedelem) szempontjából a fehér tölgyeket két csoportra bontjuk: „nemes” tölgyek (kocsányos-, kocsánytalan- és molyhos tölgy) és csertölgy. A gyakorlatban azonban leginkább egyszerűen a tölgy és cser megnevezéseket használják. Molyhos tölgy főleg a védett erdeinkben van jelen, de ipari rönk méretet csak ritkán ér el.

Nemzetközi tölgy kereskedelemben meghatározó szerepe van az USA-nak, ahol a faanyag esztétikai megjelenése alapján sorolják a tölgyeket két csoportba, melyek a fehér- és vörös tölgyek (BROKMANN, 1996). E rendszer európai adaptációja szerint a kocsányos- és kocsánytalan tölgy a fehér, a cser pedig a vörös tölgyek csoportjába tartozna, de rendszertanilag ez helytelen.

Magyarország területének jelenleg 20,7%-át borítja erdő (FATÁJ, 2012), mely nagyban elmarad az európai átlagtól, hol 44,3% az erdősültség. Kimagaslónak számít, hogy erdeink 87%-a lombos, a világ 66%-os és az európai 43%-os átlagához képest. (MOLNÁR, BARISKA, 2002), (FAO 2012). Hazánk jó természeti adottságai révén erdeink lombos faválasztékai kimagasló minőségűek, melyre a faipar minden területén, itthon és külföldön is nagy a kereslet. A lombos fafajok között az akác után a legnagyobb területi jelenléte a fehér („nemes”) tölgyeknek (21%). A tölgyek bruttó évi fakitermelése 1–1,2 millió m³ (2010-ben 1,102 millió m³) (MGSZH, 2011), ami szintén az akác után a második helyen áll

Esetünkben a kitermelt és kereskedelemben, feldolgozásra kerülő alapanyag minőségét és felhasználhatóságát a rönk méret illetve a különböző fizikai, mechanikai, kémiai, alaki és szöveti tulajdonságok határozzák meg (MOLNÁR, 2006). Ezek a tulajdonságok döntik el a faanyag ipari besorolását, ezzel meghatározva értékét is. Erdészeti termékek között a legnagyobb értéket képviselő fehér tölgy fűrészipari rönk mellett megjelenő járulékos termékek (tűzifa, faapríték) felhasználása során hozzáadható szellemi érték minimálisnak mondható. A mindennapi élet bármely területén használatos fatermékek többsége fűrészipari rönkből készül. Értjük itt az épületasztalos ipar, a bútorigar, a belsőépítészet, használati tárgyak, ipar és képző művészeti termékek alapanyagát. Ezen termékek értéke az alapanyag értékéhez viszonyítva kimagasló.

A tölgy fűrészipari rönkök erdészeti osztályozása, fakereskedelmi szokványok szerint történik (ÖSTERREICHISCHE HOLZHANDELSUSANCEN 1973). A legkedvezőbb méreti, alaki és szöveti tulajdonságokkal rendelkező, minőségét tekintve a legmagasabb értéket képviselő kocsányos- és kocsánytalan tölgy rönk, évszázadok óta a hordók alapanyaga és a kádárok privilégiuma. Ők válogathattak elsőként az első osztályú fűrészipari rönkök közül. Ennek megfelelően a dolgozat címében szereplő nagy értékű hasznosítás alatt a hordóipari feldolgozást értjük.

A hordógyártás, a legősibb nagyfokú komplex faipari ismereteket kívánó mesterség. A hordó feltalálása 4–5 ezer éves múltba tekint vissza és az egyiptomi, görög majd a római kultúrához kapcsolódik. Akkor ez a termék volt az egyetlen módja folyadékok nagy tömegben való tárolására és szállítására. Hosszú évezredek fejlődése után csak a XIX. században jelentek meg alternatívaként más anyagok. A sörös, gyümölcsleves és egyéb élelmiszeripari fahordókat leváltották a műanyag fém és beton tárolóedények, de a minőségi bor és égetett szesziparban a fahordó kizárólagossága és népszerűsége töretlen.

Tény, hogy a fatermékek gyártása során, a hangszergyártás és a hordógyártás igényli a legmagasabb anyagminőséget és ez a két iparág tudja produkálni a legnagyobb hozzáadott értéket is.

A hordógyártás legkorábbi magyar vonatkozású írásos emléke a XIV. század elejéről való. (ERDŐBÉNYE TÖRTÉNETE, WWW.ERDOBENYE.HU). A magyar hordóipar töretlen fejlődésének először a filoxéravész (1875), a világháborúk majd az államosítás vetett véget. A XX. század közepétől a mezőgazdasági termelésben történt szemléletváltás a kis kádárüzemek bezárásához vezetett. A fordulatot, mint az ipar szinte minden területén a rendszerváltás és a kárpótlás után életre kelt magyar minőségi szőlőgazdálkodás hozta meg. Az ország jó termőhelyi adottságainak köszönhetően gombamód szaporodtak el a fejlett bortermelő országok technológiai tapasztalatain nyugvó családi borászatok. Ez adta az alapot a magyar kádárszakma feltámadásához. Jelenleg közel 10 nagyobb hordógyár és több mint 500 kádár kisiparos működik az országban. A boroshordók a legkülönbözőbb méreteken készülnek 0,25–1000 hl űrtartalommal.

Érdekességképpen említem meg, hogy a legnagyobb hazai hordó 1022 hl űrtartalmú, mely alapanyagául 161 m³ a Mecsekben termett szlavóniai tölgy (*Quercus robur* L. var. *Slavonica* Gay) rönköt használtak fel. A legalább 50 cm középméretű, 70-100 éves, ágmentes 6,2–7,0 méter hosszú rönkökből a gyártás során 90 m³ pallót, abból 14 m³ dongát termeltek. A hordót szétbontva szállították végleges felállítási helyére, hol 18 db összesen 4 t tömegű acélbronz tartja össze. A hordó össztömege üresen 18-, töltve körülbelül 120 tonna (BÉKY ET AL., 1989). Az elmúlt évszázad 60-as éveitől egyre inkább a kisméretű, 2-5 hl-es hordók terjedtek el a minőségi borok érlelésében. A szabad tűzi pörköléssel modifikált belső felületű hordók azonban, kezdetben csak a franciaországi Bourdeaux környékére voltak jellemzők. Ez a 90-es évek elejétől Magyarországon is megjelenő úgynevezett „barrique divatirányzat” az ezredforduló utáni években teljesedett ki. A vásártói igényre több magyar hordógyár is reagált minőségi termékekkel.

A hazánkban gyártott kisméretű hordók borászati technológiában való elterjedése és felhasználása, mindössze 2–3 évtizedes múltra tekint vissza. E hordók borral érintkező belső felülete a kiegészítés során hőközlés hatására modifikálódik, kémiai összetétele megváltozik, sajátos aromák, ízjegyek jelennek meg. Ezek vízzoldhatóságuknak, illetve a bor alkohol- és savtartalmának köszönhetően kerülnek kapcsolatba a borral, módosítják annak kémiai összetételét, és végül, de nem utolsósorban sajátos ízvilágot kölcsönöznek a bornak.

A hordógyártás sok évszázados hagyományokon, tapasztalatokon alapszik. Ebből szinte elenyésző az a pár évtized, ami a barrique hordók elterjedése óta eltelt. A keletkező íz és tanninanyagok sokszínűsége nagy, tudásunk és tapasztalataink pedig e téren még hiányosak. A technológiafejlesztés és főképp az ízek reprodukálhatóságának vizsgálata a legfontosabb irány, mely mentén nagy eredmények várhatók a jövőben, de előljáróban még szükséges az alapanyag anyagtudományi feltérképezése is.

Előzetes vizsgálatok szerint tapasztalati úton ismerté vált, hogy borászati szempontból mely termőhelyekről származó faanyagot részesítik előnyben a borászok és ez által a hordó gyártók. Az, hogy az ízben jelentkező főképp kémiai tulajdonságokra visszavezethető különbség miként jelentkezik a fizikai és a műszaki tulajdonságokban, még feltáratlan terület.

A bor ízét és a hordó minőségét az alábbi tényezők befolyásolhatják:

- **a felhasznált tölgy faja**
- **a fa származási (termő) helye**
- **a donga érlelésének időtartama, módja**
- az égetés ideje, hőmérséklete

- a hordó úrtartalma
- a bor érlelésének időtartama
- a hordó kora, felhasználásának ismételése.

A hordók előállítása, a termékkihozatal és a gyártási selejtképződés szempontjából egyaránt nagy szerepe van a faanyag anatómiai szerkezetének, fizikai- és mechanikai tulajdonságainak. A kutatási célnak megfelelően a befolyásoló tényezők fenti felsorolásából az első három tényező azon faanyagtudományi összefüggéseit vizsgáltam és hasonlítottam össze, melyek ismerete a hordó gyártásának technológiájában fontos (mechanikai tulajdonságok) illetve a felhasználás szempontjából befolyásoló hatásuk ismerete nélkülözhetetlen (fizikai tulajdonságok).

Az íz szempontjából nagy jelentőségű kémiai tulajdonságokkal csak a szakirodalom elemzésében foglalkozom. Az ilyen vizsgálatok meghaladták volna a dolgozat lehetőségeit.

Kutatómunkám során 4 jellemző hazai termőhelyről (Zemplén, Mecsek, Zala, Somogy,) származó kocsánytalan tölgyet és Észak-Amerika Wisconsin államából származó fehér tölgyet vizsgáltam. Különböző származásokon belül elkülönítetten vizsgáltam a természetes száradásnak kitett dongarakatokon belül az alsó, középső, felső szinten betárolt anyagokat.

Kutatásom célja alapvetően az volt, hogy a fafaj, a különböző származások és rakaton belüli kitétségek, továbbá bizonyos anatómiai jellemzők hatásait meghatározzam. Rá szeretnék világítani arra, hogy a sajátos faanyagjellemzők, mint pl. az évgyűrű és pásztszerkezet homogenitása, a faanyag sűrűsége, a pórustérfogat, a zsugorodási és dagadási sajátosságok, a fatest tiliszesedése miként befolyásolják a gyártás és a hordó, mint késztermék igényeit. A mechanikai vizsgálatok közül pedig fontosnak tartottam a hajlító- és nyomószilárdság vizsgálatát, mely igénybevételek a hordónál is jelentkeznek használatuk során.

2 A hordógyártás tölgy alapanyagainak összehasonlító elemzése a szakirodalmak alapján

A problémák feltárásának tudományos megalapozásához szükséges a boros hordó gyártáshoz felhasznált tölgyek anatómiai fizikai és kémiai tulajdonságainak összehasonlító elemzése a rendelkezésre álló szakirodalmak (WAGENFÜHR, 1996; BROCKMAN, 1996; NIEMZ, 1993; MOLNÁR, 1999; MOLNÁR, BARISKA 2006; GENCSI, VANCURA 1992; BABOS, FILLÓ, SOMKÚTI, 1979; BÉKY, 1989) alapján.

A tölgyek nemzetségének (*Quercus* sp.) mintegy 450 faja ismert. Növényteni szempontból KERESZTESI, (1967); BARTHA, (1999); ÉS BARLAY, (1952) munkássága meghatározó. A nemzetközi fahasznosítási gyakorlatban a tölgyek két csoportját különböztetik meg, melyek a fehér- és vörös tölgyek. A fehér tölgyek csoportjába tartoznak az európai kocsányos- és kocsánytalan tölgyek, a cser-, valamint az Észak-amerikai fehér tölgy, a vörös tölgyek közé pedig az egzóta Észak-amerikai vörös tölgy. Hazánkban 4 őshonos (kocsányos, kocsánytalan, molyhos és cser), továbbá az említett egzóta vörös tölgy faj terjedt el. Mivel a hordógyártás a legjobb minőségű alapanyagot kívánja meg, ezért a vörös tölgyek alacsony tannin-tartalmuk miatt alkalmatlanok minőségi hordógyártásra, továbbá a hazai kocsányos tölgyek durvább évgűrűszerkezetük és a gyakoribb fahibák miatt kevésbé jönnek számításba (BÉKY, 1989).

2.1 A vizsgált tölgyek erdészeti jellemzői és elterjedése

2.1.1 Kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*)

Vágás érettségi korára (80–120 év) 50–60 cm mellmagassági átmérőt és 30–35 m magasságot is elér. Elterjedése: elsősorban Közép-Európa domb és hegyvidéki tájai. Északon felhúzódik a Skandináv félsziget déli részéig és Szentpétervárig. Délen lehúzódik Dél-Görögorszáig, keleti elterjedése határáként a Szentpétervárt Várnával összekötő vonal tekinthető (BARTHA, 1999). Nyugati irányban a Brit szigetekig terjed, de Észak-Skóciából hiányzik. Hazánkban a legelterjedtebb tölgyfaj (MOLNÁR, 1999). **Erdőterületünk közel 10%-át foglalja el (190 ezer ha). Éves fakitermelése 600-650 ezer m³. Ezen fafaj jelenti a legnagyobb alapanyagforrást a boros hordó gyártáshoz.**

A hordógyártásban kiemelkedő tradíciókkal rendelkező Franciaországban a kocsánytalan tölgy 2,328 millió ha területet foglal el (GAY, 2001). A kocsánytalan tölgynek hazánkban 3 alfaja (subsp. *petraea*, subsp. *dalechampii* és subsp. *polycarpa*) ismert (BARTHA, 1999). Sajnos ezen alfajok faanyagát elkülönítetten még nem vizsgálták.

Az utóbbi évtizedben egyre nagyobb mértékű a természetes magról történő felújítása. Ez pedig a véghasználat előtt a faállomány nagyobb megbontását igényli. Sajnos a faminőség szempontjából, - megfigyeléseim szerint, - ez negatív hatású, mert ez által igen gyakorivá vált a vékony vízajtások megjelenése a törzseken. Ez a fatestben tűgöcsök formájában csökkentheti a szilárdságot és a megváltozott szállkifutás miatt a minőségi donga hasításánál hibaforrást jelent.

Legjelentősebb károsodása a hervadásos megbetegedés. E tölgypusztulásnak is nevezett, járványszerű megbetegedésnek az 1980-as évek elején, Magyarországon mintegy 40 ezer hektár kocsánytalan tölgyes esett áldozatul (FÜHRER, 1989). Az elsődleges ok a vízhiány, míg a másodlagos károsítást *Ceratocystis* gombafajok végzik (BABOS, 1987; BÉKY, 1987). WARDER, (1881) Wisconsin állam erdészetéről szóló tanulmányában már foglalkozik hasonló

megbetegedésekkel. A XX. század derekára Wisconsin, Minnesota, Illinois és Iowa államokra is kiterjedt fertőzést HENRY ET AL., (1944) vizsgálta. A mai napig regisztrálnak újabb megbetegedéseket (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE FOREST SERVICE, 2005), mely okaként a csapadék mennyiségének szélsőséges váltakozását illetve a *Ceratocystis fagacearum* farontó gombát említik. (SOMOGYI, STANDOVÁR, 1995; BILLINGS, 2000, 2008; EGGERS ET AL., 2005; JUZWIK ET AL., 2008).

A hazai elterjedésére jellemző a domb és a hegyvidék (Északi-középhegység, Mecsek, Bakony, Alpokalja), igényli az évi 650–700 mm csapadékot. Mérsékelt meleg igényes, magasabb hegységekben a déli oldalak fája (az északi hűvösebb oldalokról a bükk kiszorítja). A talaj tápanyag tartalmával szemben azonban nem igényes.

A hazai domb és hegyvidéki termőhelyi viszonyok közel állnak a kocsánytalan tölgy optimális igényeihez, ezért a faanyag viszonylag egyenletes évgyűrű struktúrájú és a kitermelt faanyag 3-5%-a alkalmas a hordógyártásra.

2.1.2 Kocsányos tölgy (*Quercus robur*)

Az európai erdők óriása. Elérheti a 40–45 m magasságot és az 1–1,2 m mellmagassági átmérőt (WAGENFÜHR, 1996). A legidősebb egyedek 600–700 éves kort is megélhetnek (pl. Hédervár, Zsenyve) (MOLNÁR, 1999).

Európai fafaj. Areája azonban nagyobb, mint a kocsánytalan tölgyé. Felhatol Skandinávia középső részéig, őshonos egész Nagy-Britanniában, előfordul Európa déli tájain és Kis Ázsiában is. Legszebb állományai Franciaországban és Németországban (Spessart) találhatóak (BROCKMAN, 1996; NIEMZ, 1993). Hordógyártásban különösen Franciaországban nagy a szerepe, mivel itt a legelterjedtebb a tölgy faj (2,328 millió ha). Hazánkban az erdők kb. 8%-t foglalja el (140 ezer ha) és az éves fakitermelés kb. 500 ezer m³. Megjegyezzük, hogy a hazai statisztikai adatokban a kocsányos és kocsánytalan tölgy együtt szerepel, ezért a fakitermelésről pontos adatok csak együttesen vannak (1,1–1,2 millió br m³/év) (MOLNÁR, BARISKA 2006).

Hazánkban a síkvidékek és az árterek fája. Dombvidéken együtt fordul elő a kocsánytalan tölgyvel. Több változata van, ezek közül igen gyakori a koránfakadó (*Q. robur* var. *praecox*) és a későn fakadó (*Q. robur* var. *tardiflora*). Fontos változat a szép egyenes, hengeres növekedésű szlavyon tölgy (*Q. robur* var. *slavonica*). E változatok anyagát célszerű elkülönítetten megvizsgálni.

A kontinentális klímát is elviselő, melegigényes fafaj. Jól tűri az éghajlati szélsőségeket. Kiválóan megél 450–800 mm évi csapadék mellett, de erős karógyökerével feltétlenül törekszik a talajvíz elérésére. Tápanyag igénye nagy. Homoktalajok esetén csak eltemetett humuszrétegek (kovárvány) előfordulása mellett mutat megfelelő növekedést (BARTHA, 1999).

Az utóbbi 2–3 évtizedben nagy gondot okozott a kitermelt állományok felújítása, amely a talajvízszint csökkenésével állhat kapcsolatban. Sajnos a száraz, szélsőséges termőhelyeken a kocsányos tölgyeknél is megfigyelhetők a faállományok fokozatos legyengülése, pusztulása (FÜHRER E., 1989). A beteg kocsányos tölgyesek fája a rendellenes gesztesedés miatt rendkívül tarka, igen gyakoriak a sötét gyűrűk a fatestben.

A száraz, szélsőséges termőhelyeken is tenyésző **kocsányos tölgy faanyaga rendkívül inhomogén úgy az évgyűrűk szélessége, a faanyag színe és göcsösség szempontjából is. Tehát a különböző termőhelyeken nagyon eltérő minőséget produkál. Ismeretlen tájról, termőhelyről történő faanyagvétel esetén, először egy kisebb szállítmány feldolgozásával ellenőrizzük a minőséget.** A kitermelt kocsányos tölgy kevesebb mint 2%-a éri el a „donga minőségét”. Ma csak néhány kisebb üzemre szorítkozik a felhasználása (MOLNÁR, 1999).

2.1.3 Fehér tölgy (*Quercus alba*)

Hazája az atlantikus Észak-Amerika (USA keleti partvidéke). A fehér tölgy név alatt valójában egy fajcsoport (12 hasonló faj) értendő. A fehér tölgyek 30–32 m magasra nőnek és elérhetik az 1,2–1,5 m átmérőt is (WAGENFÜHR, 1996). A fehér tölgy csoport 12 fajaja közül azonban faipari jelentősége 3 fajnak van. *Q. alba* mellett *Q. macrocarpa* (Nagylevelű, tölgy) és a *Q. muehlenbergii* (Gesztenyelevelű tölgy)-nek. Ezen két faj faanyagát általában nem különítik el a közel azonos tulajdonságú fehér tölgyétől. A fehér tölgy a sík- és dombvidék fája kedveli a nedves mély talajokat. Gyakran együtt fordul elő a vörös tölgyekkel, a hickori dióval, a tulipánfával és a juharokkal. Az USA keleti partjai mentén lehúzódik Észak Floridáig. Előfordul Kanada déli részén is (Qubec, Ontario) (BROCKMAN, 1996).

A vörös tölgytől eltérően a fehér tölgy Európában nem terjedt el. Hazánkban főképp parkokban fordul elő (a legszebb példány a szarvasi „Pepi-kert”-ben található).

A jó minőségű fehér tölgyet nagy mennyiségben exportálják Japánba, Ausztráliába és több ázsiai és európai országba. A legjobb minőségű donga és furnérfák Indiana és Wisconsin államból (USA) származnak (LITTLE, 1980).

2.2 A tölgyek hordógyártást befolyásoló anatómiai sajátosságai

A hasított boros donga egy olyan faipari félkész termék, amely a legjobban igényli a faanyag anatómiai szerkezetének ismeretét. Ennek oka: a dongák keresztirányú (palástra merőleges) folyadék átteresztése úgy előzhető meg, hogy a faanyag hasítása a bélsugarak mentén történik. Ha a bélsugár átmegy a donga paláston a vastagság mentén, akkor a hordó szivárogni fog. Tehát feltétlenül biztosítani kell a bélsugár tükrök mentén a „tükrös” hasítást (vágást) **(1.-3. ábra)**.



1. ábra – Hordóipari rönk hasítása (fotó: Taschner R.)



2. ábra – Hasított dongacikkek (fotó: Taschner R.)



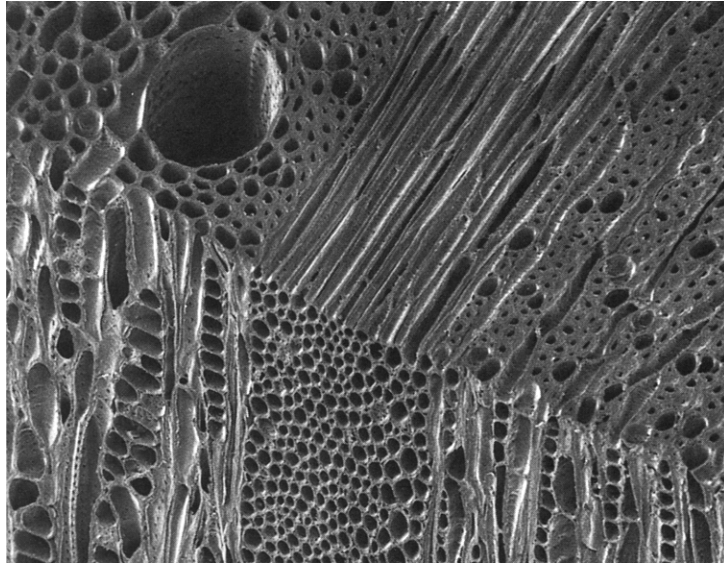
3. ábra – A dongafríz kialakítása (fotó: Taschner R.)

A donga szilárdsága, repedékenysége szempontjából nagyszámú egyéb szöveti jellemzőnek is szerepe van, ezért szükséges a makroszkópos és mikroszkópos szöveti sajátosságok rövid áttekintése.

A faanyagok anatómiai szerkezetének összehasonlítását már a XIX. században több tudományos irodalom feldolgozta. SANIO, (1863); MÖLLER, (1876); NÖRDLINGER, (1881); MÜLLER, (1888); TSCHIRSCH, (1889), alkalmazott tudományként összehasonlító vizsgálatokat végeztek az egyes fafajok között. JACCARD, (1936); GREGUS, (1959); VIHROV, (1954); MOLNÁR ET AL, (2007); pedig rámutatnak arra, hogy az úgynevezett „nemes” tölgyek között (*Q. robur*, *Q. petraea*, *Q. alba*) az anatómiai különbségek is minimálisak. Leginkább a kocsánytalan tölgy késői pásztaiban az edények villás elágazását jelölik meg, mint jól érzékelhető különbséget. Konkrét mérési adatokat WAGENFÜHR (1996) *Holzatlas* című munkájában találtam. Elemzésem ezen adatokra épül.

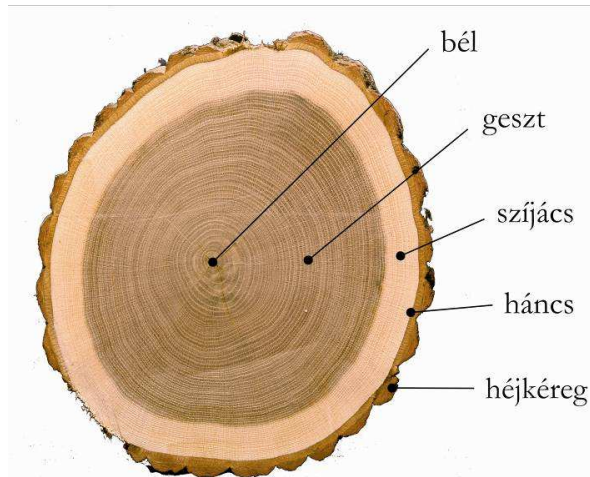
2.2.1 Mikroszkópos és makroszkópos szöveti jellemzők

Egy scanning elektronmikroszkópos felvételen (**4. ábra**) mutatom be a vizsgált haza tölgyek mikroszkópos elemeit.



4. ábra – „Nemes” tölgy 3D szerkezete (fotó: Peszlen Ilona.)

Az **5. ábra** példaként a kocsányos tölgy makroszkópos elemeit (évgűrűszerkezet, bél, geszt, szíjács, háncs, héjkéreg) mutatja.



5. ábra – Kocsányos tölgy keresztmetszete (fotó: Börcsök Z.)

A **6. ábrán** láthatjuk egy kocsányos tölgy radiális hosszmetzetét a jól kivehető világos bélsugár tükrökkel, valamint a tangenciális (húr) metzetet.

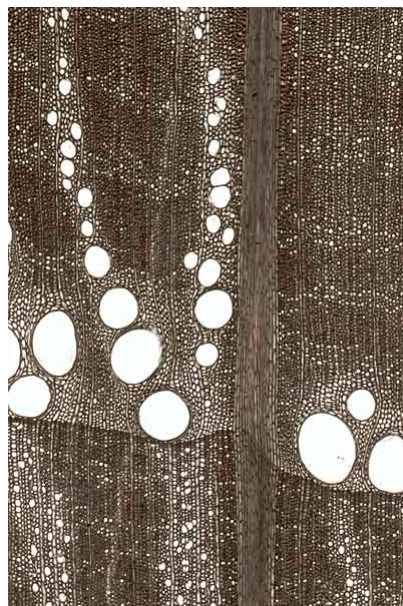


6. ábra – Kocsányos tölgy tangenciális és radiális metszete (fotó: Szeles P.)

Fafajonkénti jellemzők rövid bemutatása: (WAGENFÜHR, 1996; BROCKMAN, 1996; NIEMZ, 1993; MOLNÁR, 1999; MOLNÁR, BARISKA 2006; GENCSI, VANCSURA 1992; BABOS ET AL., 1979; BÉKY, 1989) alapján.

Kocsánytalan tölgy

Makroszkópos elkülönítése a kocsányos tölgytől nagyon nehéz. Évgyűrűi azonban általában keskenyebbek, homogénebbek. Fája gyűrűs likacsú. Szijácsa igen keskeny, sárgásfehér, gesztje sárgásbarna. A korai pásztában nagy üregű edényei az évgyűrűhatárnál több sorban helyezkednek el, a gesztben erősen tüliszesek. A késői pásztában fokozatosan szűkülő edényei radiális sort alkotva villás elágazásban helyezkednek el (**7. ábra**). Az edények áttörése teljes.

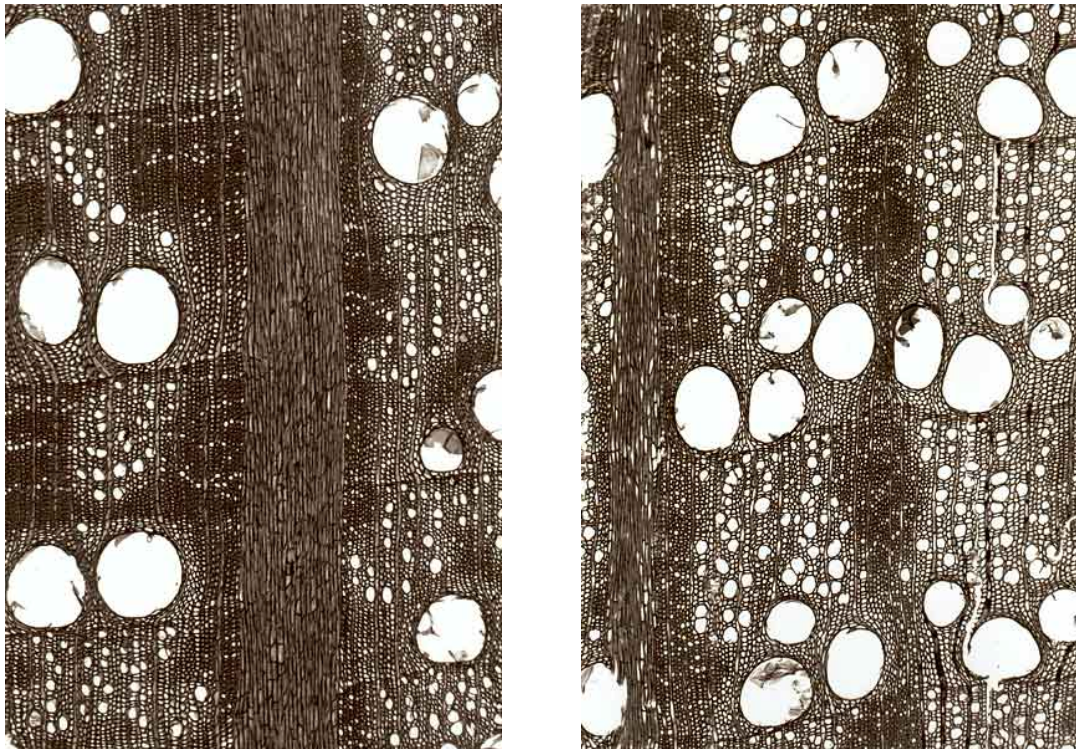


7. ábra – Kocsánytalan tölgy bütü metszete (SCHOCH, 2004)

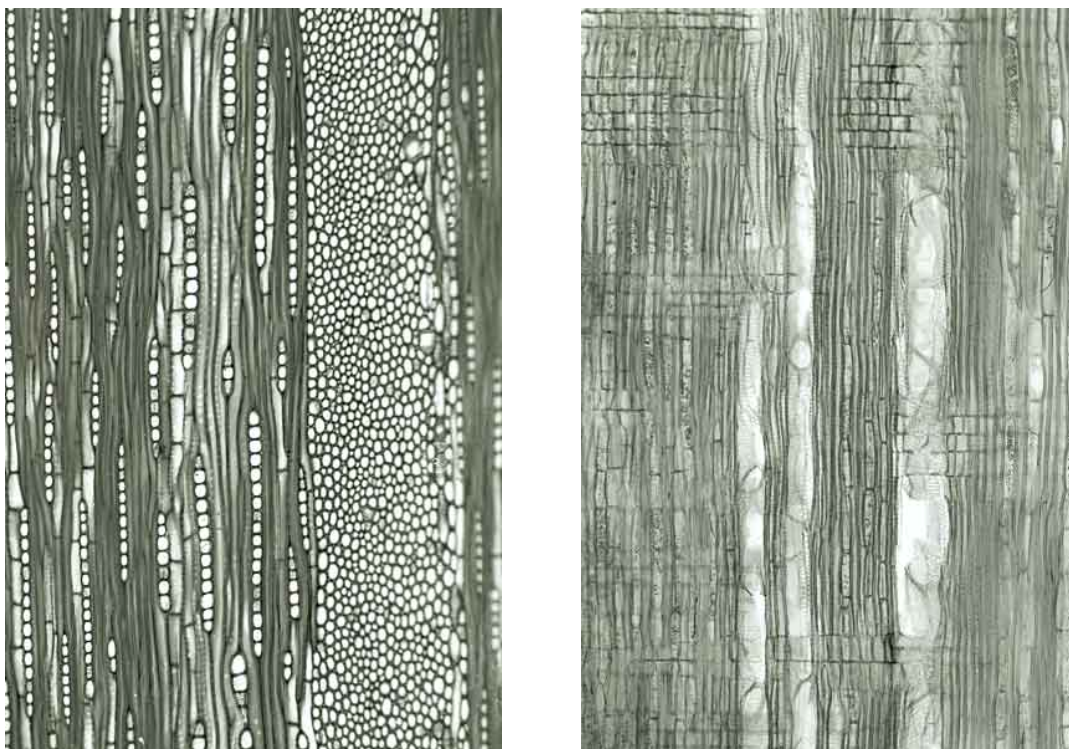
Széles bélsugarai kiválóan láthatók minden metszeten, és a keskeny bélsugarakkal váltakozva helyezkednek el. A mechanikai alapszövetet képező farostok és rost-tracheidák 55-58% részarányúak, a farostok fala vékonyabb, mint a többi tölgnél. A szijácsfa nem tartós. Fájában előfordulhat a fagyléc, álgeszt és a különböző repedések. Kérgé kevésbé durva, mint a kocsányos tölgyé.

Kocsányos tölgy

Szijácsa keskeny, sárgásfehér, gesztje sárgásbarna. Gyűrűs likacsú, **edényei** a keresztmetszeten a korai pásztában jóval nagyobbak, mint a késői pásztában, az évgyűrűhatár mentén egy sorban helyezkednek el, szabad szemmel is jól láthatók és gyakran tartalmaznak tiliszeket. A sugár- és húrmetszeten a korai pászta nagy edényei árokszerű mélyedésként láthatók. A késői pászta kis edényei sugár irányú sorokat alkotnak, körülöttük bő üregű rost-tracheidák és faparenchimák találhatók. Az edények áttörése teljes.



8. ábra – Bütü metszet, és a széles bélsugár (SCHOCH, 2004)



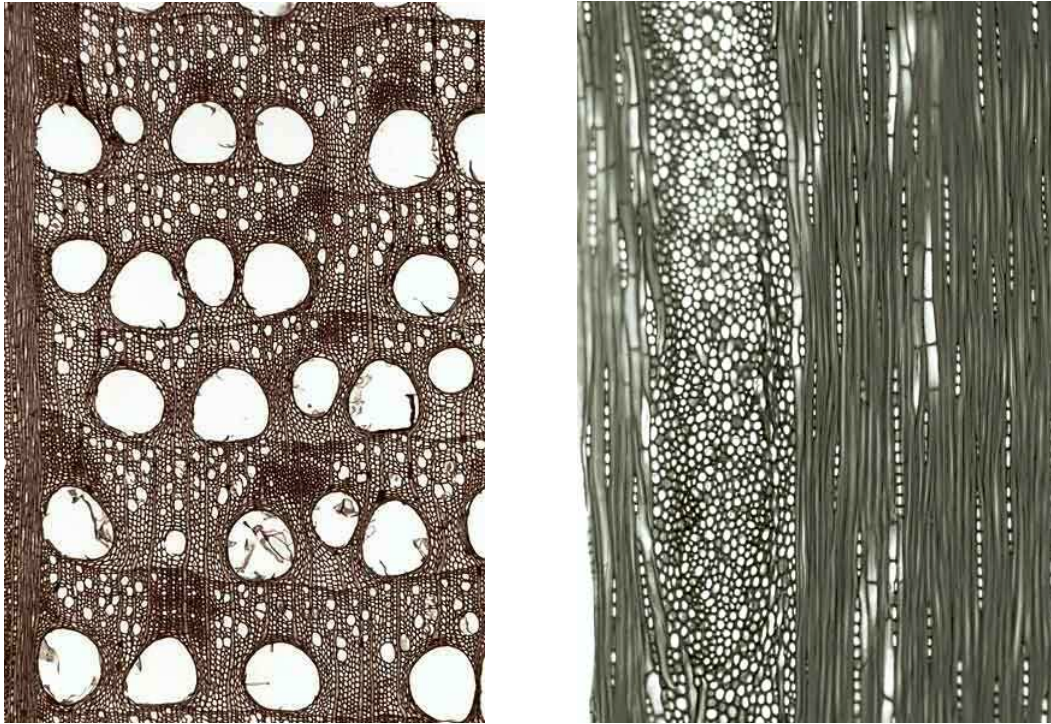
9. ábra – Kocsányos tölgy sugár és húr metszete (SCHOCH, 2004)

Az egy sejtsoros **bélsugarak** mellett szabad szemmel jól látható széles bélsugarakkal is rendelkezik (**8-9. ábra**). Jellegzetesek a sugármetszeten látható széles bélsugár tükrök. Az évgűrűhatárral párhuzamosan, húrirányú sorokban **faparenchimát** tartalmaz. A fatest szilárdító alapállományát vastag falú farostok (libriform rostok) és rost-tracheidák alkotják. Gyakori fahibája a fagyléc, a gyűrűs- és bélrepedések. Nyári időszakban a szijács gyorsan korhad. A minőségi feldolgozás (pl. bútorfront) szempontjából jelentős gondot okoz a fatest színbeli tarkasága. A károsodott tölgyfa bütűjén sötét színű „gyűrűket” lehet megfigyelni.

Amerikai fehér tölgy

Határozott gyűrűs likacsú fafaj. Az évgűrűk viszonylag egyenletes szélességűek (~ 2 mm). A korai pászta 1–2 sorban elhelyezkedő nagy átmérőjű edényei és a bélsugarak szabad szemmel is jól láthatók. A világos sárgás-fehér szijács 2–8 cm széles. A geszt sötétebb a sárgás barnától a közép barnáig terjedő színárnyalatokban.

Az **edények** a korai pásztában nagy átmérőjűek (~ 335 μm), többnyire túliszesek, a késői pásztában aprók (~ 30 μm) szabad szemmel nem láthatók radiális sávokat képeznek. Az edények területi részaránya a keresztmetszeten 25%.



10. ábra – Amerikai fehér tölgy bütü és húr metszete (SCHOCH, 2004)

A **farostok** vastag falúak, viszonylag hosszúak (1,36 mm), egyenes lefutásúak. A területi részarányuk 49%. A **bélsugaraknak** két típusa figyelhető meg: keskeny típus (16 μm) és széles típus (215 μm). A széles típus sugármetszeten mérhető magassága elérheti a 40–50 mm-t is. A bélsugarak területi részaránya a keresztmetszeten 22%. A sávban elhelyezkedő vékonyfalú, kisméretű **hosszparenchimák** mindössze 4% mennyiségi arányúak (10. ábra).

2.2.2 Az anatómiai jellemzők kapcsolata a hordógyártással.

Az előzőekben bemutatam három, a hordógyártásra alkalmas fafaj anatómiai sajátosságait, jellemzőit. Ez alapján azonban, mind a folyadék-áteresztés és szilárdsági szempontból különbségek lehetségesek a vizsgált fajok között.

A makroszkópos jellemzők a frissen fűrészelt felületeken jól láthatók (ha a kitermelés már több hónapja megtörtént, akkor célszerű egy friss vágáslapot készíteni a minőség megállapításához).

A hordógyártás szempontjából előnyös az egyenletes, viszonylag keskeny (1–2 mm) évgűrű szélesség. A hazai, síkvidéki kocsányos tölgyek esetében megfigyelhető az évgűrűszélesség erős ingadozása 1–10 mm mérettartományban. Mivel a keskeny és széles évgűrűk szilárdsága között jelentősek a különbségek, az ilyen dongák nem megbízható minőségűek, könnyen törnek.

A donga anyag nem tartalmazhat belet, vagy közvetlen a bél közeléből származó juvenilis fát. Az ilyen faanyag könnyen reped, deformálódik.

Ismert, hogy a geszt és a szijács tulajdonságai eltérnek. **A szijácsban lényegesen kevesebb a tannin, kisebb a faanyag tartóssága.** Tehát a szijácsos faanyag nem alkalmas a minőségi dongagyártásra!

A donga minőség szempontjából a mikroszkópos (sejtes) szerkezetben **kiemelkedő a bélsugarak szerepe.** A bélsugarak vékonyfalú parenchima sejtekből épülnek fel, ezért könnyen

összeroppanhatnak. A bélsugár parenchimák jelentős mennyiségben tartalmaznak keményítőt ennek köszönhető a tükrös, sima felülete, a széles, magas nagyméretű bélsugaraknak (radiális metszet).

A tölgyekben a bélsugarak részaránya 20–30% között változik. Ezzel összefüggésben megemlítjük, hogy a fehér tölgy széles bélsugarai 100–300 μm szélességűek, a kocsányos és kocsánytalan tölgyeké ezzel szemben 500–1000 μm méretűek. **Tehát a lényegesen (3–4-szer) keskenyebb fehér tölgy bélsugarak kisebb veszélyforrást jelentenek a folyadék átérésztés, a hólyagosodás (réteg elválás) és a repedés szempontjából egyaránt.**

A farostok (libriform rostok, rost-tracheidák) biztosítják a faanyag szilárdságát, rugalmasságát. A három tölgy faj rost morfológiájában jelentős különbségek nincsenek, de a **fehér tölgyeknél a rost sejtek kettős falvastagsága (~ 9,1 μm) lényegesen nagyobb, mint a hazai kocsányos és kocsánytalan tölgyeké (~ 6,8 μm).**

A donga minőségét befolyásolják még az edények jellemzői. **Az évgyűrűk korai pásztájában lévő nagy átmérőjű (200–350 μm) edények mentén gyűrűs repedések, réteg elválások is kialakulhatnak.** A fehér tölgyeknél ezen edények nagyobb mértékben tömítettek tülisz sejtekkel, mint a másik két faj esetében. Ez némileg előnyösebb tulajdonságokat eredményez.

Az anatómiai jellemzők alapján a hordó gyártás szempontjából a legelőnyösebb tulajdonságokat a fehér tölgy mutatja. A kocsányos és kocsánytalan tölgy közötti különbséget elsősorban a kocsánytalan tölgnél megfigyelt homogénebb évgyűrű struktúra jelenti. A termőhelyi adottságok és a genetikai tényezők azonban jelentősen befolyásolhatják az anatómiai szerkezetet. A göcsösség mértékére nagy hatással vannak az erdőnevelési eljárások. A faállományok ápolása, tisztítása, gyérítése. A fabeszerzés szempontjából ismeretlen erdőtájokról, ezért kellő óvatossággal kell eljárni a faanyag minősítésekor (pl. próba szállítmány felvágása).

A jelen kutatómunkában szükségesnek tartottam az évgyűrűszélesség és azon belül a pásztaarányok vizsgálatát, mivel a jellemzők szorosan kapcsolódnak a műszaki tulajdonságokhoz.

2.3 *A tölgyek hordógyártást befolyásoló műszaki tulajdonságai*

A műszaki tulajdonságok alatt a fatestnek, mint szilárd testnek a fizikai és kémiai tulajdonságait értjük. A fizikai tulajdonságok és azok inhomogenitása alapvetően meghatározzák a boros dongák szilárdságát, repedékenységét és megmunkálhatóságát. A kémiai tulajdonságoknak alapvető szerepük van a bor ízének kialakulásában. A kémiai tulajdonságok vizsgálata nem képezte a kutatásom tárgyát, de a szoros kapcsolódás miatt e területet feldolgozása is szükséges.

2.3.1 *Fizikai és mechanikai tulajdonságok*

A rendelkezésre álló szakirodalmak (MOLNÁR, BARISKA 2006; WAGENFÜHR 1996) és a Faanyagtudományi Intézet korábbi kutatási jegyzőkönyveinek (ERFARÉT-Trust 2008, 2009, 2010, 2013) felhasználásával összehasonlító elemzést végeztem a három tölgy faj fizikai tulajdonságaira vonatkozóan. Megjegyzem, hogy egyes szakirodalmak a mechanikai tulajdonságokat az egyéb fizikai jellemzőktől elkülönítetten tárgyalják. Ennek oka, hogy a faszervezetek, faépítmények méretezésével összefüggésben a famechanika jelentős fejlődésen ment keresztül, és így önállósult tudományterületet képez. Mindemellett a mechanika a fizika tudományok része, így ez esetben együtt vizsgálom a mechanikai és az egyéb fizikai tulajdonságokat. A 3 vizsgált fafaj tulajdonságainak irodalmi átlagértékeit az **1. táblázat** tartalmazza.

1. táblázat – A „nemes” tölgyek fizikai tulajdonságainak összehasonlítása (WAGENFÜHR, 1996)

Jellemzők	Fafaj		
	Kocsányos tölgy	Kocsánytalan tölgy	Am. fehér tölgy
Sűrűség (kg/m³)			
- légszáraz	697	710	775
- absz. Száraz	640	660	740
- élőnedves	~1100	~1100	~1100
- bázis	570	590	615
Nedvességtartalom kitermelés után (%)	55-60	58-65	50-60
Zsugorodás (%)			
- sugár irányú	5,60	5,47	5,50
- húr irányú	7,46	7,87	9,80
- rost irányú	0,40	0,39	0,30
- térfogati	12,44	13,35	15,60
Rosttelítettségi nedvességtartalom (%)	27	28	30
Hővezető képesség rostra merőlegesen u=12%; (W/mK)	0,13-0,20	0,13-0,20	0,13-0,20
Statikus szilárdságok (MPa) rosttal párhuzamosan			
- hajlító	95,7	112,4	111,0
- nyomó	51,4	55,7	52,0
- húzó	89,9	104,6	105,0
- nyíró	11,6	11,8	11,8
Ütő-hajlító szilárdság (J/cm²)	6,0	6,0	21,0
Hasító szilárdság (J/cm²)	0,4	0,4	0,4
Statikus hajlító rugalmassági modulus (MPa)	11700	13000	13800
Keményesség (Brinell, MPa)			
- bütü	66	66	50
- oldal	34	34	31

Általánosan megfogalmazható, hogy mindhárom tölgyfaj közepesen sűrű, kemény és szilárd fatesttel rendelkezik. Az egyes tulajdonságok között azonban olyan kisebb-nagyobb különbségek vannak, amelyek ismerete fontos a hordógyártás szempontjából (**2. táblázat**).

A faanyag sűrűsége szempontjából a kocsányos tölgy rendelkezik a legkisebb értékkel, de a kocsánytalan tölgygel szembeni 1–2% különbség – figyelemmel az adatok jelentős terjedelmére – nem tekinthető lényegesnek.

A normál (légszáraz) adatok minimum, átlag, és maximum értékei a következők (kg/m³):

2. táblázat – Tölgy fajok légszáraz sűrűségértékei (MOLNÁR, 1999)

	min.	átlag	max.
Kocsányos tölgy	430	690	960
Kocsánytalan tölgy	600	710	850
Fehér tölgy	710	775	820

Az Észak-Amerika atlantikus, keleti partjairól származó fehér tölgy átlagosan 4–5%-al nagyobb sűrűségű (nehezebb). Az adatok kisebb szórása azt is igazolja, hogy e fafaj egységesebb, homogénebb tulajdonságokkal rendelkezik. Itt is fel kell hívnom a figyelmet arra, hogy tölgy fafajon belül a széles évgyűrűjű anyagok sűrűbbek, kemények, ridegek. A tulajdonságok rendkívüli változékonyságára, nagyfokú termőhely függőségére különösen a kocsányos tölgynél kell „odafigyelni”.

Az őszi - téli időszakban történő fakitermeléskor a faanyag átlagos nettó nedvessége 50–65%. Júliusra ez lecsökken 40–45%-ra. A friss termelésű anyag szállításakor 1100 kg/m³-rel célszerű számolni.

A zsugorodási értékek az abszolút száraz (u = 0%) és a rosttelítettségi határ közötti tartományra értendők.

A három fafaj között jelentős különbségek nincsenek. A húr és sugárirányú zsugorodás hányadosa (zsugorodási anizotrópia) elmarad a kritikus 2,0 értéktől: kocsányos tölgy 1,35; kocsánytalan tölgy 1,45; fehér tölgy 1,78.

A zsugorodási („beszáradási”) túlméretek a kocsányos és kocsánytalan tölgynél azonosnak vehetők. A fehér tölgynél húrirányban (a donga vastagsága mentén) javasolható 6% (kocsányos és kocsánytalan tölgy 4,5%). A sugár irányú „beszáradási” túlméretek mindhárom fafajnál 3,5% körüliek (cél nedvesség 12%).

Gyakori hibaforrás anyagvizsgálatoknál a **reakciófa (húzott fa) jelenléte, mely megnöveli a rostokkal párhuzamos (hosszirányú) zsugorodási értékeket**. A normál tölgyeknél tapasztalt 0,3–0,4% helyett ezen érték elérheti az 1,5–2,0%-t is. A reakciófa elsősorban a külponos törzseknél figyelhető meg. Az ilyen faanyag hosszirányban könnyen vetemedik.

A statikus szilárdsági jellemzők szempontjából a kocsánytalan és a fehér tölgy értékei közel azonosak. A kocsányos tölgyé azonban valamivel alacsonyabbak. Megjegyezzük, hogy **a hordógyártás szempontjából fontos hajlító szilárdságnál megfigyelt 10–12% átlagérték különbség már jelentősnek ítéltető**. A kocsányos tölgy szerényebb átlagértékei a szöveti inhomogenitással, az évgyűrű struktúra nagyfokú változékonyságával állnak összefüggésben.

A faanyag szívósságára utaló fajlagos ütő-hajlító munka (szilárdság) fehér tölgyre vonatkozó irodalmi értékei rendkívül magasak, meghaladják a hazai fehér akácét és közel azonosak a „listavezető” hichori dióéval (WAGENFÜHR, 1996). **A fehér tölgy ezen tulajdonsága különösen előnyös a dongák hajlításakor.**

A fehér tölgyek nagyobb sűrűsége és lényegesen nagyobb szívóssága (ütő- hajlító szilárdsága) miatt nehezebb mechanikailag megmunkálni (a szerszám cserék 30-50%-al gyakoribbak). Figyelemmel a sűrűség és a szilárdsági jellemzők szoros kapcsolatára a különböző szilárdsági és keménységi értékek szintén hasonlóan széles terjedelemmel rendelkeznek, mint a sűrűség. A német szakemberek a tölgyek keménységét az évgyűrűk szélessége alapján csoportosítják (WAGENFÜHR 1996):

- < 1 mm = lágy fa
- 1 – 2 mm = félkemény fa
- 2 – 3 mm = közepesen kemény fa
- > 3 mm = keményfa

A hazai tölgyek évgyűrű szélességének inhomogenitása miatt a jelenség kevésbé igazolható.

2.4 A hordógyártás szempontjából fontos fakémiai tulajdonságok

A három „nemes” tölgy faj fontosabb jellemzőit a **3. táblázat**ban mutatom be (WAGENFÜHR 1996).

3. táblázat – A „nemes” tölgyek kémiai jellemzői

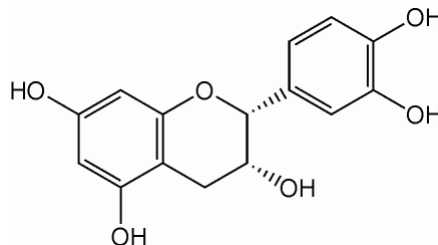
Jellemzők (%)	Fafajok		
	Kocsányos tölgy	Kocsánytalan tölgy	Fehér tölgy
Alkohol-benzolos extrakt tartalom	1,8-4,7	1,8-4,7	2,6
Hideg vizes extrakt tartalom	2,9-7,3	2,9-7,3	2,4
Forró vizes extrakt tartalom	5,4-12,2	5,4-12,2	4,5-5,5
Lignin	24,9-34,3	24,9-34,3	25,3-31,8
Poliszacharidok	73,2-78,7	73,2-78,7	70,2-78,0
Ebből cellulóz	37,6-42,8	37,6-42,8	44,0-50,0
Pentozán	19,0-25,5	19,0-25,5	24,9
Hamutartalom	0,3-0,6	0,3-0,6	0,3-0,5
pH érték	3,9	3,9	4,2

A tölgyek kémiai összetételét NYIKITYIN, (1959) különböző erdőnevelési módszerekhez kapcsolva vizsgálta, a téma borászati összefüggéseire azonban nem tért ki.

2.4.1 Csiersavak – tanninok

A hordógyártás és a bor íze szempontjából a tanninok szerepe meghatározó. A csiersavak, más néven tanninok vagy digalluszsavak keserű ízű, növényi eredetű polifenolok, amik összekötik és kicsapják a proteineket. A tannin kifejezés a tölgyfa kelta nevéből ered, utalva az anyag eredetére, hiszen a tölgyfa fájában csiersav található. A magyarországi tölgyek közül éppen a nevét a cseranyagokról kapó csertölgy tartalmazza a legkevesebb cseranyagot. (MOLNÁR, 2004)

A tiszta csiersav színtelen, fénylő por, amely a levegőn gyorsan megsárgul és vízben igen könnyen oldódik; alkohol nehezen oldja, éterben pedig oldhatatlan. A csiersavnak különböző izomerjei számos növényben található, így a kávéban, teában, kínafa kéregben, stb. Bőr cserzésére és gyógyszerként használják. A tanninoknak két fő csoportját különböztetik meg, a hidrolizálható tanninokat, és a kondenzált tanninokat, melyek szerkezetükben különböznek (NÉMETH, 1997). A hidrolizálható tanninok sokkal könnyebben oxidálhatók (KÜRSCHNER, 1962).

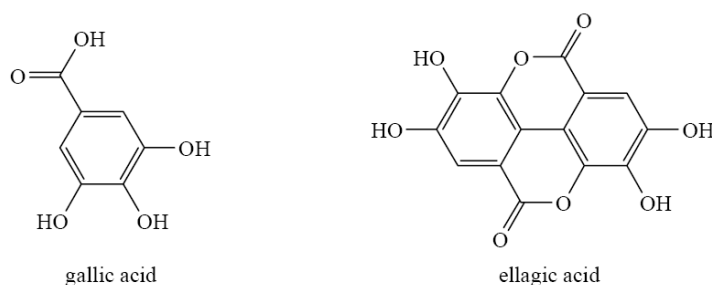


11. ábra – Proantocianidin monomer (Németh, 1997)

A **kondenzált tanninok** a szőlőben található meg, a borkészítésben fontos szerepük van. Főleg vörösborok ízének-állagának fontos meghatározó tényezői, de kisebb mennyiségben

fehér- és rosé borokban is megtalálhatók. A borban lévő tannin főleg a szőlőfürt kocsányából, a szőlőszem héjából és magyából származik, valamint az érleléshez használt tölgyfahordók dongáiból. A szőlőszemek héjában és magjában található tanninok idővel fanyarrá válnak, és főleg akkor vehető észre a borban, ha a mustot együtt érlelték a héjjal a sötétebb szín elérése érdekében. A szőlőben található kondenzált tanninok a proantocianidin monomerre vezethetők vissza GU ET AL., (2004), és NOLLET, TOLDRÁ, (2012) szerint **(11. ábra)**. A kezdő borivók általában nehezen ihatónak jellemzik a magas tannintartalommal rendelkező borokat. Rendszerint száraznak, és összehúzóként jellemzik a tanninban gazdag bor ízlelése után a szájban jelentkező érzéseket.

A modern borkészítők némelyike kényesen ügyel ezért arra, hogy a szőlőszemeket leszedjék a kocsányokról, illetve gyengébb préseléssel olyan mustot állítsanak elő, melyben kicsi a kondenzált tanninok aránya (KÁLLAY ET AL., 1998).



12. ábra – Galluszsav és ellágsav (NOLLET, 2012)

A **hidrolizálható tanninok** a tölgy faanyagból oldódnak ki a bor érése során, a szőlőben nem található meg (EGGERS ET AL., 2005). Fontos szerepet játszanak az érés során, mivel megvédik a bort az oxidációtól. Valószínűleg ezzel elősegítik, hogy a tanninban gazdag borok több évtizeden át fogyaszthatók maradnak. Időközben az érés során polimerizálódnak, és ezáltal lágyabb ízű, kevésbé savas lesz a bor. Jelentős mennyiségben fordulnak elő a borok üledékeiben is.

A hidrolizálható tanninoknak két csoportját különböztethetjük meg, a gallotanninokat és az ellagitanninokat **(12. ábra)**. A gallotanninok hidrolízis során galluszsavat produkálnak. Jellemzőjük, hogy a központban egy szénhidrát helyezkedik el, melyhez a hidroxilcsoportok észteresítésével kapcsolódnak a galluszsav származékok. Az ellagitanninok ezzel szemben ellágsavat tartalmaznak, melyek két galluszsavból képződnek.

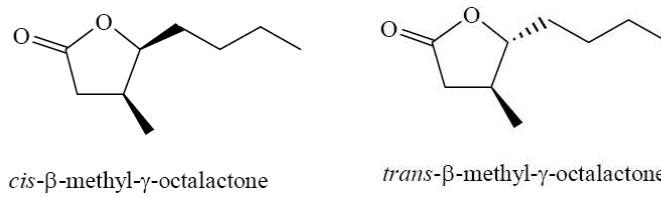
4. táblázat – Oldható fenol-tartalom fehértölgy és európai tölgyek évgyűrűjének korai és kései pászttájában (SINGLETON, 1995)

	növekedés [mm/év]	sűrűség [g/cm ³]		oldható fenol [g/kg]	
		korai	kései	korai	Kései
<i>Pászta</i>					
<i>Quercus alba</i>	3,3	0,60	0,84	19	15
<i>Quercus robur/petraea</i>	2,7	0,49	0,73	73	48

Ha megvizsgáljuk a különböző elterjedésű tölgyek összes fenol-tartalmát **(4. táblázat)**, akkor az európai tölgyek összes fenol-tartalma jóval magasabb, mint az amerikai fehér tölgyé (SINGLETON, 1995). Természetesen ebbe a körbe nem csak a csersavak, és azok származékai tartoznak bele.

Amikor a tanninokat hasonlították össze, azt tapasztalták, hogy az amerikai fehér tölgyet alacsonyabb oldható összes ellagitannin-tartalom jellemzi, ugyanakkor a β -metil- γ -oktalakton (ún. whiskey lakton) tartalma viszont magasabb az európai fajokhoz viszonyítva.

A β -metil- γ -oktalakton *cisz* téniszomerjét tartják a tölgy hordókból származó legfontosabb illékony komponensnek, mely jelentős mértékben hozzájárul a bor ízének alakulásához (13. ábra).



13. ábra – *Cisz* és *transz* β -metil- γ -oktalakton szerkezete (NOLLET, 2012)

Más ízanyagok mennyisége több lehet az európai tölgyekben (**5. táblázat**) (pl. eugenol származékok), illetve számos olyan ízanyag is van, mely az égetés során keletkezik, és amiből az európai fajok hordójában mutattak ki többet (pl. furanol származékok). (VIVAS, 1997; CHATONNET, DUBOURDIEU, 1998).

5. táblázat – Különbözö tanninok mennyisége kocsányos, kocsánytalan és fehér tölgy faanyagban [$\mu\text{g/g}$]

	kocsánytalan tölgy	kocsányos tölgy	fehér tölgy
ellagitanninok	8000	15000	6000
katekin tanninok	300	600	450
metiloktolakton	77-140	16-50	158-170
eugenol	8	2	4
vanilin	8	6	11

(KÜRSCHNER, 1962)

A fenti adatokat nagyban befolyásolják a genetikai tényezők, a termőhelyi adottságok és a faanyag tárolási ideje, módja.

2.5 A szabadtéri dongaérlelés faanyag-degradációs hatása

A minőségi hordógyártás kialakult gyakorlata szerint kulcs fontosságú a donga alapanyag szabad levegőn történő természetes szárítása. AUER ET AL., (2006), (2007) **(14. ábra)**. A kívánt felhasználási nedvességtartalom kíméletes elérésén túl, a fa a kitétségek hatására komplex kémiai átalakuláson megy keresztül, melyeket a felhasználás szempontjából is fontos megemlítenem.



14. ábra – Dongafríz rakatok (fotó: Taschner R.)

Az anyag komplex átalakulását a legtöbb esetben olyan kiküszöbölhetetlen gyakorlati folyamatok segítik, mint a fény és a hőmérséklet ciklikus változása, illetve a kémiai anyagalkotók kimosódása a csapadék által. Ezek az abiotikus hatások felelősek az egyes, de sok esetben a komplex anyagalkotók változásaiért is. (NÉMETH, 1989); (1998), (KÜRSCHNER, (1962).

HON (1981) nyomán KAMOUN ET AL. (1999) által végzett vizsgálatok kimutatták, hogy a lignin és fotodegradációs termékei a faanyag felületéről kimosódhatnak. Nedves anyagfelületen az UV sugárzás hatására bekövetkezett degradáció gyorsabban játszódott le, melyet ANDERSON ET AL. (1991a, b) fehér tölgyeken is bizonyított. EVANS ET AL (1992) mannóz, xilóz arabinóz és galaktóz vegyületek kimosódását vizsgálta. Bizonyítást nyert, hogy szabadban tárolt faanyag oldható komponenseinek 6,4–18,0%-a volt vízzel és metanollal a felületen keresztül kinyerhető, míg fedett körülmények között tárolt anyag esetében ez csupán 1,6–2,2%.

A tölgy fűrészáru felületének kitétségek következtében végbemenő eróziója vízszintes felületen korai pászta esetében elérte az átlagos 114 $\mu\text{m}/\text{év}$, késői pásztánál 105 $\mu\text{m}/\text{év}$ értéket. (WILLIAMS ET AL. 2001)

A szakirodalom részletes elemzése alapján megállapítható, hogy a köznyelvben „nemes” tölgynek nevezett fafajok rendszertanilag a fehér tölgyek alnemzettségébe tartoznak és a barrique hordógyártás szempontjából részben eltérő műszaki tulajdonságokkal rendelkeznek. Különösen kedvezőtlen a kocsányos tölgy inhomogén szerkezete és ennek hatásai, ezért ezen fafaj minőségi hordógyártásban való felhasználása az elmúlt években teljesen visszaesett. A donga minőség tekintetében rendkívül fontos a tulajdonságok megbízhatósága, homogenitása. E területen a fehér és a kocsánytalan tölgy jellemzői mutatkoztak kedvezőnek. A fehér tölgyet különösen

értékessé teszi a kiemelkedő szívóssága. A faanyagban a tanninok mennyisége is nagy változékonyságot mutat, mely a termőhelyi adottságokra vezethető vissza.

Az irodalom áttanulmányozása során nem találtam kutatási eredményeket, gyakorlati megállapításokat arra vonatkozóan, hogy a nagy értékű lombos frízárut, természetes előszárítása (érlelését) során milyen hatások érik, továbbá hogy milyen szárítási időtartamot (2–3 év vagy több) célszerű alkalmazni. Nem született még tudományos értekezés arról sem, hogy az előszárítás során miként alakul a rakaton belüli fanedvesség, nyári-téli betárolás valamint a rakat magassága mentén, az alsó-, középső- és felső rétegekben. E tényezők vizsgálata és ismerete pedig feltétlen fontos a minőségi fatermék, kiváltképp pedig a minőségi hordógyártás szempontjából. Hasonlóan fontosnak ítéltam a felhasználást befolyásoló műszaki tulajdonságok fafaj és termőhely függő vizsgálatát. Így a kocsánytalan tölgy négy meghatározó hazai termőhelyére vonatkozóan megvizsgáltam a faanyag nedvességtartalmát, sűrűségét, zsugorodás-dagadási és évgyűrűszerkezeti jellemzőit, nyomó- és hajlítószilárdságát továbbá rugalmassági tulajdonságait. Vizsgálatomban a származáson kívül további függő tényezőként szerepelt a betárolás ideje, szárítás ideje és a rakatban elfoglalt pozíció is.

3 Vizsgálati anyagok és módszerek

Értekezésemben 4 főbb magyar, és egy amerikai tölgytermő területről származó faanyag fizikai, mechanikai és évgyűrű-szerkezeti vizsgálatát tűztem ki célul. Figyelemmel az értekezés terjedelmi korlátaira a hordógyártás gyakorlatában ma már kevésbé alkalmazott kocsányos tölgy részletes vizsgálatát és elemzését nem tartottam szükségesnek.

Az irodalmi áttekintés és a kutatási célkitűzések tükrében 4 jellemző hazai termőhelyről (Zemplén, Mecsek, Zala, Somogy,) származó kocsánytalan tölgyet (*Quercus petraea*) és Észak-Amerika Wisconsin államából származó fehér tölgyet (*Quercus alba*) vizsgáltam.

3.1 A vizsgálati alapanyag és mintavétel

A hordógyártás alapanyagával szemben támasztott szigorú követelményrendszer főképp vizuális osztályozáson alapul, mely főbb tényezői a rönkméret, az egyenes hengeres rönkpalást, a fahibáktól mentes homogén szöveti szerkezet. A hasított illetve a fehér tölgy esetében fűrészelt dongafríz anyag 3 lépcsős osztályozás után került rakatolásra a szigetvári Trust Hungary Zrt. becefai telephelyén. A fríz hosszmérete 95–110 cm, vastagsága 29–32 mm, míg szélessége 40–110 mm között változott. Az 1 m széles 1,4 m magas rakatok két szinten történtek betárolásra. Származási hely szerint 5, betárolás szerint 2 (téli, nyári), érlelési idő szerint további 2 (2 év, 3 év) faktort különböztettünk meg. A természetes száradásnak kitétt rakatokon belül az említett faktorok szerint vizsgáltam az alsó, középső, felső szinteket.

- Felső szint („F”): a felső rakat felső két sorából mintavett anyagok,
- Középső szint („K”): a felső rakat alsó két sorából származó anyagok,
- Alsó szint („A”): az alsó rakat alsó két sorából vett anyagok.

A mintavétel és anyagelőkészítés a vonatkozó (MSz-EN 319-76) szabvány szerint történt. A vizsgálati anyagokat az alábbi faktorok szerint csoportosítottam:

- **fafaj szerint: kocsánytalan tölgy, amerikai fehér tölgy**
- **származási hely szerint: 01 Mecsek, 04 Somogy, 05 Zala, 07 Zemplén, 10 Amerika**
- **érlelési (tárolási) körülmények: szabadtéri szárítás, 2 szintes rakatolás, pozíció szerint: alsó A, középső K, felső F**
- **betárolás időpontja szerint: nyári betárolás N, téli betárolás T,**
- **érlelési idő: 2 éves, 3 éves**

Az próbatestek előkészítését, a fent nevezett faktorok szerint a vizsgálati szabványok figyelembevételével csoportonként végeztem. A statisztikai értékelhetőség követelménye szükségessé tette a faktoronként és vizsgálatonként min. 30 db-os mintavételt, így vizsgálatonként minimum 60*30 db, azaz min. 1800 db próbatesten végeztem el a szükséges anyagvizsgálatokat.

A kutatáshoz szükséges alapanyagot a szigetvári Trust Hungary Zrt. biztosította, melyért ezúton fejezem ki köszönetemet.

3.2 Vizsgálati módszerek

3.2.1 Fizikai tulajdonságok vizsgálata

A fizikai vizsgálatok a faanyag azon tulajdonságaira és jellemzőire terjednek ki, amelyek a kérdéses anyag szétदारabolása, vagy kémiai összetételének megváltoztatása nélkül figyelhetők meg. A faanyag fizikai tulajdonságainak ismerete kiemelkedő fontosságú a feldolgozás során alkalmazott technológiai paraméterek megválasztásakor, illetve a szerkezeti méretezés szempontjából is.

A faanyag fizikai szempontból egy olyan háromfázisú rendszer, amely tartalmazza a tiszta faanyagot (sejtfalak), vizet (kötött-, szabad-víz formájában), valamint levegőt a sejtüregekben. Szilárd testként jellemző rá:

- a kristályos szerkezet mellett az amorf részek is,
- inhomogenitás: mivel a faanyag tulajdonságai a vizsgált hely függvényében nagy differenciát mutatnak,
- ortogonális anizotrópia: a tér egymásra merőleges három síkjában (sugár-, húr-, rost-irány) a faanyag fizikai tulajdonságai szintén eltérnek,
- porózus szerkezet, ami képessé teszi a faanyagot, nedvességváltozás hatására a különböző anatómiai fő irányokban különböző mértékben, méreteinek megváltoztatására.

3.2.1.1 Nedvességtartalom, dongák természetes szárítása

A minőségi fatermékek készítéséhez vezető műveletek sorában a megfelelő rönk alapanyag kiválasztása után a második legfontosabb művelet az alapanyag szárítása, a felhasználáshoz szükséges nedvességtartalom beállítása. A szárítással arra törekszünk, hogy a mindenkori felhasználási területnek megfelelő egyensúlyi fanedvességet állítsuk be. Ennek eredményeképpen a leszáritott alapanyag a termék használata során semminemű méretváltozást nem szenved. (TAKÁTS, 2000). A hosszú és kíméletes szárítás kedvezően befolyásolja a zsugorodásból eredő belső feszültségeket is.

A hordó alapanyag szárításra történő előkészítése a következő fázisokból áll:

- Megfelelő rönk kiválasztása, döntés, köbözés
- Hossztolás, dongahasítás, dongafríz fűrészelés, rakatolás.

Ezen munkafolyamatok nyomon követése és dokumentálása az iparban megoldott, kellőképpen kontrolált.

Tölgyfa hordók gyártásában is kulcsfontosságú a megfelelő szabadtéren történő szárítás. A szabadlevegős szárítás során a faanyag nedvessége a levegő relatív páratartalmának, hőmérsékletének és a légmozgás hatására változik. A száradás folyamatának menete nagyban függ –közvetett és közvetlen módon-, a nap sugárzásától, a mindenkori klimatikus viszonyoktól is, ezért a száradás lefutása változó. A levegő, mint szárító közeg, hőmérsékletének emelkedésével egyenes arányban több nedvesség felvételére képes (TAKÁTS, 2000). Az említett tényezők függvényében éves átlagban Magyarországon $\mu = 12-18\%$ nettó nedvességtartalom produkálható, a szabad levegőn történő természetes szárítás alkalmazásával.

A természetes szárítás menetét befolyásoló tényezők a következők:

- fafaj,
- sűrűség,

- rakat tulajdonságai (mint pl. a szélirányhoz való viszonya, rakatolás sűrűsége, módja, helye (KOVÁCS,1977),
- árutér elhelyezése, kialakítása (légmozgáshoz, a napsugárzó hatásához, az eső csapásirányához való viszonya.

A természetes szárítás előnyei:

- kíméletes, lassú, (kisebb belső feszültségek)
- egyenletes nedvességleadás,
- egyenletes végső nedvességtartalom,
- öntözéses rendszer alkalmazásával irányítható,
- olcsó, és nagy tömegben végezhető.

Hátrányok:

- erősen időjárásfüggő,
- legalacsonyabb elérhető érték a légszáraz állapot,
- száradási hibák (kisebb bütü és felületi repedések),
- elszíneződések, gomba- és rovarkár.
- hibák miatti értékcsökkenés elérheti akár a 8%-ot is!
- Mesterséges szárításhoz képest lényegesen hosszabb szárítási idő miatt, hosszú ideig lekötött költségek.

KÄSSNER (1909) szerint az európai fafajok közül, - a szárítási hibák elkerülése végett - a tölgyek igénylik a legkíméletesebb szárítási menetrendet. Megfelelő kontrollal és a klimatikus viszonyok követésével a természetes szabadlevegős szárítás megfelelő a hordó dongafríz kívánt nedvességtartalomra történő szárításához. A szárítás minőségét még inkább szavatolja az egyenes, hengeres, ággöcs-mentes rönkalapanyag, és hasítással, többszöri minőségi osztályozás után rakatolt, szálfutás-mentes dongaalapanyag.

A több évtizedes gyakorlat szerint a dongafríz alapanyag szabadtéri szárítása 24 illetve 36 hónapig történik. A lassú szárítási-érlelési fázis hossza azonban jelentősen növeli a késztermék értékét, de a kitettség közben a kémiai anyagok kívánatos kioldódása mellett jelentkező anyag-degradáció, azonban ez idáig még nem kapott kellő figyelmet.

A nedvességmérés célja legtöbbször a száraz fatömeg meghatározás, a szárítási folyamatok szabályozása, vagy a szabványos anyagvizsgálatok előkészítése. Esetünkben ez minőségellenőrzést szolgálja, megmutatja, hogy a félkész dongafríz be kerülhet e a gyártásba.

A svájci Ecole d'ingénieurs de Changings intézetben (CHATONNET, 1994a, b, 1995) végzett kutatás szerint a dongaalapanyag megfelelő nedvességtartalomra történő szárítása kulcsfontosságú a minőségi barrière kishordók gyártásában. Svájci és francia hordógyárak közreműködésével végzett vizsgálatok során a gyártásba került alapanyag relatív nedvességtartalma minden esetben 14-20%. TAKÁTS (2000) vizsgálatai szerint a magyarországi klímán, szabadlevegős szárítással 12 -18% nettó nedvességtartalom érhető el.

AUER ET AL. (2006), (2007) francia, és HORISBERGER ET AL. (2006) svájci kutatók, továbbá CADAHIA ET AL 2001a, 2001b vizsgálatai megállapították, hogy, hogy az alapanyag földrajzi származása, növényteni besorolása mellett, a donga szabadtéren való érlelésének körülményei is hatással vannak későbbiekben a bor minőségére. Az aromaanyagok változékonyságáról és a pörkölés aromás jegyeiről RAWYLER ET AL., (2006) végeztek méréseket, melyben a hordógyártás technológiájának kiégetés fázisát vizsgálták, a donga nedvességtartalmának függvényében. Mérték az egyes aromaanyagok megjelenésének körülményeit és paramétereit. Megállapítást nyert, hogy az európai fehér tölgyek összes-fenol tartalma jóval magasabb, míg az amerikai rokonában a laktonok vannak túlsúlyban. Ezek összetétele és töménysége vízzoldhatóságuk révén a faanyag száradása során, illetve a környezeti

hatásoknak köszönhetően változik, továbbá víz- és alkoholos oldhatóságuknak köszönhetően ezen endogén aromaanyagok meghatározó kellekei a minőségi bor kialakulásának. (AUER ET AL. (2006), (2007)).

A nedvességtartalom mérésére az iparban ellenállás típusú „beütős” nedvességmérővel történik. A nagy precizitású készülékek a fafaj és hőmérsékletérték beállítása után közvetlenül jelzik ki a faanyag nedvességét. A mérések ellenőrzésére, vagy laborvizsgálatok alkalmával, a nedvességtartalom (u,%) szabványos meghatározása MSZ-EN 6786-2, 1988 szerint történik:

$$u = \frac{m_n - m_0}{m_0} \cdot 100 = \frac{m_v}{m_0} \cdot 100; \quad [\%]$$

ahol:

m_n – nedves fatömeg,	[g]
m_0 – abszolút száraz fatömeg,	[g]
m_v – a fában található víz tömege.	[g]

A különböző származásokon belül elkülönítetten vizsgáltam a természetes száradásnak kitett rakatokon belül az alsó, középső, felső szinten betárolt anyagok nedvességtartalmát.

A mintavétel két lépcsőben történt. Első körben 2 éves szabadtéri szárításnak kitett dongafríz vizsgáltam, majd további 1 éves érlelés után történt a vizsgálati anyagok második mintavétele.

A nedvességmérést az összes vizsgálati dongafrízen megtörtént, a végektől mért 300-350 mm távolságban mintavett kb. 20 - 25 mm hosszú próbatesteken. Erre a bütütől mért nagyobb távolságra azért volt szükség, hogy kiküszöböljük a bütün gyorsabban száradó anyagrészt, így jobban modellezve a dongák átlagos nedvességtartalmát. A mérést a dongatéren aktuális illetve labor körülmények között előállított abszolút száraz tömeg meghatározásával végeztem.

3.2.1.2 Sűrűség mérése

A sűrűségnek, azaz egységnyi térfogatú faanyag tömegének, kiemelkedő jelentősége van a faanyagvizsgálat terén. .

- szoros kapcsolatban van a legtöbb fizikai és mechanikai tulajdonsággal, ismeretében következtethetünk a szilárdsági jellemzőkre is. POLUBOJARINOV (1981) vizsgálatai szerint a legszorosabb kapcsolat a sűrűség és a nyomószilárdság között állapítható meg, de elfogadható pontossággal számítható a sűrűségi értékek ismeretében a statikus hajlítószilárdság, a hajlító rugalmassági modulus és a keménység is.
- meghatározza a faállományok szárazanyag produkcióját,
- meghatározza a faanyagok, fatermékek öntömeget,

Jóllehet, a fa szövetszerkezete nem egyöntetű és az azonos egyedből vett minták tömörsége is változó, a sűrűség illetve annak átlaga, jellemző az adott fajra.

A fa sűrűségére ható legfontosabb tényezők:

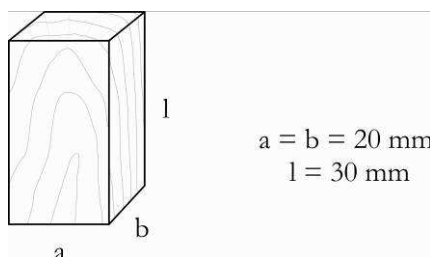
- a nedvességtartalom
- az évgyűrészelesség
- a tavaszi és a nyári pászta aránya
- a vizsgált minta törzsön belül elfoglalt helye
- **termőhelyi sajátosságok.**

Általánosan elfogadott tény volt a régmúlt fahasznosítási gyakorlatában, hogy a növekvő faanyag-sűrűség növeli a termék minőségét is, azonban ez a különleges faipari termékek gyártásában már nem minden területen állja meg a helyét.

A sűrűség mint univerzális anyagjellemző a következő összefüggés szerint számítható:

$$\rho = \frac{dm}{dv}; \quad [g/cm^3]$$

Mivel a faanyag inhomogén felépítésű, így a kívánt pontosságnak megfelelően kicsi térfogategységben (dv) lévő faanyag tömegéről (dm) van szó.



15. ábra – Szabványos sűrűségvizsgálati próbatest

A sűrűség mérését az MSZ-EN 6786-3; 1988 szabvány szabályozza. Az előírt kialakítású próbatesteken (**15. ábra**) a befoglaló méretekből számított térfogatra és a próbatestek tömegének ismeretére van szükség.

A méréshez az öt különböző származási helyről származó hordódonga alapanyagokból alakítottam ki a próbatesteket, 20 × 20 × 30 mm-es szabvány szerinti méretben, ± 0,5mm-es mérettűrés mellett.

A sugármetszetű (tükrös) hasított dongafríz, mint vizsgálati alapanyag, lehetővé tette a pontos anatómiai irányok (sugár-, húr-, rostirány) megtartását. A vizsgálathoz göcsmentes és egyéb fahibákat nem tartalmazó, egyenes rostlefutású próbatesteket használtam.

A sűrűség-értékeket normál klímán (20 C° / 65%), illetve abszolút száraz állapotban mértem.



(Fotó: Taschner R.)

16. ábra – A tömegmérés 0,001 g érzékenyséű analitikai mérleggel-, míg a vonalas méretek vizsgálata 0,001 mm pontosságú digitális mérőórával történt.

3.2.1.3 Zsugorodási és dagadási tulajdonságok

A sűrűség szoros kapcsolatban áll a higroszkópos méret és a térfogat változásával. A nagyobb sűrűségű, vastag sejtfalú fafajok általában jobban zsugorodnak és dagadnak. A szöveti jellemzők közül megemlítjük a korai és késői pászta közötti különbséget. A nagyobb késői pászta arány növeli a hygroexpanzió mértékét (NIEMZ, 1993). Sajátos szerepe van a tüliszedésnek. Az erősen tülisztes fafajoknál a vastag falú tüliszsejtek akadályozhatják a farostok dagadását, zsugorodását. A reakciófa (nyomott fa, húzott fa) a rostokkal párhuzamos zsugorodási, dagadási értékeket növeli (MOLNÁR, 1999).

A kémiai összetétel szerepe kellően még nem tisztázott. A nagyobb hemicellulóz tartalom (pl. bükk esetében) növeli az adszorpciós határt, és így a zsugorodás-dagadás mértékét is. A savak általában csökkentik, a lúgok pedig növelik a méretváltozási hajlamot. A hőmérséklet hatása 0–100°C között viszonylag szerény, ezért figyelmen kívül hagyható.

A fában a víz kétféle formában fordulhat elő. A sejtek falában kolloidálisan kötött formában, illetve rosttelítettségi határ fölött szabadon a sejtek üregeiben. A kötött víz befolyásolja a faanyag mechanikai és fizikai tulajdonságait (NÉMETH, 1997). Rosttelítettség alatti nedvességváltozás méretbeli zsugorodással illetve dagadással jár együtt. Ez a zsugorodás-dagadás értéke a három fő anatómiai irányban eltérő értékeket mutat.

$$h > s > r$$

Dagadási jellemzők (%): (MSZ-EN 6786-9, 1989)

Vonalas értékek:

$$d_{h,s,r} = \frac{l_u - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

ahol:

- l - vonalas méretek, húr-, sugár-, és rostirányokban
- l_u - rosttelítettségi határ feletti nedvességtartalomnál
- l_0 - abszolút száraz állapotban

Térfogati dagadás:
$$d_v = \frac{(100+d_h) \cdot (100+d_s) \cdot (100+d_r)}{10^4} - 100 \quad [\%]$$

Több irodalom (pl. NIEMZ, 1993) a következő összefüggéssel javasolja a dagadási% meghatározását:

$$d_v = u_{r,h} \cdot \rho_0 \cdot 10^{-3} \quad [\%]$$

ahol:

- $u_{r,h}$ - a rosttelítettségi határ az adott fafajra, %
- ρ_0 - abszolút száraz sűrűség, kg/m³

E képlet csak közelítő pontosságú számításoknál elfogadható.

A maximális térfogati zsugorodás és dagadás a következők szerinti egyszerűsítéssel is meghatározható:

$$d_v = d_h + d_s + d_r$$

$$z_v = z_h + z_s + z_r$$

A fontosabb európai fajok átlagában a következő arányok írhatók fel az anizotrópia szerint (MOLNÁR, 1999):

$$z_v : z_h : z_s : z_r = 1 : 0,63 : 0,34 : 0,03$$

Esetünkben csak a fűrészelt amerikai fehér tölgy dongafríznél fordul elő, hogy a vizsgált faanyagok nem szabályosan a húr- és sugárirányokban, hanem egy közbelső α szög mentén lettek kialakítva. Ez esetben:

$$z_\alpha = z_h \cdot \sin^2 \alpha + z_s \cdot \cos^2 \alpha$$

6. Táblázat – Fontosabb fajok maximális zsugorodási és dagadási értékei [%] (MOLNÁR, 1999)

Fafaj	Zsugorodás		Dagadás	
	Sugár	Húr	Sugár	Húr
Bükk	5,8	11,8	6,2	13,4
Erdeifenyő	3,9	8,1	4,1	8,8
Tölgy („nemes”)	4,3	8,9	4,5	9,8
Nyír	3,8	7,9	4,0	8,6
Am. Dió	5,1	7,5	5,4	8,1
Cseresznye	3,8	7,1	4,0	7,6
Mahagóni (Sapelli)	5,4	7,0	5,7	7,5
Wenge	4,9	9	5,2	9,9
Tölgy (vörös)	4,2	9,1	4,4	10

A dagadási folyamatot a következő összefüggés fejezi ki:

$$V_u = V_0 + \frac{dV}{du} \cdot u ;$$

ahol: $\frac{dV}{du}$ - „dagadási sebesség”

innen a faanyag maximális térfogata:

$$V_{\max} = V_0 + \frac{dV}{du} \cdot u_{r,h}$$

ebből kifejezve a maximális dagadást:

$$d_v = \frac{V_{\max} - V_0}{V_0} = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{dV}{du} \cdot u_{r,h}$$

az előzőekből ismert, hogy $dv = K_d \cdot U_{r,h}$, ebből következik:

$$K_d = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{dV}{du} ; \quad K_z = \frac{1}{V_{\max}} \cdot \frac{dV}{du} ;$$

Tehát a dagadási (zsugorodási) együtthatók a nedvesség változásával összefüggő dagadási (zsugorodási) sebesség függvényei.

A hygroexpánzió természetesen a relatív páratartalom (ϕ) változásának a következménye. A hazai viszonyok között a ϕ értékei 0,35 és 0,85 között változnak. A légnedvesség változás hatására bekövetkező méretváltozásokat a légnedvességi zsugorodási (dagadási) együtthatók fejezik ki ($K_{d\phi}$, $K_{z\phi}$).

$$K_{d\phi} = \frac{1}{V_0} \cdot \frac{dV}{d\phi}; \quad K_{z\phi} = \frac{1}{V_{\max}} \cdot \frac{dV}{d\phi};$$

A légnedvességi dagadási (zsugorodási) együtthatók természetesen kifejezhetők vonalas összefüggésekkel (a sugár-, húr-, és rostirányok mentén):

$$K_{d\phi l} = \frac{l_1 - l_2}{l_0(\phi_1 - \phi_2)} = \frac{1}{l_0} \frac{dl}{d\phi}$$

$$K_{z\phi l} = \frac{1}{l_{\max}} \cdot \frac{dl}{d\phi}$$

ahol: $\frac{dl}{d\phi}$ - a légnedvesség változásával összefüggő lineáris dagadási sebesség.

Tehát a vonalas dagadási értékek és a kapcsolódó nedvességváltozások ismeretében meghatározható a dagadási együttható, azaz az 1% nedvességváltozásra eső dagadási érték, az alábbi összefüggéssel:

$$K_{d(h,s)} = \frac{D_{h,s}}{U_{\max}}$$

ahol: $D_{(h,s)}$: vonalas dagadási érték (húr, sugár) [%]

U_{\max} : rosttelítettségi nedvességtartalom [%]

A húr- illetve sugárirányú dagadási értékek ismeretében a faanyag vetemedési hajlamára is következtetni tudunk, mely mérőszáma a dagadási anizotrópia:

$$A_d = \frac{D_h}{D_s},$$

ahol: A_d : dagadási anizotrópia

$D_{(h,s)}$: vonalas dagadási érték (húr, sugár) [%].

A zsugorodást és dagadást befolyásoló tényezőket a következők szerint összegezhettük:

$$d = f(\text{fafaj, } u, \rho, \text{ anizotrópia, szövetszerkezet, kémiai alkotók})$$

A minőségi hordógyártás tapasztalati úton már ismeri és figyelembe is veszi a faanyag anatómiai alkotóinak tulajdonságait. Már a rönkfeldolgozás első fázisában is törekszik bizonyos, a kapillár-porozusságból adódó tulajdonságok kiküszöbölésére. Ilyen például a tápanyagszállításban szerepet játszó alkotók, mint a hosszirányban futó tracheák és a

keresztirányú szállításban és tápanyag raktározásban részt vevő bélsugarak szállító tulajdonságának meggátolása, ugyanis ezen alkotók - tulajdonságaikból adódóan - a hordóban tárolt folyadék szállítására is képesek lennének. A hasított egyenes szálfutású első osztályú dongafríz mind a tracheák, mind pedig a bélsugarak tekintetében mentes a szálfutásoktól. A dongák bélsugarai optimális esetben a hordó palástjára érintőleges irányban futnak.

Szerkezetileg a sugárirányú illetve a húr irányú méretváltozásnak van befolyásoló hatása. A hordók használata során jelentkező légnedvesség változás okán bekövetkező méretváltozások ismerete elsősorban a dongavasak méretezéséhez szükséges.

A zsugorodás-dagadás mértékének vizsgálatát a sűrűségméréshez szükségessé megegyező próbatesteken végeztem. Az öt különböző származási helyről származó hordódonga alapanyagokból alakítottam ki a próbatesteket, $20 \times 20 \times 30$ mm-es szabvány szerinti méretben (**15. ábra**), $\pm 0,5$ mm-es mérettűrés mellett. Az anatómiai irányoktól nagymértékben függ a méretváltozás. A lehető legnagyobb pontosság érdekében elengedhetetlen a pontos anatómiai irányok (sugár-, húr-, rostirány) megtartására, melyet a sugármetszetű (tükrös) hasított, göcsöktől és egyéb fahibáktól mentes dongafríz, mint vizsgálati alapanyag, maximálisan lehetővé tett. A vizsgálathoz göcsmentes és egyéb fahibákat nem tartalmazó, egyenes rostlefutású próbatesteket használtam.

3.2.1.4 Évgyűrű szerkezet és pásztaarány vizsgálata

Az egyes fák műszaki tulajdonságait elsősorban a szöveti felépítés, azaz az évgyűrűket alkotó sejtfarmák viszonylagos mennyisége határozza meg. Az évgyűrűn belül megkülönböztetett két réteg, a lazább szerkezetű korai és a vastagabb falú sejtekből álló, tömöttebb kései pászta. Egyes fafajoknál, mint például a fenyők és a gyűrűs-likacsúak esetében az évgyűrűn belüli két pászta élesen elkülönül, szabad szemmel is jól látható. Ezek eltérése nem csak sűrűségükben, hanem színükben is megmutatkozik. Az évgyűrű szerkezet formai jellemzői, már az anyag vizuális osztályozásakor is több termőhelyi illetve anyagtulajdonsági jellemzőre engednek következtetni. A szabályos, kör alakú évgyűrűszerkezet, hol a középpont egybe esik a rönk középpontjával, a béllal, az évgyűrűk szélessége pedig szinte állandó, finom szövetű, homogén, könnyen megmunkálható fatestet feltételez.

Az évgyűrűszerkezet részben a termőhely jóságától, részben a nevelési viszonyoktól függ. (KOVÁCS 1979). Az egyenletes életkörülmények egyenletes évgyűrűszerkezetet eredményeznek. A külső természeti hatások, mint például az állandó szélhatás az pedig külpontossághoz (MOLNÁR 2006), rönkön belüli szerkezeti változáshoz vezet. Az évente változó és szélsőséges klimatikus viszonyok, továbbá a talajnedvességi ingadozások is egyenlőtlen évgyűrűszerkezetet eredményeznek. A természeti hatások mellett az erdőművelési mód és nevelési viszonyok gyakorolják még a legnagyobb hatást az évgyűrűk kialakulására. Szabad állásban nőtt fák a vizsgálatok szerint nagyobb valószínűséggel növesztenek széles évgyűrűt, míg kellőképpen zárt állású állományra a keskeny évgyűrű a jellemző.

Gyakorlati tapasztalás útján már nagyapáink is következtetni tudtak például egy gerenda bütü felületének vizsgálata után, hogy az igénybevétel ismeretében a tetőszerkezet mely alkatrészének lesz a legmegfelelőbb az adott anyag. Anyagtudományi kutatások bizonyították, hogy az évgyűrűszerkezetből következtetni lehet a fa műszaki tulajdonságaira és ennek alapján a felhasználhatóságra is. Korábban már említettem, hogy a térfogatsúly szoros kapcsolatban van a legtöbb fizikai és mechanikai tulajdonsággal, tehát az évgyűrűszerkezet ezen tulajdonságának ismeretében következtethetünk a szilárdsági jellemzőkre is. Fenyők esetében egyértelműen bizonyított, hogy a keskeny, egyenletes évgyűrűszerkezet nagyobb sűrűséget eredményez, azonban a lombosoknál ilyen általános érvényű szabályról nem beszélhetünk. (KOVÁCS, 1979). Az, hogy a lombos fák évgyűrűszélességének növekedése nem jár feltétlen térfogatsúly

csökkenéssel, sőt gyűrűs likacsú fajoknál egyértelműen fordított a helyzet. Ennek oka a szöveti alkotók sokszínűségében keresendő. Az évgűrűk, éves ciklusok szerint korai és kései pásztára oszthatók. A tavasszal keletkező korai pászta nagy üregű, vékony falú sejtjeinek feladata a hirtelen beinduló fotoszintézishez szükséges víz szállítása, míg a később kialakult vastag falú, szűk üregű sejtek, főképp a szilárdításban játszanak szerepet. Az általunk vizsgált kocsánytalan tölgy esetében a tracheák szabad szemmel is jól láthatók. Átmérőjük a korai pásztában elérheti a 300 µm-t is, de átlagos irodalmi érték 232,6 µm. Ezzel szemben a kései pásztában 70 µm az átlagos edényátmérő (BABOS ET AL, 1979), mely különbség miatt a pászták aránya a mechanikai tulajdonságokat is nagyban befolyásolja.

A késeipászta-arányról kevés a fellelhető adat. TRENDELENBURG (1955) és Magyarországon Pally Nándor végzett ez irányú vizsgálatokat az 1940–50-es években. Az évgűrűelemzésen az irodalmak legtöbbször csak az átlagos évgűrűszélesség meghatározását értik, de esetünkben a hordógyártás magas minőségi követelményeinek ismeretében fontosnak éreztem az átlagos pásztaszélesség és pásztaarány vizsgálatát is. KOLLMANN (1941) kőrisen végzett vizsgálatai is azt támasztják alá, hogy az évgűrűszélesség alapján következtetni lehet ugyan egyes szilárdsági értékekre, de lényegesen megbízhatóbb eredményt adnak a kései pászta szélessége alapján végzett számítások

Fontos tehát megjegyeznünk, hogy az évgűrűk szélessége illetve a pászták vonalas aránya fontos információkat hordoz a mechanikai tulajdonságok előzetes meghatározásához, ennek ellenére az arány fontosságáról és annak mérési módjáról érvényes anyagvizsgálati szabvány nem rendelkezik. A 2001-ben visszavont MSz 08-0501-1979 szabvány az átlagos évgűrűszélesség vizsgálatához minimum 10 szomszédos évgűrű mérését írta elő, így ezt vesszük mi is irányadónak a pásztaarány meghatározásához is.

Az átlagos évgűrűszélességet a bélsugár irányában mért hosszából és az évgűrűk számából határoztam meg, az alábbiak szerint:

$$S = \frac{h_r}{z}; \quad [\text{mm}]$$

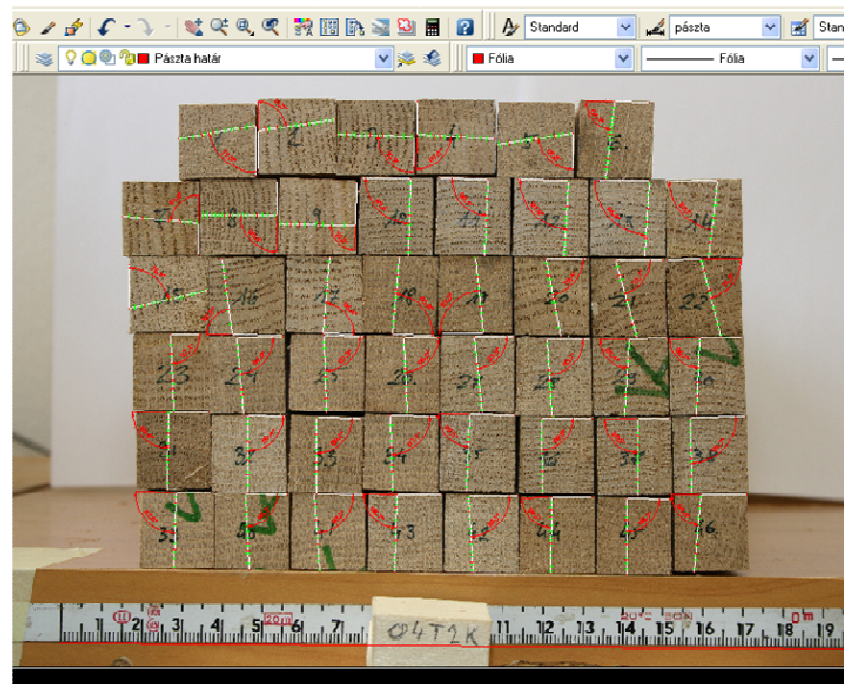
ahol:

S	– átlagos évgűrűszélesség,	
h_r	– sugárirányban mért távolság,	[mm]
z	– a távolságon található évgűrűk száma.	[db]

Az évgűrűk szélessége tölgy esetében 0,5 mm-től akár 15 mm-ig is terjedhet. Így a lehető legnagyobb pontosság érdekében, a próbatest bütüjéről készített nagyított fotókon (**17. ábra**) végezzük el a méréseket, digitális képelemzés segítségével (**18. ábra**).



17. ábra – Nagy felbontású fotó a próbatestek bütüjéről (04T2K-jelű köteg) (fotó: Szeles Péter)



18. ábra – Szöveti felépítés elemzése CAD alapú képelemzés alkalmazásával.

A próbatest keresztmetszeti méretei 20 x 20 mm, hol 0,001 mm pontossággal történik az évgűrűhatárok és a pásztahatárok berajzolása, majd a távolságok elemérése.

A későbbi mechanikai mérések objektívabb értékelhetősége miatt szükségesnek éreztem a bélsugarak éléssel bezárt szögét is meghatározni.

3.2.2 Mechanikai tulajdonságok vizsgálata

A mechanikai tulajdonságok vizsgálatának fő célja, hogy meghatározzák a faanyag terhelőerőkkel szembeni ellenállását és alakváltozásának jellemzőit. A mechanikai tulajdonságok jelentősen korlátozzák a faanyag felhasználásának lehetőségeit, főleg a teherviselő szerkezeteknél. A faanyag mechanikai tulajdonságait befolyásoló tényező a fafaj, a sűrűség, a nedvességtartalom, a rostirány, a szöveti sajátosságok, a hőmérséklet és a terhelés ideje.

Az alábbi mechanikai tulajdonságok mérését végeztem el, ahol a hajlító tulajdonságokat kétféle vizsgálati módszer segítségével vizsgáltam:

1. Roncsolásos vizsgálat:
 - Hajlítószilárdság
 - hajlító rugalmassági modulus
 - nyomó szilárdság
2. Roncsolásmentes vizsgálat:
 - hajlítószilárdságot
 - dinamikus rugalmassági modulust (hajlító rezgésből)

3.2.2.1 Nyomószilárdság vizsgálata

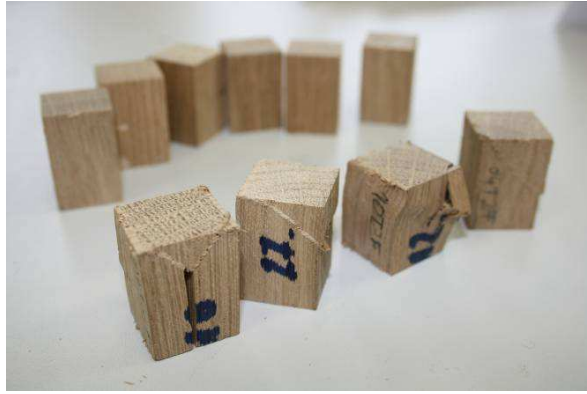
A rostokkal párhuzamos nyomószilárdsági vizsgálatokat az MSZ EN 6786-8:1977 szabvány alapján végeztem, hiteles ISTRON anyagvizsgáló gép segítségével. A próbatestek keresztmetszeti mérete 20 x 20 mm, magassága pedig a minimálisan előírt 30 mm.

A próbatestek keresztmetszeti méreteit az elvi tönkremenetel helyén, azaz a hossz méret felénél határoztam meg 0,01 mm pontossággal. Az anyagvizsgáló berendezés a tönkremenetelhez szükséges maximális erőt méri, mely adatokból a következő összefüggéssel számítható a nyomó szilárdság:

$$\sigma_{ny} = \frac{F_{max}}{A}; \quad [MPa]$$

ahol:

σ_{ny}	– rostirányú nyomószilárdság,	[MPa]
F_{max}	– a tönkremenetelhez szükséges erő,	[N]
A	– a próbatest keresztmetszete.	[mm ²]



19. ábra – A nyomó igénybevétel okozta tönkremenetel törésképei

A nyomó szilárdság, mint mechanikai tulajdonság ismerete, kevésbé fontos a hordó és annak gyártása szempontjából, de mivel a nyomás tiszta, járulékos veszteség nélküli igénybevétel, szükségét éreztem a vizsgált anyagok származási és tárolási faktorainak fényében ezen anyagtulajdonságnál jelentkező különbségek feltérképezését is.

3.2.2.2 Hajlítószilárdság és hajlító rugalmassági modulus roncsolásos vizsgálata

A teherviselő szerkezetek legfontosabb szilárdsági jellemzője a hajlítószilárdság. A hajlítófeszültség két különböző irányú feszültségből adódik össze; a függőleges irányú nyomó-, és a vízszintes irányú húzófeszültségből. Emiatt a faanyag nyomó- és húzófeszültsége erősen befolyásolja a hajlítószilárdsági értéket.

A hajlítószilárdsági vizsgálatokat az MSZ 6786-5:1976 szabvány szabályozza. Ennek alapján hárompontos terhelésnél a terhelőerő a próbatest közepén, koncentráltan hat. A szabványos próbatest keresztmetszete 20 x 20 mm, a teljes hosszúság ennek minimum 15-szöröse. A hajlítószilárdság a Navier-féle egyenlettel határozható meg, amely azonban a faanyag inhomogenitása következtében csak megközelítő értéket ad.

A hajlítószilárdság tehát egy pontos koncentrált terhelésnél, a Navier-képlettel:

$$\sigma_h = \frac{3 \cdot F_{\max} \cdot l}{2 \cdot a \cdot b^2}; \quad [\text{MPa}]$$

ahol:

- F_{\max} – a maximális terhelés [N]
- l – az alátámasztás távolsága [mm]
- a – a próbatest szélessége [mm]
- b – a próbatest vastagsága (magassága) [mm]

A hajlítószilárdság szoros összefüggésben van az alátámasztás távolságának és a próbatest magasságának arányával, l/b -vel. A viszonyszám növekedésével a hajlítószilárdság növekszik. Ha az $l/b > 10$, akkor a törés a húzott szálak szakadása miatt következik be, ha viszont $l/b < 2,5$, akkor a nyíró igénybevétel teszi tönkre az anyagot.

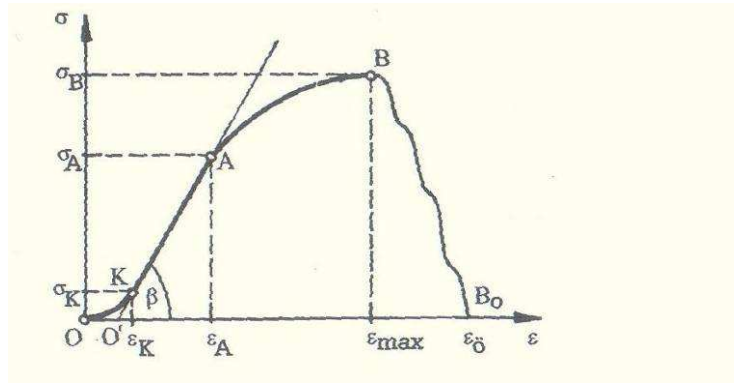
A hajlítószilárdság 12%-os nedvességtartalomhoz tartozó értékét a következő képlet alapján számítjuk:

$$\sigma_{h12} = \sigma \cdot [1 + \alpha \cdot (u - 12)] \quad [\text{MPa}]$$

ahol:

- σ – vizsgálati nedvességtartalomhoz tartozó hajlítószilárdság
- α – igénybevételtől függő módosító tényező, értéke 0,04
- u – vizsgálati nedvességtartalom

A hajlító rugalmassági modulus számítására vonatkozó előírásokat az MSZ 6786-15:1984 szabvány tartalmazza. Eszerint a hajlító rugalmassági modulusot ott kell meghatározni, ahol a terhelő erő által okozott normál feszültség különbségek (σ), és a normál feszültségek okozta alakváltozások (ϵ), egyöntetűen lineáris szakaszban vannak. Ez a szakasz az arányossági határig tart, melyen belül a behajlás egyenesen arányosan növekszik a terhelő erővel (**20. ábra**).



20. ábra – A faanyagok alakváltozási diagramja (DIVÓS, 1995)

$$E = \frac{\Delta F \cdot l^3}{4a \cdot b^3 \cdot \Delta y} \quad [\text{N/mm}^2]$$

ahol:

- ΔF – rugalmassági határon belüli terheléskülönbség
- l – alátámasztások távolsága
- Δy – a rugalmassági határon belüli terheléshez tartozó alakváltozás nagysága
- a – a próbatest szélessége
- b – a próbatest vastagsága

A hajlító rugalmassági modulus 12%-os nedvességtartalomhoz tartozó értékét a következő képlet alapján számítjuk:

$$E_{12} = E \cdot [1 + \alpha \cdot (u - 12)] \quad [\text{N/mm}^2]$$

ahol,

- σ – vizsgálati nedvességtartalomhoz tartozó rugalmassági modulus
- α – igénybevételtől függő módosító tényező, értéke 0,02
- u – vizsgálati nedvességtartalom

Az előzőekben tárgyalt mechanikai tulajdonságok ismerete, szintén fontos a hordó- és hordógyártás szempontjából. Bár a hordó használata során bonyolult összetett terhelés hat a dongákra (abroncs összetartása, 2–4 ponton való alátámasztás a tároló gerendákon (gántárfa, csándérfa), önsúly illetve a tárolt folyadék súlya), a vizsgált két tulajdonságról következtetni tudunk a hordó mechanikai tartósságára, ill. lehetőséget biztosít a származási helyek szerinti osztályozásra.

3.2.2.3 Hajlítószilárdság és hajlító rugalmassági modulus roncsolásmentes vizsgálata

A vizsgálat roncsolásmentes, ha a vizsgált minta az eljárást követően korlátozás nélkül betölti eredeti funkcióját. Ezen kívül fontos még megemlítenünk kisoncsolásos vizsgálatokat is, melyeke bizonyos esetekben szintén a roncsolásmentes vizsgálatokhoz sorolhatók. Például roncsolásnak számít egy csavar kitépéséhez szükséges erő meghatározása, de egy fődémgerendán okozott roncsolása elhanyagolható. Kisoncsolásos módszer így a fúrás és a csavarállóság mérés is (DIVÓS, 1994, 1995.)

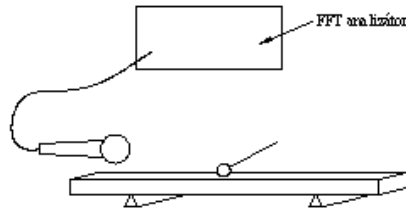
A rugalmassági modulus az anyag azon tulajdonsága, mely meghatározza a terhelés hatására bekövetkező behajlás mértékét, tehát az általunk vizsgált felhasználási terület szempontjából is fontos anyagminőségi tényező. GALLIGAN ET AL., (1964) mérései bizonyították, hogy jól korrelál a hajlítószilárdsággal, így felhasználható annak becslésére is. A világ legfejlettebb fűrészüzemeiben ma már roncsolásmentes alapelveken működő, úgynevezett CLT folyamatos anyagvizsgáló gépeket használnak, melyben görgős terhelő rendszer a statikus rugalmassági modulusot méri, és ebből hajlítószilárdságot becsül. A faanyag roncsolásmentes vizsgálatán esetünkben azokat az akusztikai módszereket értjük, hol dinamikus rezgéskeltéssel (koppintással, ultrahanggal, elektromágneses módszerekkel, mint pl. mikrohullám, röntgensugár) (DIVÓS, 1993), rezgést gerjesztünk. A rezgéshullámok viselkedéséből következtethetünk a mechanikai tulajdonságokra (TASCHNER, 2005; MATTECK, 1993), jelen esetben a statikus rugalmassági modulusra és szilárdságra. A rugalmas hullámok terjedésénél az anyagi közeg térfogatelemei, anyagrészecskéi között fellépő rugalmas erőknek befolyásoló hatása van (BUDÓ; 1972; SZALAI, 1994) tehát a különböző anyagok rezgési karakterisztikája az anyag elasztikus tulajdonságainak függvénye (FEHÉR ET AL., 2002). A megfelelő összefüggések ismeretében a sajátrezgés frekvenciájából, annak módusaiból nagy biztonsággal következtetni lehet a rugalmassági modulusra (RAYLEIGH; 1945). A különféle hullámok anyagban való terjedése jól kontrolálható, eszközigénye kicsi, ipari anyagosztályozásra való alkalmazása is megoldott.

A faanyag, mint ortotróp anyag tulajdonságai a három fő anatómiai irányban különböznek (MOLNÁR, 1999), ezért megkülönböztetünk longitudinális, radiális és tangenciális rugalmassági tulajdonságokat. DIVÓS, (1993) vizsgálatai rávilágítottak arra, hogy az irányok mellett fahibák is (göcsök, repedések) megzavarják vizsgálandó anyagban a rezgéshullámok zavartalan terjedését, mely nagyban csökkentheti a mérés pontosságát. A rugalmassági modulus értéke bizonyos mértékben változik a hőmérséklet és faanyag nedvességtartalmának hatására, tehát ezen tényezők az akusztikai tulajdonságokat is befolyásolják (MATTHEWS ET AL 1994).

Esetünkben a dongafríz anyag, mint prizmatikus rúd roncsolásmentes szilárdsági vizsgálatát a hajlító rezgés frekvenciájának, azaz a sajátrezgés frekvenciájának mérésével végeztem. Ez a módszer szintén jó becslést ad ($r > 0,99$) mind a statikus rugalmassági modulus (GALLAGIN ET AL., 1966), mind a hajlítószilárdság ($r = 0,84$) (DIVÓS ET AL., 1994) esetében.

A dinamikus hajlító rezgéses módszernél a rezgéskeltés a próbatest közepén történt a jel érzékelése pedig a próbatest végén egy mikrofonnal, ahogy a **21. ábra** is mutatja. A felfogott jeleket ennél a módszernél egy PC alapú FFT (*Fast Fourier Transformation*) analízátor szoftver

dolgozta fel, és a rezgések sorbafejtése után jelzi ki a rezgéseképet illetve a rezgésmódusok frekvenciáit.



21. ábra – Rugalmassági modulus vizsgálata dinamikus hajlító rezgéssel

A rugalmassági modulus számításának matematikai összefüggését a lehető legpontosabb közelítéssel az úgynevezett Timoshenko-elmélet írja le (WEAVER ET AL., 1990), hol a hajlító rezgések mozgásegyenletének negyedfokú sorbafejtéséből indul ki. A bonyolult iterációs módszerrel számítható differenciálegyenlet (CHUI, 1990) egyszerűsített változata az úgy nevezett Euler-egyenlet, mely a nyíró hatás figyelmen kívül hagyva másodfokú közelítést használ. Ez a differenciálegyenlet már közvetlenül megoldható, így a dinamikus hajlító rugalmassági modulus:

$$MOE_{din.bend} = \frac{f_{hn}^2}{C_n^2} \cdot \frac{m \cdot l^3}{I}, \quad [\text{MPa}]$$

ahol:

- f_{hn} - a hajlító rezgés n-edik módusának frekvenciája [Hz]
- C_n - állandó $\left(n + \frac{1}{2}\right)^2 \cdot \frac{\pi}{2}$, első módus esetén: $C_1 = 3,56$
- m - tömeg [kg]
- l - a hajlítás tengelyére merőleges hosszúság [m]
- I - tehetetlenségi nyomaték $\left(\frac{a \cdot b^3}{12}\right)$

A hajlítószilárdság meghatározása az MSZ EN 338-as szabvány szerint történt. A becsült hajlítószilárdság a hajlító rugalmassági modulus, és a sűrűség értékei segítségével az alábbi táblázatból került kiolvasásra, úgy, hogy az előbb felsorolt három tulajdonság értékei alapján a táblázatból megkerestem a hozzájuk tartozó szilárdsági osztályt valamint hajlító szilárdsági értéket. A leolvasott három szilárdsági osztály közül biztonsági szempontok miatt a legkedvezőtlenebb érték a meghatározó (**7. táblázat**).

7. táblázat – Szilárdsági osztályok és karakterisztikus értékek

		Fenyő és nyár fajok											Lombos fajok						
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70
<i>Szilárdsági tulajdonságok (N/mm²)</i>																			
Hajlítás	f _{m,k}	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	30	35	40	50	60	70
Rostirányú húzás	f _{t,0,k}	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	18	21	24	30	36	42
Rostirányra merőleges húzás	f _{t,90,k}	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Rostirányú nyomás	f _{c,0,k}	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	23	25	26	29	32	34
Rostirányra merőleges nyomás	f _{c,90,k}	2	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	8	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Nyírás	f _{v,k}	1,7	1,8	2	2,2	2,4	2,5	2,8	3	3,4	3,8	3,8	3,8	3	3,4	3,8	4,6	5,3	6
<i>Merevségi tulajdonságok (kN/mm²)</i>																			
Rostirányú rugalmassági modulus középértéke	E _{0,mean}	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	10	10	11	14	17	20
Rostirányú rugalmassági modulus 5%-os kvantilis	E _{0,05}	4,7	5,4	6	6,4	6,7	7,4	7,7	8	8,7	9,4	10	10,7	8	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Rostirányra merőleges rugalmassági modulus középértéke	E _{90,mean}	0,23	0,27	0,3	0,32	0,33	0,37	0,38	0,4	0,43	0,47	0,5	0,53	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Nyírási modulus középértéke	G _{mean}	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1	0,6	0,65	0,7	0,88	1,06	1,25
<i>Sűrűség (kg/m³)</i>																			
Sűrűség	ρ _k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	530	560	590	650	700	900
Sűrűség középértéke	ρ _{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1080

Forrás: MSZ EN 338

3.3 *Vizsgálat eredmények értékelési módszere*

Az egyes anyagvizsgálatoknál mért és számított eredmények értékeléséhez leíró statisztikai módszereket alkalmaztam. Meghatároztam az adathalmazok minimum, maximum, átlag, szórás és relatív szórás (variációs koefficiens) értékeit. Az egyes változók (pl. származási helyek, tárolási módok és idők) közötti kapcsolatok föltárására a leíró statisztikai értékelés nem kellőképpen objektív, ezért szükségét éreztem szignifikancia- illetve varianciaanalízis elvégzésének is, SPSS 14.0 statisztikai szoftverek segítségével.

Más adathalmazok átlagával való összevetés, azaz a szignifikáns eltérés vizsgálatát VINCZE (1975) írja le, mely az erdőszet és faipar területén is alkalmazunk. E két területen a gyakorlatban 95%-os megbízhatósági szint tekinthető elfogadhatónak. A szórás analízis modellek olyan rugalmas statisztikai eszközök, melyek alkalmasak a függő változók egy vagy több független változóval való kapcsolatának kielemezésére. A varianciaanalízis lehetővé teszi több átlag statisztikai összehasonlítását egy próbával, mely módszerrel az adathalmaz teljes varianciáját olyan összetevőkre bontjuk, hol a variációk különböző okait mérik (ORBAY, 1990).

Az egyes vizsgálati mintákon elvégzett mérések és mérései eredmények a faktorokon belül is szóródnak. Ennek oka a mintavételben résztvevő egyedek egyéni sajátosságaira, valamint egyéb vizsgálati pontatlanságokra vezethető vissza.

A varianciaanalízis alkalmazhatóságának a következő feltételei vannak:

- A jelentkező hibák normális eloszlást kell, hogy mutassanak.
- A vizsgálati csoportokon belüli szórásnégyzetek meg kell, hogy egyezzenek.
- A csoportonkénti méréseknek függetlennek és véletlennek kell lenniük.

A feltételek teljesülése esetén megállapítható az átlagok egymáshoz való viszonya és különbözőzése. Ennek ellenőrzésére a többszörös terjedelem próbák alkalmasak (KOZÁK, 1990), melyek közül az úgynevezett Duncan-féle próbát alkalmaztam, kontrollként pedig a szigorúbb Tukay-tesztet, szintén az SPSS 14.0 statisztikai program segítségével. Az értekezés terjedelmi korlátai miatt csak a Duncan teszt eredményeit közlöm.

4 Vizsgálati eredmények értékelése

4.1 Fizikai tulajdonságok

4.1.1 Nedvességtartalom

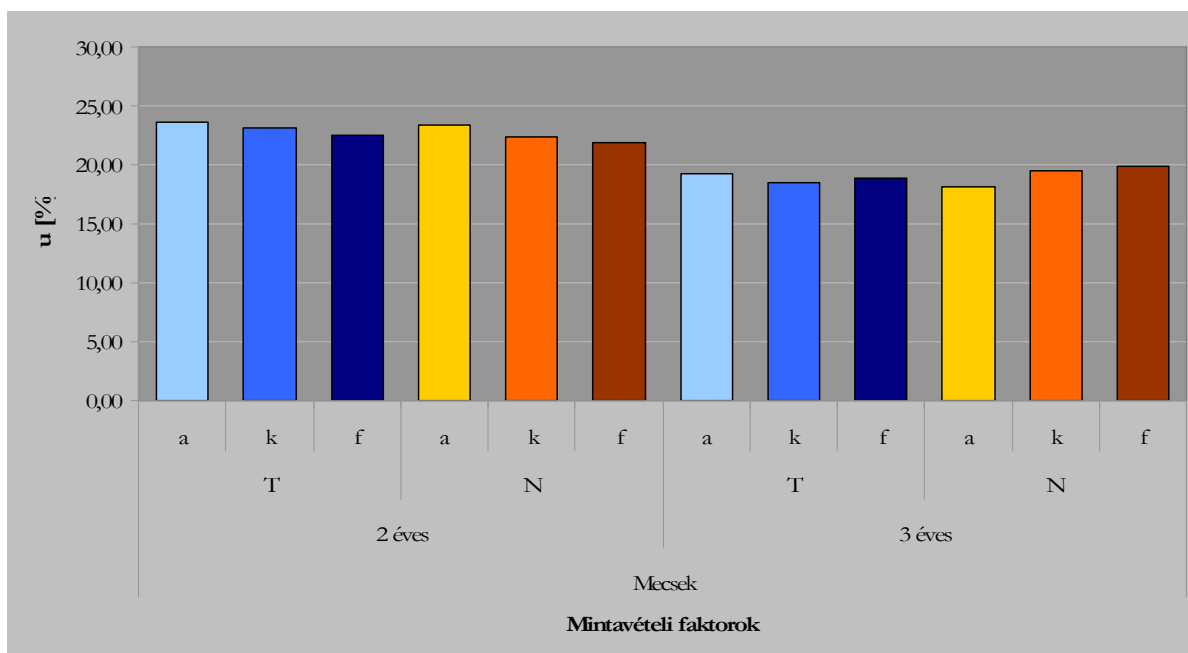
Az szabadlevegőn tárolt / érlelt alapanyagokon végzett, faktorok szerinti nedvességmérés részletes eredményeit az I - II. sz. mellékletek-, a statisztikai értékelést pedig a XVI - XIX számú mellékletek tartalmazzák.

A vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a **Mecseki** (01T2A, 01T2K, 01T2F, 01N2A, 01N2K, 01N2F, 01T3A, 01T3K, 01T3F, 01N3A, 01N3K, 01N3F) mintavételi helyekről vizsgált 10-10 db próbatest nedvességtartalmát tekintve 17,07 – 25,62% között változott. (**8. táblázat**)

8. táblázat – Mecseki kocsánytalan tölgy nettó nedvességtértékei a vizsgálati faktorok függvényében [%]

származás érlelés betárolás hely	Mecsek											
	2 éves						3 éves					
	T			N			T			N		
	a	k	f	a	k	f	A	k	f	a	k	f
átlag	23,65	23,10	22,50	23,41	22,33	21,84	19,28	18,49	18,85	18,17	19,48	19,92
rakat átlag	23,08			22,53			18,87			19,19		
szórás	0,85	0,96	1,56	1,04	1,15	0,67	0,32	0,52	0,63	0,87	0,67	0,69
minimum	22,53	21,84	20,23	21,46	21,30	20,52	18,99	17,85	18,25	17,07	18,25	18,70
maximum	25,32	24,37	25,07	25,62	25,32	22,50	19,89	19,52	20,07	19,79	20,69	20,74
Var%	3,61%	4,15%	6,94%	4,44%	5,15%	3,07%	1,66%	2,82%	3,37%	4,77%	3,43%	3,44%

A származáson belüli eltéréseket a **22. ábra** szemlélteti.



22. ábra – A mecseki minták átlagos nettó nedvességtartalma a vizsgálati faktorok függvényében

9. táblázat – Származáson belüli (Mecsek 01) viszonyított nedvességkülönbségek [%]

Érlelés betárolás	2 éves		3 éves	
	T	N	T	N
betároláson belüli (rakatszintek közötti) nedvességkülönbség [%]	4,87	6,73	2,28	8,76
téli - nyári betárolás közötti nedvességkülönbség [%]	2,41		1,66	
átlagos nedvességkülönbség a 2. ill. 3 éves érlelés között [%]	16,55			

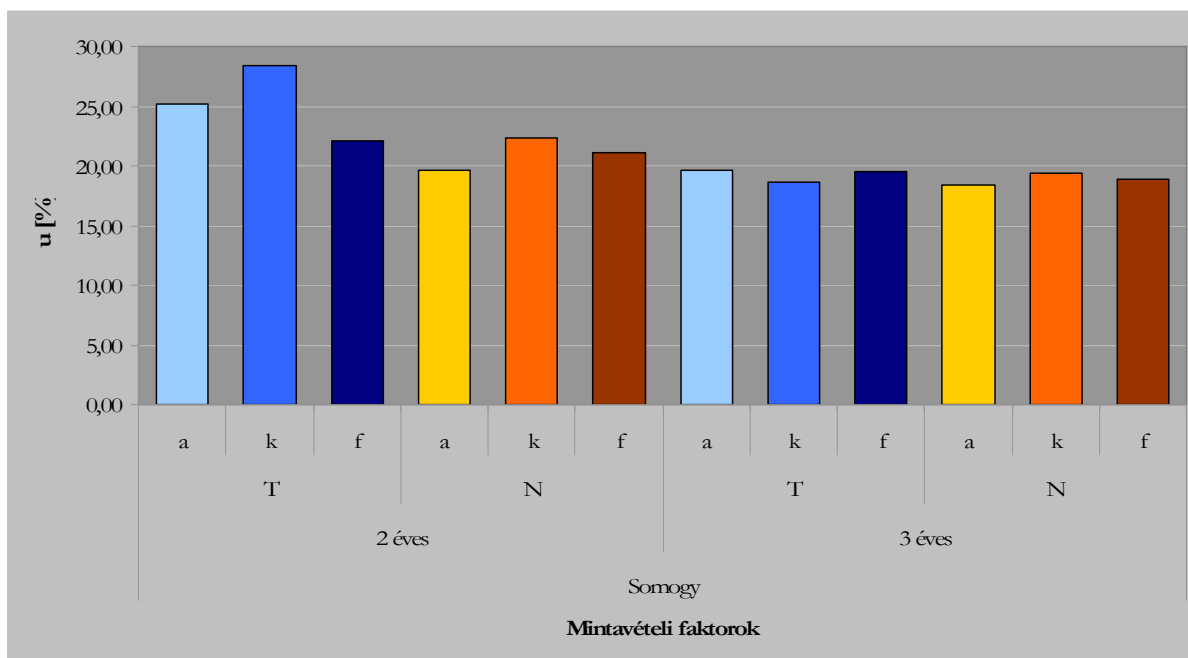
Általánosan elmondható, hogy a rakatszintek (a – alsó, k – középső, f - felső) átlaga közötti nedvességkülönbség minimális. A 2 évig szabad levegőn érlelt dongafrízek esetében 4,87–6,73%, ami a nettó nedvességet nézve 21,84–23,65% közötti érték. A 3 évig szabad levegőn érlelt dongafrízek esetében rakaton belüli nedvességkülönbség 2,28–8,76%, ami a nettó nedvességet nézve 18,17–19,92% közötti nedvességet mutat (**9. táblázat**). A 2 éves illetve 3 éves anyag között az átlagokat tekintve a 22–23%-os nettó nedvességtartalom lecsökken 18–19%-ra, mely a kezdeti állapothoz képest 16,55%-os nedvességcsökkenést jelent.

Somogy megyéből származó dongaalapanyagból mintavételi helyek szerint (04T2A, 04T2K, 04T2F, 04N2A, 04N2K, 04N2F, 04T3A, 04T3K, 04T3F, 04N3A, 04N3K, 04N3F) 10-10 db próbatestenen végeztünk nedvességméréseket. Az vizsgálat szerint megállapítható, hogy a 2- illetve 3 évig érlelt anyagok átlagos nedvességtartalma 15,61–34,2% között változott (**10. táblázat**).

10. táblázat – Somogyi kocsánytalan tölgy nettó nedvességértékei a vizsgálati faktorok függvényében [%]

származás	Somogy											
	2 éves						3 éves					
érlelés betárolás Hely	T			N			T			N		
	a	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f
Átlag	25,23	28,45	22,08	19,66	22,34	21,15	19,63	18,70	19,51	18,38	19,41	18,87
Rakat átlag	25,25			21,05			19,28			18,89		
szórás	0,89	2,67	1,14	0,36	0,73	0,67	0,39	0,54	0,70	1,11	0,79	0,96
minimum	24,22	26,04	20,46	19,33	20,97	20,34	18,98	18,04	17,99	15,61	17,93	17,55
maximum	26,59	34,20	23,22	20,32	23,67	22,23	20,03	19,95	20,51	19,51	20,44	20,45
Var%	3,52%	9,40%	5,18%	1,81%	3,28%	3,16%	1,99%	2,90%	3,58%	6,03%	4,08%	5,07%

A származáson belüli eltéréseket a **23. ábra** szemlélteti.



23. ábra – A somogyi minták átlagos nettó nedvességtartalma a vizsgálati faktorok függvényében

11. táblázat – Származáson belüli (Somogy 04) viszonyított nedvességkülönbségek [%]

Érlelés betárolás	2 éves		3 éves	
	T	N	T	N
betároláson belüli (rakatszintek közötti) nedvességkülönbség [%]	22,42	11,99	4,73	5,29
téli - nyári betárolás közötti nedvességkülönbség [%]	16,64		2,03	
átlagos nedvességkülönbség a 2. ill. 3 éves érlelés között [%]	17,56			

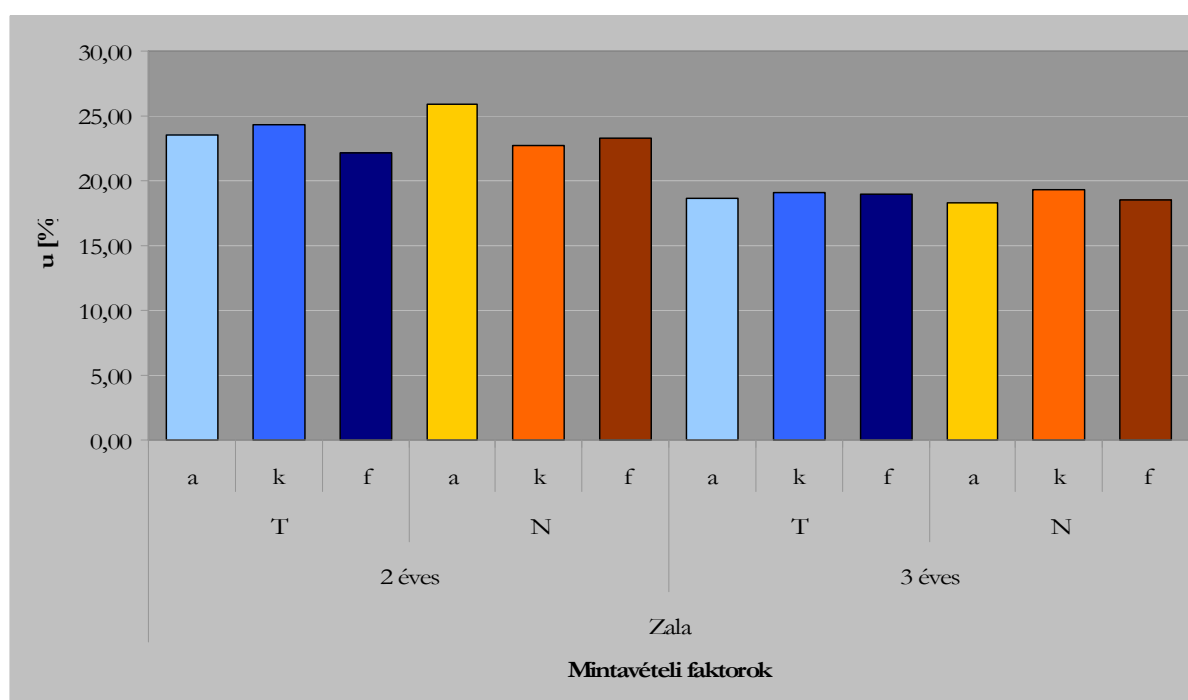
Elmondható, hogy a rakatszintek (a-k-f) átlaga közötti nedvességkülönbség a 2 éves téli betárolás esetén jelentős 11,99–22,42%, mely főképp az alsó és középső szintek magas nedvességtartalmának tudható be (**11. táblázat**). Ennek oka főképp a légmozgás hiányában, mintsem származási sajátosságban keresendő. Ezeknél a rakatoknál átlagosan 25,25% nettó nedvességtartalmat mértünk (**10. táblázat**). A 2 éves nyári rakatolású tölgy alapanyagra ez azonban már nem volt igaz. A rakatszintek közötti nedvességkülönbség 4,73–5,29% között volt (**11. táblázat**), nettó nedvességtartalomra vetítve ez a 3 éves somogyi mintáknál 18,38–19,63%. A 2 éves illetve 3 éves szabad levegőn szárított kocsánytalan tölgy anyag között, $u \sim 25\%$ -ról a kívánat nettó nedvességtartalomra történő száradás átlagosan a kezdeti állapothoz képest 17,56%-os a csökkenést jelentett.

Zalai erdészetektől vásárolt hordóipari rönk esetében, mintavételi helyek szerint (05T2A, 05T2K, 05T2F, 05N2A, 05N2K, 05N2F, 05T3A, 05T3K, 05T3F, 05N3A, 05N3K, 05N3F) 10-10 db dongafríz vizsgáltam. A vizsgálati eredmények szerint, a 2, illetve 3 évig érlelt anyagok átlagos nettó nedvességtartalmát 16,09–27,27% között mértem (**12. táblázat**).

12. táblázat – Zalai kocsánytalan tölgy nedvességének alakulása a vizsgálati faktorok függvényében

származás érelés betárolás hely	Zala											
	2 éves						3 éves					
	T			N			T			N		
	a	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f
átlag	23,50	24,33	22,18	25,85	22,73	23,29	18,60	19,15	18,94	18,29	19,37	18,53
rakat átlag	23,34			23,96			18,90			18,73		
szórás	0,40	1,58	1,18	0,78	0,92	1,21	1,03	0,52	0,44	0,70	0,93	1,04
minimum	22,67	22,27	20,66	25,05	21,02	21,78	16,09	18,40	18,13	17,18	18,05	17,10
maximum	24,08	26,86	23,56	27,27	24,43	25,72	19,69	19,82	19,62	19,22	20,95	20,23
Var%.	1,7%	6,5%	5,3%	3,0%	4,1%	5,2%	5,5%	2,7%	2,3%	3,8%	4,8%	5,6%

A származáson belüli eltéréseket a **24. ábra** szemlélteti.



24. ábra – A zalai minták átlagos nettó nedvességtartalma a vizsgálati faktorok függvényében

13. táblázat – Származáson belüli (Zala 05) viszonyított nedvességkülönbségek [%]

Érlelés betárolás	2 éves		3 éves	
	T	N	T	N
betároláson belüli (rakatszintek közötti) nedvességkülönbség [%]	8,87	12,09	2,84	5,59
téli - nyári betárolás közötti nedvességkülönbség [%]	2,59		0,87	
átlagos nedvességkülönbség a 2. ill. 3 éves érlelés között [%]	20,44			

Az alsó-középső-felső rakatszintek között 2 éves betárolás esetén a viszonyított nedvességkülönbség 8,87–12,09% között mozgott, mely a nettó nedvességtartalomra nézve 22,18–25,85% közötti értéket jelent (**12 - 13. táblázat**). A téli illetve nyári rakatok nedvességtartalma között átlagosan csupán 2,59% különbséget mértünk, mely $u = 22,18\text{--}25,85\%$ közötti nedvességeknek felel meg (**12 - 13. táblázat**). 3 évig tárolt dongafrízek szabad levegőn, homogén módon átlagosan 18,29–19,37% nedvességtartalomra száradtak, mely mellett meg kell

említenünk, hogy a rakat szintek között is minimális 2,84–5,59% viszonyított nedvességkülönbséget mértünk. A téli illetve nyári rakatok nedvességtartalma között a 3 éves érlelés esetén átlagosan csupán 0,87% különbséget mértünk, mely $u = 18,6–19,37\%$ közötti nedvességeknek felel meg (**12 - 13. táblázat**). A 2 éves illetve 3 éves anyag között az átlagokat tekintve a 23–24%-os nettó nedvességtartalom lecsökken 18–19%-ra, mely a kezdeti állapothoz képest 20,44%-os nedvességcsökkenést jelent.

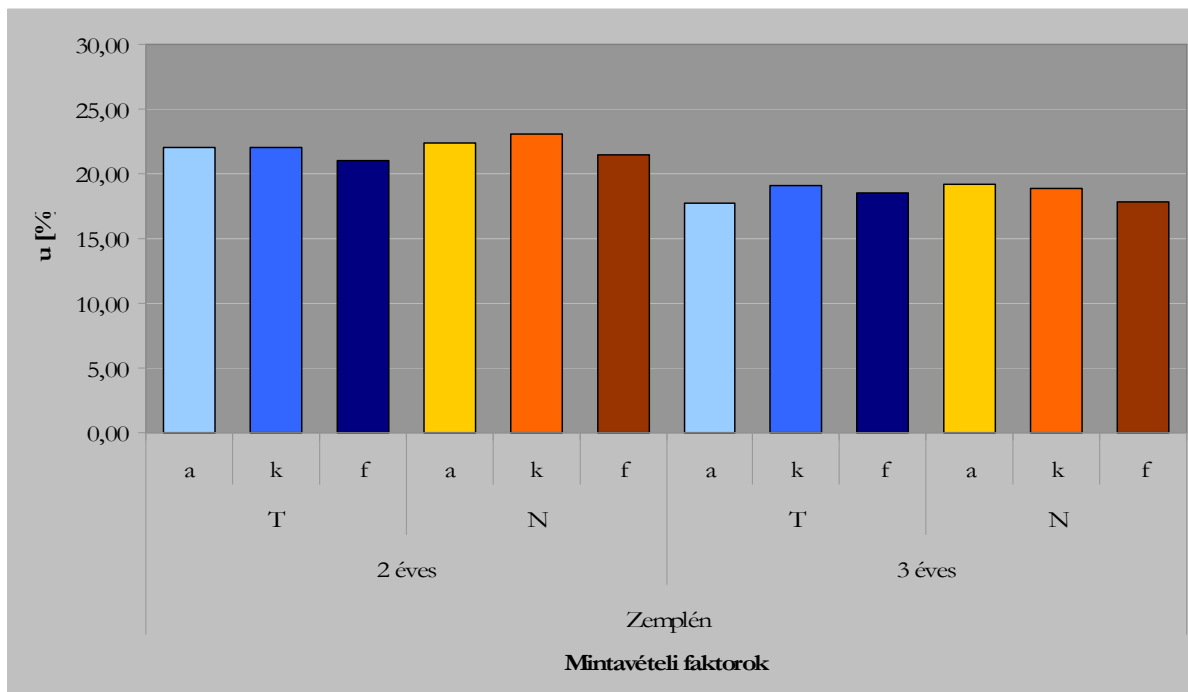
Az **Észak erdő / Zemplén** területekről származó dongafrízek mintavételi helyein (07T2A, 07T2K, 07T2F, 07N2A, 07N2K, 07N2F, 07T3A, 07T3K, 07T3F, 07N3A, 07N3K, 07N3F) szintén 10-10 db frízárut vizsgáltam. A faktorokat összesítve a fanedvesség 14,44–21,99% között változott (**14. Táblázat**).

14. táblázat –

Az Észak-erdei kocsánytalan tölgy nedvességének alakulása a vizsgálati faktorok függvényében

származás érlelés betárolás Hely	Zemplén											
	2 éves						3 éves					
	T			N			T			N		
	a	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f
Átlag	22,09	22,04	20,98	22,34	23,12	21,44	17,74	19,07	18,54	19,26	18,81	17,85
Rakat átlag	21,71			22,30			18,45			18,64		
szórás	0,98	0,62	1,39	0,84	0,90	0,85	1,19	0,42	0,74	0,83	0,83	0,76
minimum	20,49	21,17	19,52	20,12	21,99	20,14	14,44	18,48	17,77	17,94	17,95	16,69
maximum	24,22	23,11	22,95	22,98	24,35	22,95	18,69	19,82	19,64	20,64	20,25	18,99
Var%	4,45%	2,82%	6,65%	3,78%	3,90%	3,97%	6,71%	2,20%	3,97%	4,29%	4,44%	4,27%

A származáson belüli eltéréseket a **25. ábra** szemlélteti.



25. ábra – Az Észak-erdő/Zemplén területről származó minták átlagos nettó nedvességtartalma a vizsgálati faktorok függvényében

15. táblázat – Származáson belüli (Észak-erdő 07) viszonyított nedvességkülönbségek [%]

Érlelés betárolás	2 éves		3 éves	
	T	N	T	N
betároláson belüli (rakatszintek közötti) nedvességkülönbség [%]	5,02	7,29	7,02	7,31
téli - nyári betárolás közötti nedvességkülönbség [%]	2,67		1,01	
átlagos nedvességkülönbség a 2, ill. 3 éves érlelés között [%]	15,72			

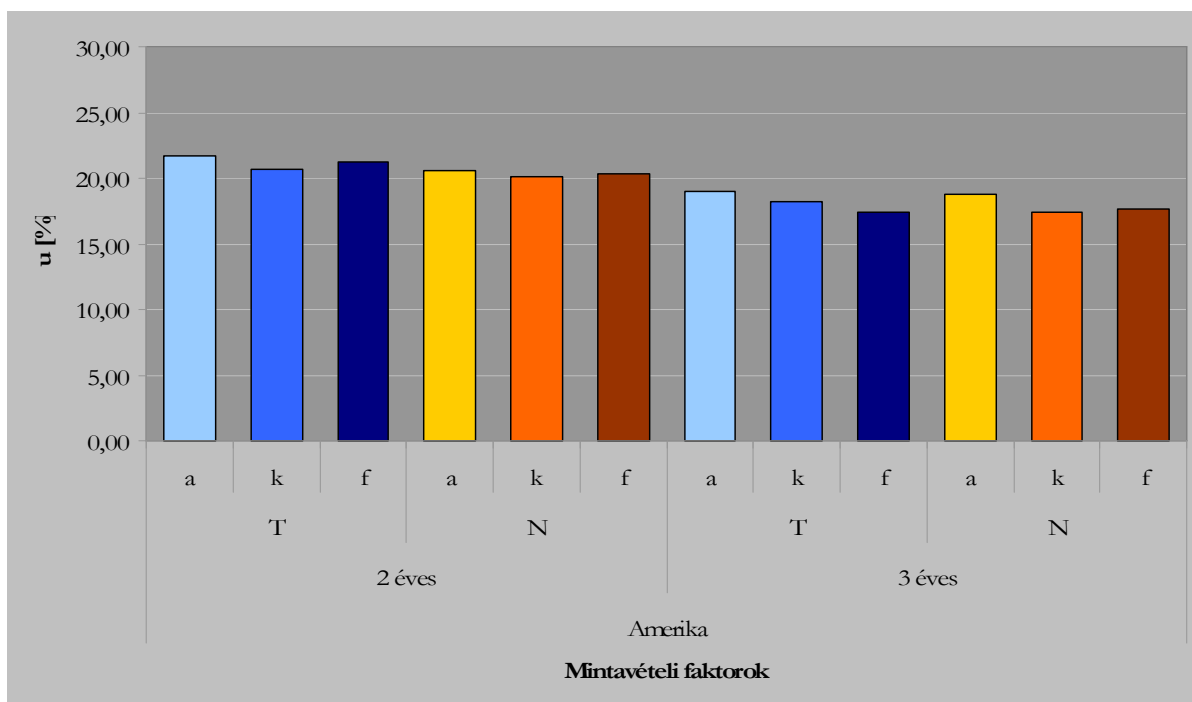
Általánosan elmondható, hogy érleléseken és betárolásokon belül a rakatszintek átlaga közötti viszonyított nedvességkülönbség minimális (**15. táblázat**). A 2 évig szabad levegőn érlelt dongafrízek esetében 5,02–7,29%, ami a nettó nedvességet nézve 20,98–23,12% közötti érték, a 3 évig szabad levegőn érlelt dongafrízek esetében pedig rakaton belüli 7,02 – 7,31%, ami a nettó nedvességet nézve 17,74–19,26% közötti nedvességet mutat (**14. táblázat**). A téli illetve nyári betárolás közötti különbség is elhanyagolható 2,67 illetve 1,01%. A 2 éves illetve 3 éves anyag között az átlagokat tekintve a kezdeti állapothoz képest 15,72%-os nedvességcsökkenés tapasztaltam (**15. táblázat**).

Észak-Amerikából származó fehértölgy dongaalapanyagból mintavételi helyek szerint (10T2A, 10T2K, 10T2F, 10N2A, 10N2K, 10N2F, 10T3A, 10T3K, 10T3F, 10N3A, 10N3K, 10N3F) szintén 10-10 db próbatesten végeztünk nedvességmérést. Az vizsgálat szerint az összes (2- illetve 3 évig érlelt) minta nettó nedvesség tartalmát nézve 16,18–27,14% közötti értékeket mértünk (**16. táblázat**).

16. táblázat – Az amerikai fehér tölgy nedvességének alakulása a vizsgálati faktorok függvényében

származás érlelés betárolás hely	Amerika											
	2 éves						3 éves					
	T			N			T			N		
a	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f	
átlag	21,73	20,73	21,27	20,58	20,11	20,36	19,03	18,22	17,46	18,79	17,38	17,64
rakat átlag	21,24			20,35			18,24			17,94		
szórás	0,95	2,30	1,61	0,26	0,41	0,68	0,30	0,79	0,66	0,80	0,92	0,63
minimum	20,91	19,36	20,00	20,27	19,52	19,50	18,75	16,80	16,82	18,06	16,18	16,52
maximum	24,09	27,14	25,69	21,05	20,85	21,18	19,61	19,13	18,62	20,36	18,81	18,73
Var%	4,35%	11,08%	7,57%	1,28%	2,04%	3,34%	1,59%	4,35%	3,77%	4,27%	5,30%	3,58%

A származáson belüli eltéréseket a **26. ábra** szemlélteti.

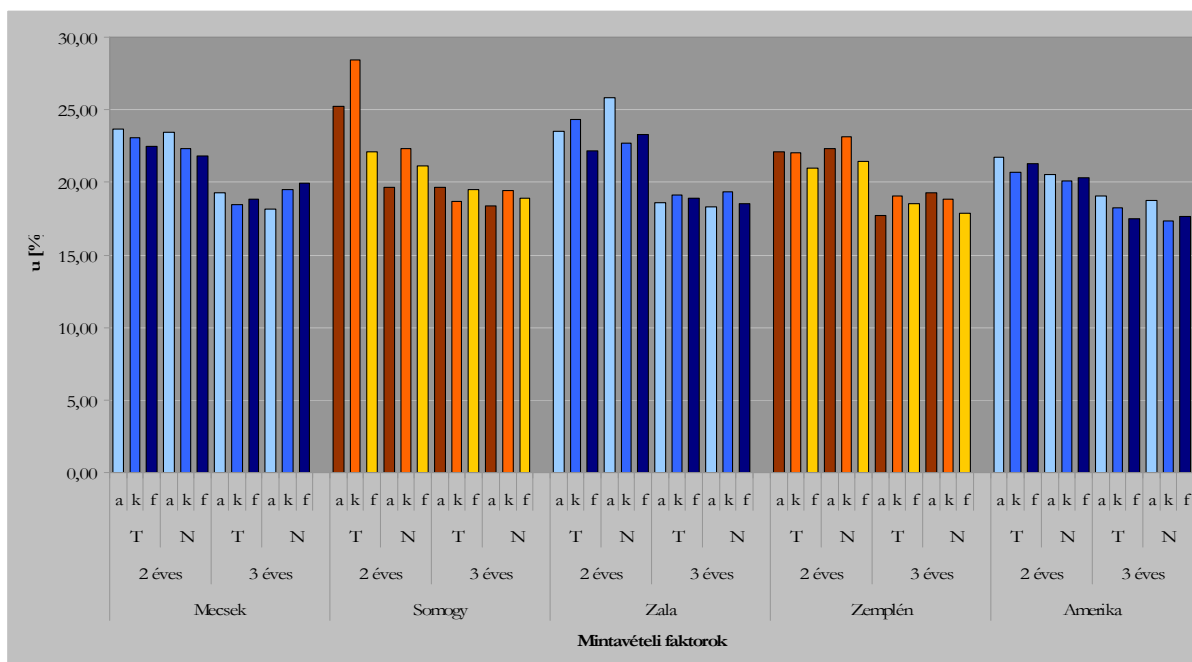


26. ábra – Az amerikai termőhelyről származó minták átlagos nettó nedvességtartalma a vizsgálati faktorok függvényében

17. táblázat – Származáson belüli (Amerika 10) viszonyított nedvességkülönbségek [%]

érlelés betárolás	2 éves		3 éves	
	T	N	T	N
betároláson belüli (rakatszintek közötti) nedvességkülönbség [%]	4,61	2,29	8,23	7,53
téli - nyári betárolás közötti nedvességkülönbség [%]	4,19		1,64	
átlagos nedvességkülönbség a 2, ill. 3 éves érlelés között [%]	13,02			

Az alsó-középső-felső rakatszintek között 2 éves betárolás esetén a nedvességkülönbség kimagaslóan alacsony 2,29–4,61% között mozgott (**17. táblázat**). A téli illetve nyári rakatok nedvességtartalma között is átlagosan csupán 4,19% különbséget mértünk, melynél $u = 19,36\text{--}27,14\%$ közötti értékeket jelent. 3 évig tárolt dongafrízek szabad levegőn, homogén módon átlagosan 17,94–18,24% nedvességtartalomra száradtak, mely mellett meg kell említenünk, hogy a rakat szintek között 7,53–8,23% nedvességkülönbséget mértünk. A téli vagy nyári betárolás ezen esetben sincs jelentős hatással a nedvességtartalomra, hiszen a különbség alig 1,64%. A 2 éves illetve 3 éves anyag között az átlagokat tekintve a 20–21%-os nettó nedvességtartalom lecsökkent 17–18%-ra, mely a kezdeti állapothoz képest 13,02%-os nedvességcsökkenést jelent.



27. ábra – Az összes vizsgált dongafríz szabad levegős szárítással elért nettó nedvességtartalma, az összes mintavételi faktor függvényében

A mérési eredmények ismeretében összegzésként elmondhatjuk, hogy a rakatban elfoglalt pozíció nem-, míg az érlelési idő nagymértékben befolyásolja a faanyag nettó nedvességtartalmát. A 2 éves szabad levegőn történő szárítás után átlagosan 22,48%, míg 3 éves érlelés után átlagosan 18,71% nettó nedvességtartalmat mértem. A két érlelési mód közötti viszonyított különbség 13,02–20,44% között mozgott. A 2. év után tapasztalt rakatokon belüli magas nedvességbeli eltérés a 3. év végére lecsökkent. Ez nedvesség tekintetében homogénebb alapanyagot eredményez (27. ábra).

Vizsgálattal bebizonyosodott, hogy a minőségi fatermékek gyártásában –így a barrique kishordók gyártásában is– kulcsfontosságú szabadlevegős szárítással, az alapanyag nem minden faktor esetén tudja elérni a megfelelő nedvességtartalmat. A feldolgozott irodalmakban (CHATONNET, 1994a, b, 1995, TAKÁTS, 2000) közép- és nyugat Európára (Franciaország, Svájc, Magyarország) vonatkozó 14–20% illetve 12–18%-os szabadlevegőn elérhető nettó nedvességtartalmi értékek vizsgálatunk szerint csak a 3 éves szárítási menetrendekkel érhetőek el.

Az előzetes, mintavételi nedvesség vizsgálat rámutatott arra, hogy a vegetációs fázis után (ősz-tél) kitermelt faanyag, és annak frízzé való feldolgozása és rakatolása, az időpontját tekintve (tél – nyár) nem befolyásolja a kívánt nedvességtartalom elérését. A 2 éves érlelésű rakatoknál tapasztalt kiugró, nagyobb nedvességbeli eltérések minden esetben a 3. év végére lecsökkentek és homogénné váltak.

A téli illetve nyári betárolás (faktorok) hatása a végső nedvességtartalomra tehát nem kimutatható. Előzetes feltételezésem szerint ezen két faktor a többi vizsgált anyagtulajdonságot sem befolyásolhatja számottevően, ezért ezen faktorok hatásának vizsgálatát nem tartottam a további kutatásokban szükségesnek.

4.1.2 Sűrűség

A vizsgált minták részletes sűrűségi eredményeit a III - IV. sz. melléklet, míg a statisztikai értékelést a XVI – XIX. sz. mellékletek tartalmazzák.

A fa szövetszerkezete nem egyöntetű ezért az azonos egyedből, vagy akár ugyanazon fríz anyagból vett minták tömörsége is változó lehet. Ezért a nagy mintaszámmal végzett vizsgálat átlagértékével jól jellemezhetjük a vizsgált fafajt. A faanyag sűrűségét több tényező is befolyásolja. Ez lehet természetes, főképp a termőhelyi adottságok okozta különbség, de esetünkben a szabad levegőn való szárítás / érlelés miatt, az időjárás degradáló hatása is megjelenhet, mint a sűrűség anyagjellemzőt befolyásoló hatás. A nap sugárzása, a hőmérséklet hatása, a vízdoldható alkotók csapadék vagy öntözés általi kioldódása, mind-mind okozhatja ezen anyagjellemző csökkenését, változását.

A vizsgálat során labor körülmények között 20°C/65% relatív páratartalom mellett, illetve abszolút száraz állapotban végeztem a méréseket. Mivel a klimatizált próbatestek normál klímán beállított nedvességértékei (8–11%) nem érték el pontosan a 12%-ot, ezért az adatok irodalmi értékekkel való összehasonlíthatósága miatt arányosítással történt a pontos ρ_{12} számítása.

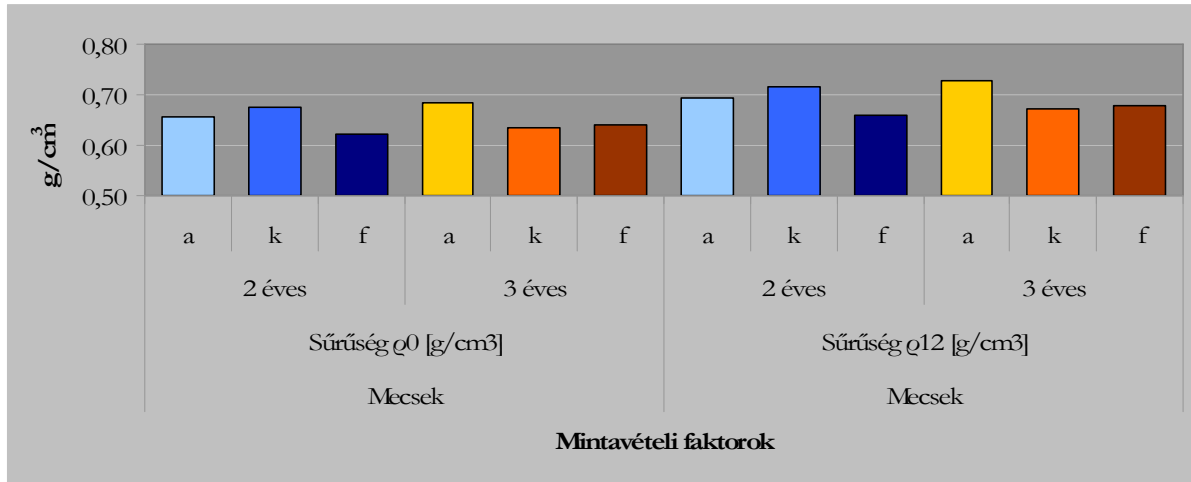
A felhasználási terület elvárásainak megfelelően csak és kizárólag hibamentes alapanyagból kialakított próbatestekkel dolgoztam, így a sűrűségekre ható tényezők közül a származási hely, érlelési idő, illetve a rakatokban elfoglalt pozíció hatásai jelentkezhetnek súlyozottan.

A vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a **Mecseki** (01T2A, 01T2K, 01T2F, 01N2A, 01N2K, 01N2F, 01T3A, 01T3K, 01T3F, 01N3A, 01N3K, 01N3F) mintavételi helyekről vizsgált 237 db próbatestek értékei, $\rho_0 = 0,52\text{--}0,77 \text{ g/cm}^3$, míg $\rho_{12} = 0,56\text{--}0,81 \text{ g/cm}^3$ között változtak. **(18. táblázat, 28. ábra)**

18. táblázat – Mecseki kocsánytalan tölgy próbatestek sűrűség értékei

származás	Mecsek (01)											
	Sűrűség ρ_0 [g/cm ³]						Sűrűség ρ_{12} [g/cm ³]					
érlelés	2 éves			3 éves			2 éves			3 éves		
hely	a	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f
átlag	0,66	0,68	0,62	0,69	0,63	0,64	0,69	0,72	0,66	0,73	0,67	0,68
rakat átlag	0,6519			0,6531			0,6906			0,6929		
szárm átlag	0,6525						0,6918					
szórás	0,05	0,06	0,04	0,04	0,05	0,06	0,05	0,06	0,04	0,04	0,05	0,06
minimum	0,57	0,56	0,55	0,60	0,56	0,52	0,60	0,61	0,59	0,65	0,60	0,56
maximum	0,76	0,77	0,75	0,75	0,75	0,74	0,80	0,81	0,79	0,79	0,79	0,78
var. Koeff.	7,61%	8,33%	6,05%	5,72%	8,07%	9,04%	7,31%	7,72%	5,64%	5,25%	7,63%	8,64%

A származáson belüli eltéréseket a **28. ábra** szemlélteti.



28. ábra – Rakatszintek átlagos sűrűségértékei a mintavételi faktorok függvényében (Mecsek 01) [g/cm³]

Származási hely szerint, érlelési időközön belül, a rakatszintek közötti sűrűségkülönbséget, illetve az érlelések átlagos sűrűségének különbségeit a **19. táblázat** mutatja be.

19. táblázat – Sűrűségátlagok közötti különbség (Mecsek) [%]

	u=0%		u=12%	
	2 éves	3 éves	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti sűrűségátlagok különbsége [%]	8,04	7,53	7,84	7,46
2, ill. 3 éves minták sűrűségátlagainak különbsége [%]	0,19		0,33	

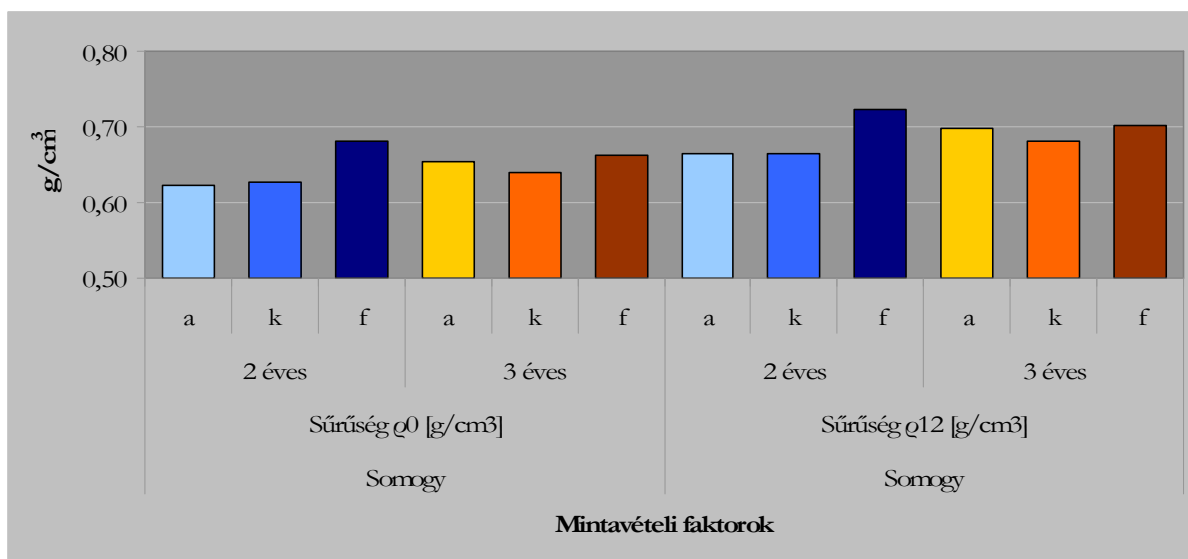
A **Mecseki** minta átlagos sűrűségértékei közötti különbség, érlelési idő tekintetében tehát, minimálisnak mondhatók, $\rho_0 = 0,19\%$, míg $\rho_{12} = 0,33\%$. Származáson belül u=0%-nál a rakatszintek sűrűségátlaga közötti maximális különbség 2 éves érlelés után 8,04%, 3 éves érlelés után 7,53% volt. u=12%-nál a 2 éves érlelésű rakaton belül 7,84%, a 3 éves természetes szárítás után pedig a rakatszintek sűrűségátlagai közötti 7,46% maximális eltérést tapasztaltam. Valószínű, ez a kitétségeknek és a változó degradáció miatti hatásoknak tudható be. (**19. táblázat**).

Somogy megyéből származó dongaalapanyagból mintavételi helyek szerint (04T2A, 04T2K, 04T2F, 04N2A, 04N2K, 04N2F, 04T3A, 04T3K, 04T3F, 04N3A, 04N3K, 04N3F) 263 db próbatestet vizsgáltam. A mért értékek $\rho_0 = 0,55\text{--}0,78$ g/cm³, míg $\rho_{12} = 0,59\text{--}0,86$ g/cm³ között változtak. (**20. táblázat**)

20. táblázat – Somogyi kocsánytalan tölgy próbatestek sűrűség értékei

származás	Somogy											
	Sűrűség ρ_0 [g/cm³]						Sűrűség ρ_{12} [g/cm³]					
	2 éves			3 éves			2 éves			3 éves		
hely	a	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f
átlag	0,62	0,63	0,68	0,65	0,64	0,66	0,66	0,67	0,72	0,70	0,68	0,70
rakat átlag	0,6433			0,6513			0,6838			0,6939		
szárm átlag	0,6473						0,6889					
szórás	0,04	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,04
minimum	0,57	0,55	0,62	0,56	0,55	0,60	0,61	0,59	0,66	0,60	0,59	0,64
maximum	0,69	0,68	0,76	0,72	0,78	0,73	0,74	0,72	0,80	0,86	0,82	0,77
var. Koeff.	6,15%	4,64%	4,76%	4,95%	7,77%	5,28%	6,07%	4,11%	4,59%	5,60%	7,27%	4,98%

A származáson belüli eltéréseket a **29. ábra** szemlélteti.



29. ábra – Rakatszintek átlagos sűrűségértékei a mintavételi faktorok függvényében (Somogy 04) [g/cm³]

Származási hely szerint, érlelési időközön belül, a rakatszintek közötti sűrűségkülönbséget, illetve az érlelések átlagos sűrűségének különbségeit a **21. táblázat** mutatja be.

21. táblázat – Sűrűségátlagok közötti különbség (Mecsek) [%]

Somogy (04) érlelés	u=0%		u=12%	
	2 éves	3 éves	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti sűrűségátlagok különbsége [%]	8,52	3,45	8,02	2,34
2 éves ill. 3 éves minták sűrűségátlagainak különbsége [%]	1,23		1,45	

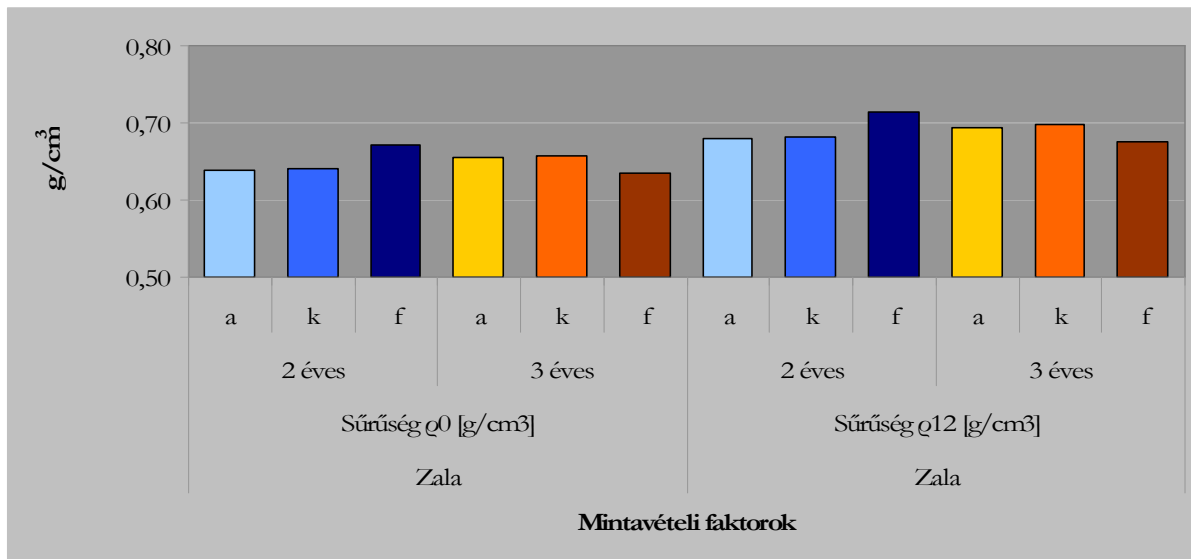
A **somogyi** minta, érlelési idők közötti átlagos sűrűségértékei vizsgálata után szintén elmondható, hogy a különbségek minimálisak, $\rho_0 = 1,23\%$, míg $\rho_{12} = 1,45\%$. Származáson belül u=0%-nál a rakatszintek sűrűségátlaga közötti maximális különbség 2 éves érlelés után 8,52%, 3 éves érlelés után 3,45% volt. U=12%-nál a 2 éves érlelésű rakaton belül 8,02%, a 3 éves természetes szárítás esetén pedig a rakatszintek sűrűségátlagai között 2,34% maximális eltérést tapasztaltam. A különbségben valószínűsíthetően közrejátszanak a kitettségek, illetve a változó degradáció miatti hatások is. (**29. ábra, 21. táblázat**).

Zala megyéből származó dongaalapanyagból mintavételi helyek szerint (05T2A, 05T2K, 05T2F, 05N2A, 05N2K, 05N2F, 05T3A, 05T3K, 05T3F, 05N3A, 05N3K, 05N3F) 250 db próbatestet vizsgáltam. A mért értékek $\rho_0 = 0,55\text{--}0,75 \text{ g/cm}^3$, míg $\rho_{12} = 0,58\text{--}0,89 \text{ g/cm}^3$ között változtak. (22. táblázat)

22. táblázat – Zalai kocsánytalan tölgy próbatestek sűrűség értékei

származás	Zala (05)											
	Sűrűség ρ_0 [g/cm ³]						Sűrűség ρ_{12} [g/cm ³]					
	2 éves			3 éves			2 éves			3 éves		
érlelés	a	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f
hely	a	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f
átlag	0,64	0,64	0,67	0,65	0,66	0,63	0,68	0,68	0,71	0,69	0,70	0,68
rakat átlag	0,6497			0,6491			0,6917			0,6885		
szárm átlag	0,6494						0,6901					
szórás	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,04	0,05	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04
minimum	0,55	0,57	0,55	0,58	0,59	0,56	0,58	0,61	0,58	0,62	0,64	0,60
maximum	0,74	0,70	0,74	0,75	0,73	0,72	0,89	0,74	0,78	0,79	0,76	0,76
var. Koeff.	6,36%	5,42%	7,19%	4,73%	5,24%	6,46%	7,52%	5,17%	7,01%	4,94%	4,85%	6,02%

A származáson belüli eltéréseket a 30. ábra szemlélteti.



30. ábra – Rakatszintek átlagos sűrűségértékei a mintavételi faktorok függvényében (Zala 05) [g/cm³]

Származási hely szerint, érlelési időközön belüli, rakatszintek közötti sűrűségkülönbséget, illetve az érlelések átlagos sűrűségének különbségeit a 23. táblázat mutatja be.

23. táblázat – Sűrűségátlagok közötti különbség (Zala) [%]

	u=0%		u=12%	
	2 éves	3 éves	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti sűrűségátlagok különbsége [%]	4,75	3,50	4,81	3,10
2, ill. 3 éves minták sűrűségátlagainak különbsége [%]	-0,10		-0,47	

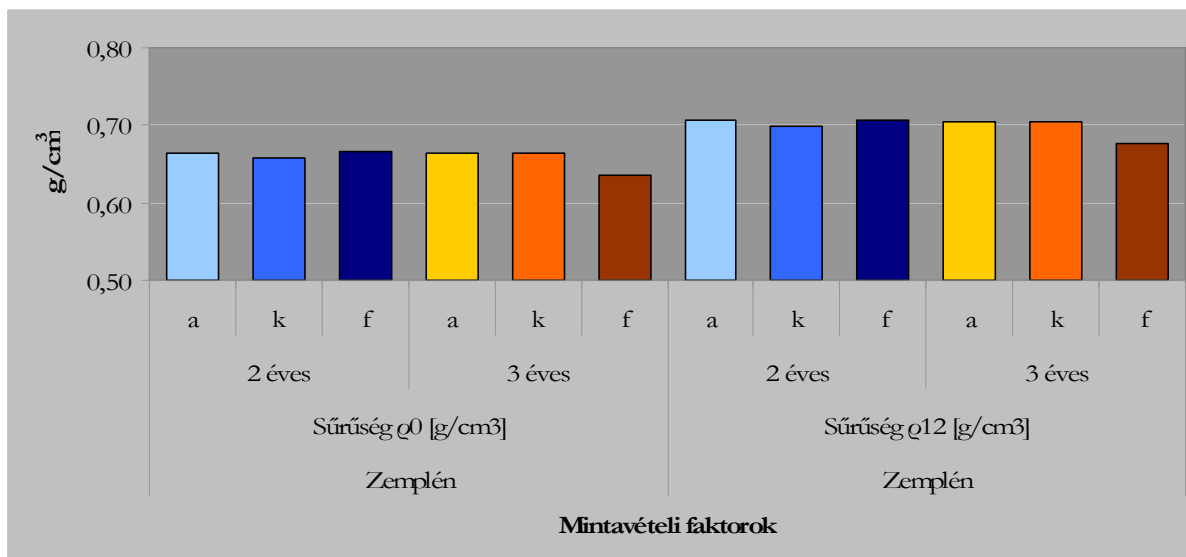
A **zalai** minta érlelési idők közötti átlagos sűrűségértékei közötti különbségek minimálisnak mondhatók, $\rho_0 = -0,1\%$, míg $\rho_{12} = -0,47\%$. Származáson belül $u=0\%$ -nál a rakatszintek sűrűségátlagai közötti maximális különbség 2 éves érlelés után 4,75%, 3 éves érlelés után 3,5% volt. $U=12\%$ -nál a 2 éves érlelésű rakaton belül 4,81%, a 3 éves természetes szárítás esetén pedig a rakatszintek sűrűségátlagai között 3,1% maximális eltérést tapasztaltam. A különbségben valószínűsíthetően közrejátszanak a kitettségek, illetve a változó degradáció miatti hatások is. **(30. ábra, 23. táblázat)**

Északerdő / Zemplén területről származó dongaalapanyagból mintavételi helyek szerint (07T2A, 07T2K, 07T2F, 07N2A, 07N2K, 07N2F, 07T3A, 07T3K, 07T3F, 07N3A, 07N3K, 07N3F) 263 db próbatestet vizsgáltam. A mért értékek $\rho_0 = 0,56-0,70 \text{ g/cm}^3$, míg $\rho_{12} = 0,60-0,74 \text{ g/cm}^3$ között változtak. **(24. táblázat)**

24. táblázat – Zempléni kocsánytalan tölgy próbatestek sűrűség értékei

származás	Zemplén (07)											
	Sűrűség ρ_0 [g/cm ³]						Sűrűség ρ_{12} [g/cm ³]					
érlelés	2 éves			3 éves			2 éves			3 éves		
hely	a	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f
átlag	0,66	0,66	0,67	0,66	0,66	0,64	0,71	0,70	0,71	0,70	0,70	0,68
rakat átlag	0,6630			0,6541			0,7033			0,6952		
szárm átlag	0,6585						0,6992					
szórás	0,04	0,02	0,03	0,03	0,05	0,04	0,04	0,02	0,03	0,03	0,05	0,04
minimum	0,59	0,62	0,61	0,56	0,56	0,57	0,63	0,65	0,64	0,61	0,60	0,61
maximum	0,73	0,70	0,74	0,72	0,74	0,73	0,78	0,74	0,78	0,76	0,78	0,78
var. Koeff.	5,31%	3,58%	4,55%	4,13%	7,23%	6,17%	5,25%	3,34%	4,52%	3,70%	6,88%	5,91%

A származáson belüli eltéréseket a **31. ábra** szemlélteti.



31. ábra – Rakatszintek átlagos sűrűségértékei a mintavételi faktorok függvényében (Északerdő/Zemplén 07) [g/cm³]

Származási hely szerint, érlelési időközön belüli, rakatszintek közötti sűrűségkülönbséget, illetve az érlelések átlagos sűrűségének különbségeit a **25. táblázat** mutatja be.

25. táblázat – Sűrűségátlagok közötti különbség (Zemplén) [%]

	u=0%		u=12%	
	2 éves	3 éves	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti sűrűségátlagok különbsége [%]	1,20	4,17	1,12	3,98
2, ill. 3 éves minták sűrűségátlagainak különbsége [%]	-1,37		-1,17	

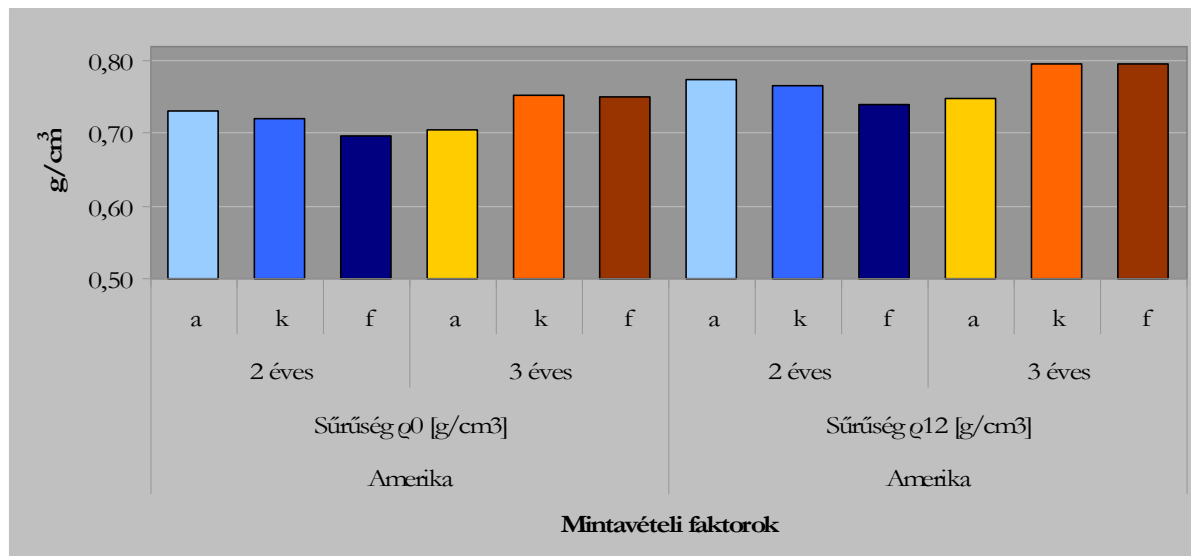
Az **Északerdő / Zemplén** származási terület mintái esetén, az érlelési idők közötti átlagos sűrűségkülönbségek minimálisnak mondhatók, $\rho_0 = -1,37\%$, míg $\rho_{12} = -1,17\%$. Származáson belül u=0%-nál a rakatszintek sűrűségátlaga közötti maximális különbség 2 éves érlelés után 1,2%, 3 éves érlelés után 4,17% volt. U=12%-nál a 2 éves érlelésű rakaton belül 1,12%, a 3 éves természetes szárítás esetén pedig a rakatszintek sűrűségátlagai között 3,98% maximális eltérést tapasztaltam. A különbségben valószínűsíthetően közrejátszanak a kitétségek, illetve a változó degradáció miatti hatások is. (31. ábra, 25. táblázat)

Amerikai fehértölgyből, mintavételi helyek szerint (07T2A, 07T2K, 07T2F, 07N2A, 07N2K, 07N2F, 07T3A, 07T3K, 07T3F, 07N3A, 07N3K, 07N3F) 256 db próbatest vizsgálatára került sor. A mért értékek $\rho_0 = 0,61-0,85 \text{ g/cm}^3$, míg $\rho_{12} = 0,65-0,89 \text{ g/cm}^3$ között változtak. (26. táblázat)

26. táblázat – Amerikai fehér tölgy próbatestek sűrűség értékei

származás	Amerika (10)											
	Sűrűség ρ_0 [g/cm ³]						Sűrűség ρ_{12} [g/cm ³]					
	2 éves			3 éves			2 éves			3 éves		
érlelés												
hely	a	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f
átlag	0,73	0,72	0,70	0,71	0,75	0,75	0,78	0,77	0,74	0,75	0,80	0,80
rakat átlag	0,7162			0,7370			0,7604			0,7805		
szárm átlag	0,7266						0,7704					
szórás	0,04	0,05	0,05	0,04	0,03	0,05	0,04	0,05	0,05	0,04	0,03	0,05
minimum	0,67	0,64	0,62	0,61	0,70	0,69	0,72	0,68	0,66	0,65	0,75	0,73
maximum	0,84	0,82	0,80	0,80	0,84	0,85	0,88	0,86	0,85	0,85	0,89	0,89
var. Koeff.	5,77%	6,78%	7,06%	6,29%	4,46%	6,22%	5,54%	6,36%	7,08%	5,88%	4,17%	5,81%

A származáson belüli eltéréseket a 32. ábra szemlélteti.



32. ábra – Rakatszintek átlagos sűrűségértékei a faktorok függvényében (Amerika 10) [g/cm³]

Származási hely szerint, érlelési időközön belül, a rakatszintek közötti sűrűségkülönbséget, illetve az érlelések átlagos sűrűségének különbségeit a **27. táblázat** mutatja be.

27. táblázat – Sűrűségátlagok közötti különbség (Amerika) [%]

	u=0%		u=12%	
	2 éves	3 éves	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti sűrűségátlagok különbsége [%]	4,77	6,23	4,39	5,97
2, ill. 3 éves minták sűrűségátlagának különbsége [%]	2,82		2,58	

Az **amerikai** minta érlelési idők közötti átlagos sűrűségértékei közötti különbségek minimálisnak mondhatók, $\rho_0 = 2,82\%$, míg $\rho_{12} = 2,58\%$. Származáson belül u=0%-nál a rakatszintek sűrűségátlaga közötti maximális különbség 2 éves érlelés után 4,77%, 3 éves érlelés után 6,23% volt. U=12%-nál a 2 éves érlelésű rakaton belül 4,39%, a 3 éves természetes szárítás esetén pedig a rakatszintek sűrűségátlagai között 5,97% maximális eltérést tapasztaltam (**32. ábra, 27. táblázat**)

Összegzésként megállapítható, hogy a mérések átlaga mind ρ_0 , mind ρ_{12} esetén megegyezik az irodalmakban fellelhető kocsánytalan tölgyekre vonatkozó sűrűségi értékkel. (**28. táblázat**)

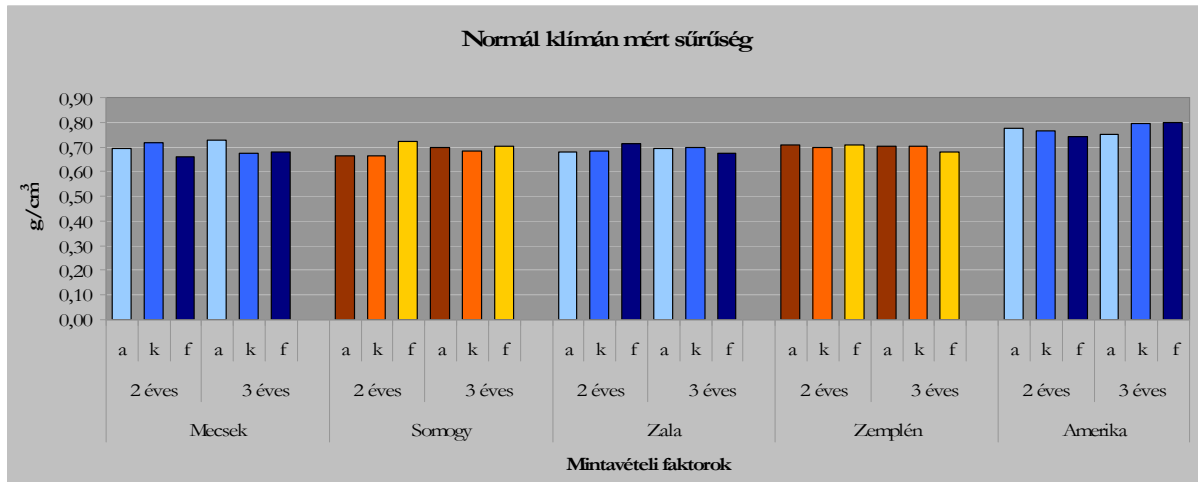
28. táblázat – A vizsgált tölgyek sűrűségeinek származási faktor szerinti összegzése

	ρ_0 [kg/m ³]	ρ_{12} [kg/m ³]
Mecsek	652,53	691,77
Somogy	647,28	688,86
Zala	649,43	690,11
Zemplén	658,55	699,25
Magyar kt. tölgy	651,75	692,34
szórás	43,23	44,33
minimum	521,30	556,34
maximum	779,71	892,01
var. koeff.	6,63%	6,40%
Irodalmi érték	390 - 650 - 930	430 - 690 - 960 (Molnár, 2004)
	ρ_0 [kg/m ³]	ρ_{12} [kg/m ³]
Amerikai f. tölgy	726,60	770,45
szórás	49,25	49,74
minimum	613,66	653,86
maximum	847,88	891,40
var. koeff.	6,78%	6,46%
Irodalmi érték	740	775 (Wagenführ, 1996)

A 2, illetve 3 évig érlelt anyagok sűrűségkülönbsége szintén elhanyagolható, (-1,37)–(+2,82)%, mely a faanyagok inhomogenitásának illetve a mérési pontatlanságnak tudható be.

Az amerikai próbatesteken mért átlagsűrűségi értékek némileg (1-2%-al) alul maradnak az irodalmakban fellelhető amerikai fehér tölgyre vonatkozó átlagos értéktől. Ennek oka abban keresendő, hogy a vizsgált tételek egy szállítmányból származnak, tehát a kivágásuk is valószínűleg egy szűk területegységen történt. Ezért a rakatokból történt mintavételek magas száma ellenére sem beszélhetünk homogén mintáról, és eredményeink, az amerikai fehér tölgy fafajra vonatkozólag sem tekinthetők homogénnek.

A származási helyek közötti sűrűségbeli különbségeket normál klímán az alábbi grafikon szemlélteti. **(33. ábra)**



33. ábra – Származási hely, érlelési idő és a rakatban elfoglalt szint szerinti sűrűség értékek, normál klímán (20°C /65%) [g/cm³]

Elmondható, hogy az értékek tekintetében mindkét sűrűségi állapotban jól elkülönül a két különböző faj, a magyarországi származású kocsánytalan tölgy illetve az amerikai fehér tölgy. A magyar területekről származó minták sűrűsége az összes vizsgálati faktort tekintve egységes, míg az amerikai fehértölgy megközelítőleg 10%-al magasabb sűrűségi értéket mutat. Ennek oka az edények, tracheák, nagyobb fokú tölcseresedésében, az összes edény tölcseres elzáródásában keresendő.

A sűrűség statisztikai **varianciaanalízis** vizsgálata a származási illetve érlelési faktorok tekintetében 95%-os megbízhatósági szinten szignifikáns különbséget mutat.

Homogén átlagok részhalmazainak vizsgálatakor a Duncan teszttel, a származás tekintetében egymástól szignifikánsan eltérő három csoportot mutattam ki (**29. táblázat**), mely szerint a q_{12} tekintetében a magyar származási helyek közül legmagasabb értékével az Északerdő termőhely különül el. Az amerikai minták az összes vizsgált anyagot tekintve messze a legmagasabb sűrűségi értéket produkálta így szintén külön csoportba sorolhatók.

29. táblázat – q_{12} értékek származás szerinti Duncan elemzése

Duncan ^{a,b}

Származás	N	Megbízhatósági szint = 95%		
		1	2	3
Somogy	264	0,6889		
Zala	248	0,6902		
Mecsek	236	0,6906		
Északerdő	262		0,69935	
Amerika	258			0,77003
Sig.		0,695	1,000	1,000

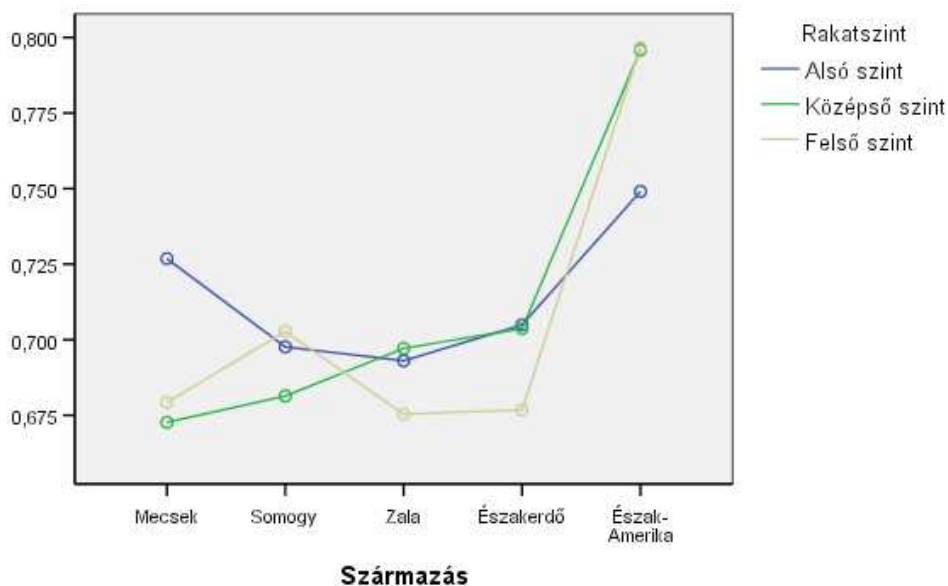
Az előzetesen kitűzött célok szerint, az egyes származásokon belül megállapítottam, hogy a dongafrízek kitétségi/érlelési ideje nincs hatással a faanyag sűrűségére. A hordógyártók és borászok által az érlelési idők (2, ill. 3 év) között tapasztalt ízbeli különbségek tehát nem a vízoldható kémiai anyagok kimosódásának tudhatók be, hanem inkább az anyag kémiai degradációjának, módosulásának.

Rakatszintek tekintetében homogén átlagok részhalmazainak vizsgálatával sem lehet különálló, szignifikánsan eltérő csoportot kimutatni. (**30. táblázat**).

30. táblázat – q_{12} értékek rakatszintek szerinti Duncan elemzése

Duncan ^{a,b}

Származás	N	Megbízhatósági szint = 95%
		1
Középső szint	431	0,70668
Felső szint	425	0,70813
Alsó szint	412	0,70966
Sig.		0,465



34. ábra – Rakatszintek szerinti átlagos sűrűségek a származás függvényében

A mérési eredmények ismeretében elmondható, hogy származásonként a rakaton belüli betárolási szintek (alsó-középső-felső) között, a sűrűségkülönbség megegyezik a teljes mintára vetített sűrűségértékek szórásával (**30. táblázat, 34. ábra**). A rakaton belüli, a szabadlevegős dongaérlelés miatt feltételezett időjárás okozta degradáló hatások, a szintenkénti átlag értékeket nem befolyásolják. A felső mintavételi helyeken nem tapasztaltam alacsonyabb sűrűségi értéket, tehát a vízdoldható alkotók csapadék vagy locsolás általi kioldódása nem eredményezett észrevehető sűrűségcsökkenést.

A 2 illetve 3 éves érlelések között a mérések alapján több származásnál jelentkező sűrűségbeli növekedés nem tekinthető a faktorok okozta tényleges növekedésnek, mivel a vizsgálat nem ugyanazon próbatesteken történt. Az inhomogén szerkezet, a késői pászta változékonysága, a gesztesítő anyagok berakódása, mind-mind befolyásoló tényező.

A mért eredményeink alacsony szórása (0,02 – 0,06) feltételezhetően a válogatott, magas minőségű alapanyagnak tudható be. Az átlagsűrűség szerint felállítható származási sorrend, az alacsony különbségek miatt nem elegendő a származási helyek minőségi rangsorolásához.

4.1.3 Dagadási jellemzők

A hordók használata során bekövetkező méretváltozások ismerete elsősorban a dongavasak méretezéséhez szükséges. A hordó gyártók, ma már faanyagtudományi ismereteik birtokában ki tudják küszöbölni a faanyag anatómiai alkotóinak nedvesség szállító tulajdonságait. Így a dongaanyag pontos anatómiai irányainak betartásával a hordó szerkezetét tekintve, legfőképp a sugár- illetve a húr irányú méretváltozásnak van befolyásoló hatása. A dagadás és a zsugorodás mértéke között a különbség minimális, az eredmények tendenciája pedig közel azonos. A szakmai szempontok szerint, mivel a gyártást követően (a pince klíma és a hordóban tárolt folyadék hatására) a hordó anyaga nedvességet vesz fel, fontosabb a dagadási jellemzők ismerete. Az adatok értékelésében ezt vettem mérvadónak. A vizsgálat során labor körülmények között abszolút száraz állapotban illetve a maximális méret meghatározásához rost telítettségi határ fölött végeztem a méréseket. A teljes mértékben hibamentes, pontos anatómiai irányok szerint kialakított szabványos próbatestek nedvességváltozás hatására bekövetkező méretváltozását a származási hely, illetve a rakatokban elfoglalt pozíció szerint vizsgáltam.

4.1.3.1 Húrirányú dagadási jellemzők

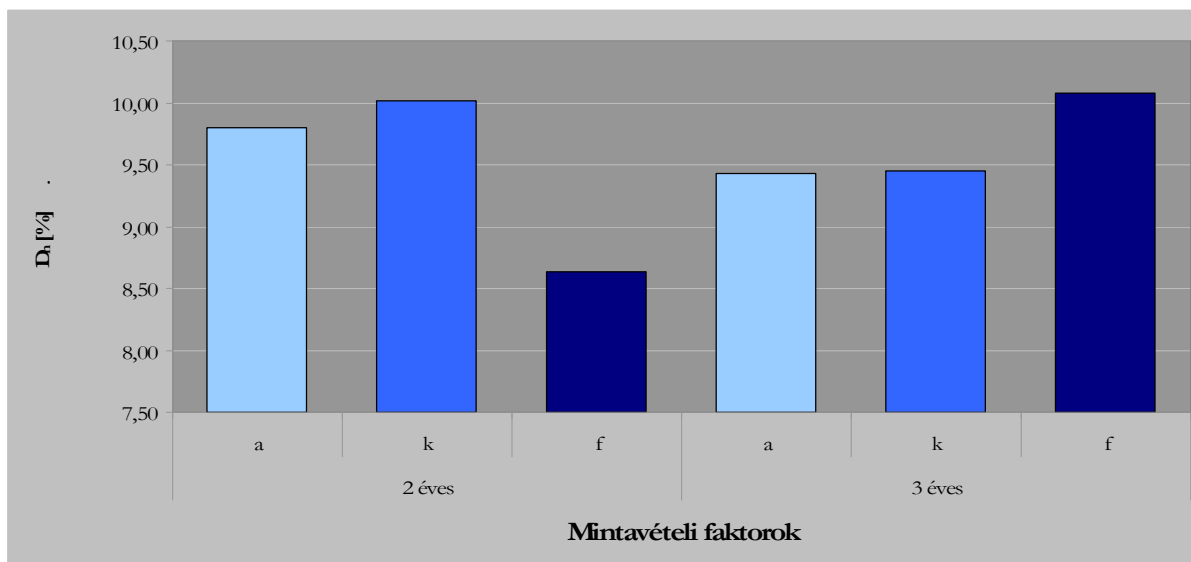
A vizsgált faanyagok részletes húrirányú méretváltozási eredményeit az V-VI. sz. melléklet, míg a statisztikai értékelést a XVI – XIX. sz. mellékletek tartalmazzák.

A vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a **Mecseki** (01T2A, 01T2K, 01T2F, 01N2A, 01N2K, 01N2F, 01T3A, 01T3K, 01T3F, 01N3A, 01N3K, 01N3F) mintavételi helyekről vizsgált 237 db próbatest értékei, $D_h = 4,88 - 11,99$ [%], míg $K_d = 0,11 - 0,32$ között változtak (**31. táblázat**).

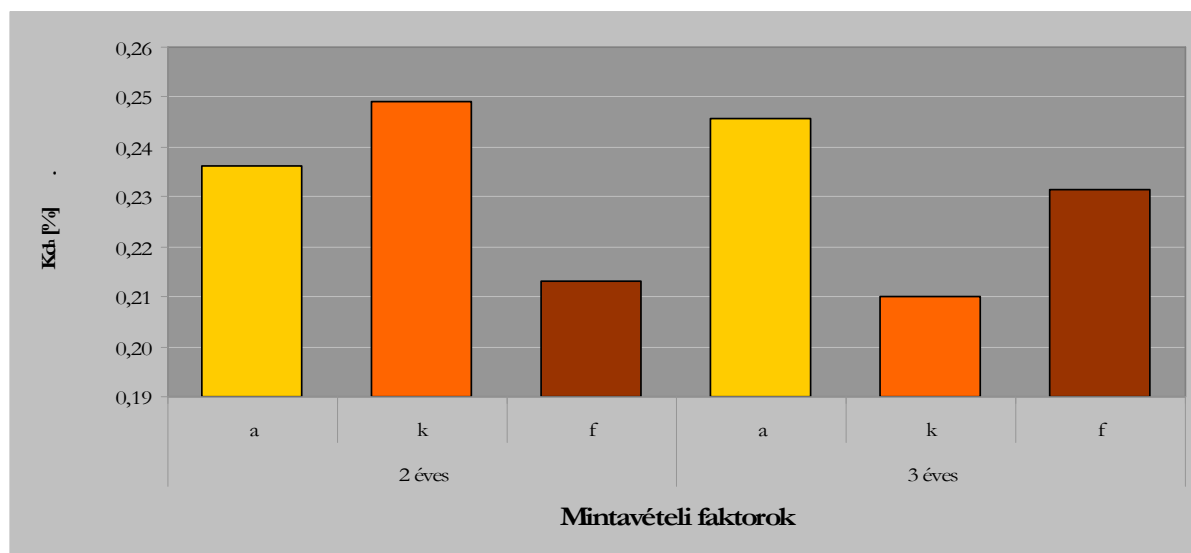
31. táblázat – Húr irányú dagadási jellemzők (Mecsek 01)

származás	Mecsek						Mecsek					
	Húr irányú dagadás D_h [%]						Dagadási együttható K_d					
érlelés	2 éves			3 éves			2 éves			3 éves		
hely	a	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f
átlag	9,80	10,02	8,63	9,42	9,45	10,08	0,24	0,25	0,21	0,25	0,21	0,23
rakat átlag	9,4842			9,6494			0,2311			0,2290		
szárm. átlag	9,5302						0,2300					
szórás	1,01	1,28	1,11	1,12	1,15	0,97	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,04
minimum	7,00	4,88	5,61	4,98	4,48	8,12	0,18	0,11	0,13	0,13	0,12	0,16
maximum	11,67	11,63	11,81	11,21	11,21	11,99	0,31	0,30	0,32	0,29	0,29	0,29
Var. %	10,32%	12,79%	12,92%	11,88%	12,15%	9,62%	16,30%	16,14%	14,94%	12,39%	17,90%	16,28%

A rakatszintek és érlelési idők közötti különbséget a **35–36-os ábrák** mutatják.



35. ábra – A mecseki származású minták húrirányú dagadása [%] az érlelési idő és rakatszint függvényében



36. ábra – A mecseki származású minták dagadási együtthatója az érlelési idő és rakatszint függvényében

Az érlelési időn belüli, érlelési idők közötti maximális eltérést mind húrirányú dagadás- mind dagadási együttható esetén a **32. táblázat** szemlélteti.

32. táblázat – Hús irányú dagadási jellemzők származáson belüli és faktorok szerinti átlagkülönbsége (Mecsek) [%]

Mecsek (01) érlelés	D _h [%]		K _d [%]	
	2 éves	3 éves	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti D _h /K _d átlagainak különbsége [%]	13,88	6,48	14,39	14,63
2 éves ill. 3 éves minták D _h /K _d átlagainak különbsége [%]	1,71		-0,88	

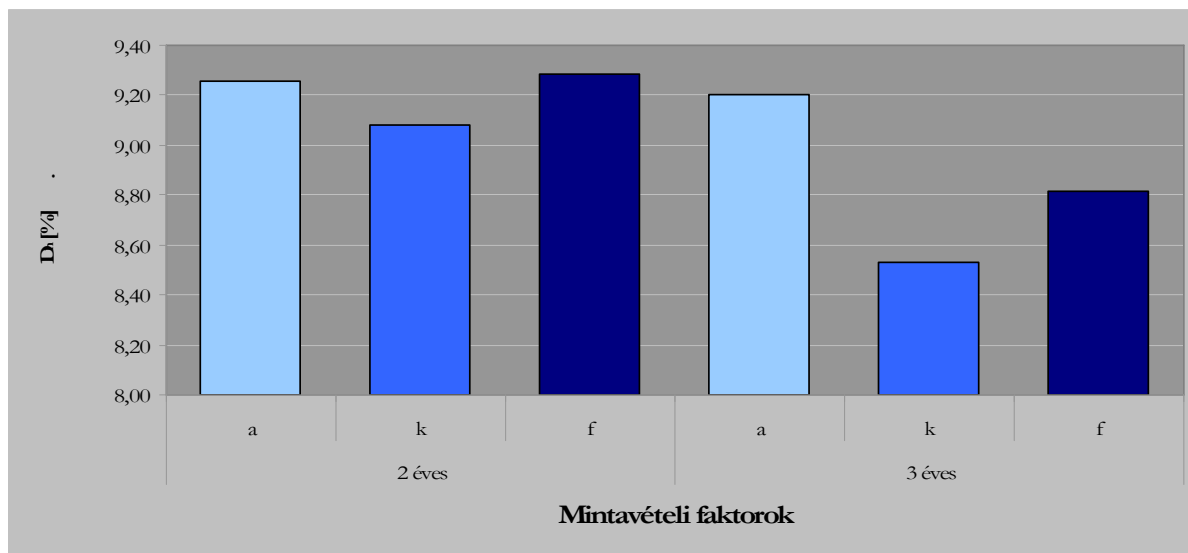
A **meceki** minta átlagos D_h és K_d értékei közötti különbségek, érlelési idő tekintetében minimálisnak mondhatók. ($D_h = 1,71\%$, míg $K_d = -0,88\%$) (**32. táblázat**). Mindkét tényezőnél tapasztalt, rakatszintek közötti maximális különbség (D_h esetén 6,48– 3,88%, míg K_d -nál 14,39 – 14,63%) a fafajra jellemző irodalmi értékek szórásértékén belül van, tehát az időjárás degradáló hatása, vagyis a rakatszintek közötti különbség nem kimutatható.

A **Somogyi** (04T2A, 04T2K, 04T2F, 04N2A, 04N2K, 04N2F, 04T3A, 04T3K, 04T3F, 04N3A, 04N3K, 04N3F) mintavételi helyekről vizsgált 263 db próbatest értékei, $D_h = 3,87–11,01$ [%], míg $K_d = 0,03–0,34$ között változtak (**33. táblázat**).

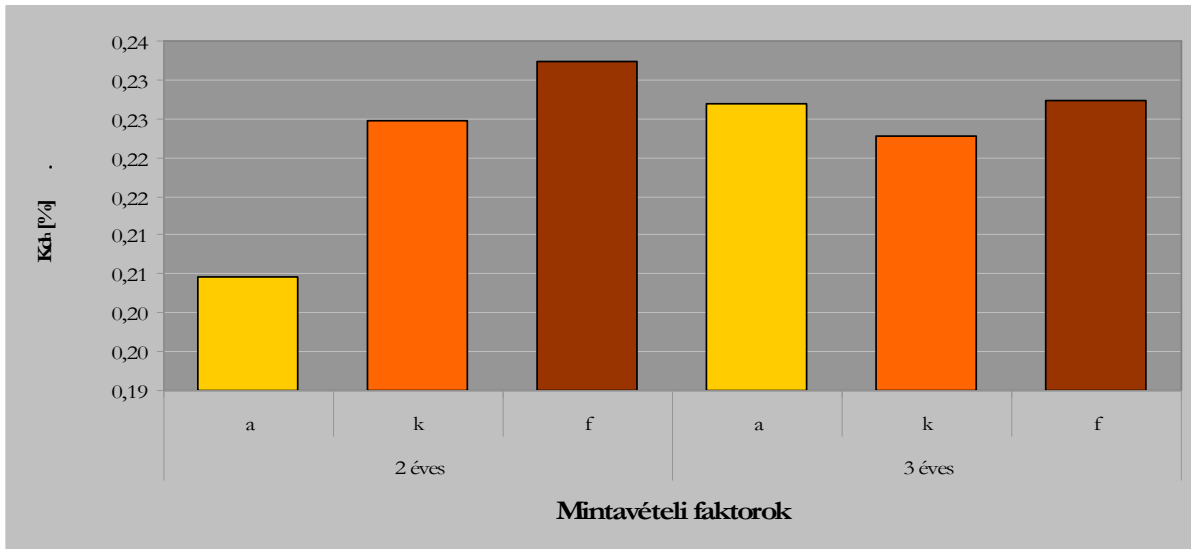
33. táblázat – Húr irányú dagadási jellemzők (Somogy 04)

származás	Somogy											
	Húr irányú dagadás D_h [%]						Dagadási együttható K_d					
érlelés	2 éves			3 éves			2 éves			3 éves		
hely	a	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f
átlag	9,26	9,08	9,28	9,20	8,53	8,82	0,20	0,22	0,23	0,23	0,22	0,23
rakat átlag	9,2061			8,8511			0,2211			0,2257		
szárm. átlag	9,0148						0,2235					
szórás	0,87	1,32	0,80	0,70	0,72	0,65	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03
minimum	6,35	3,87	7,77	7,65	6,91	7,79	0,15	0,09	0,18	0,14	0,03	0,17
maximum	10,51	11,01	10,98	10,87	10,23	10,11	0,32	0,31	0,29	0,30	0,29	0,34
Var.%	9,44%	14,54%	8,65%	7,58%	8,39%	7,33%	17,33%	20,84%	12,84%	13,63%	17,34%	15,27%

A rakatszintek és érlelési idők közötti különbségeket a **37–38-as ábrák** mutatják.



37. ábra – A somogyi származású minták húrirányú dagadása [%] az érlelési idő és rakatszint függvényében



38. ábra – A somogyi származású minták dagadási együtthatója az érlelési idő és rakatszint függvényében

Az érlelési időn belüli, érlelési idők közötti maximális eltérést mind hűrirányú dagadás- mind dagadási együttható esetén a **34. táblázat** szemlélteti.

34. táblázat – Húr irányú dagadási jellemzők származáson belüli átlagkülönbsége (Somogy) [%]

Somogy (04) érlelés	D _h [%]		K _d [%]	
	2 éves	3 éves	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti D _h /K _d átlagainak különbsége [%]	2,19	7,27	12,00	1,99
2 éves ill. 3 éves minták D _h /K _d átlagainak különbsége [%]	-4,01		2,03	

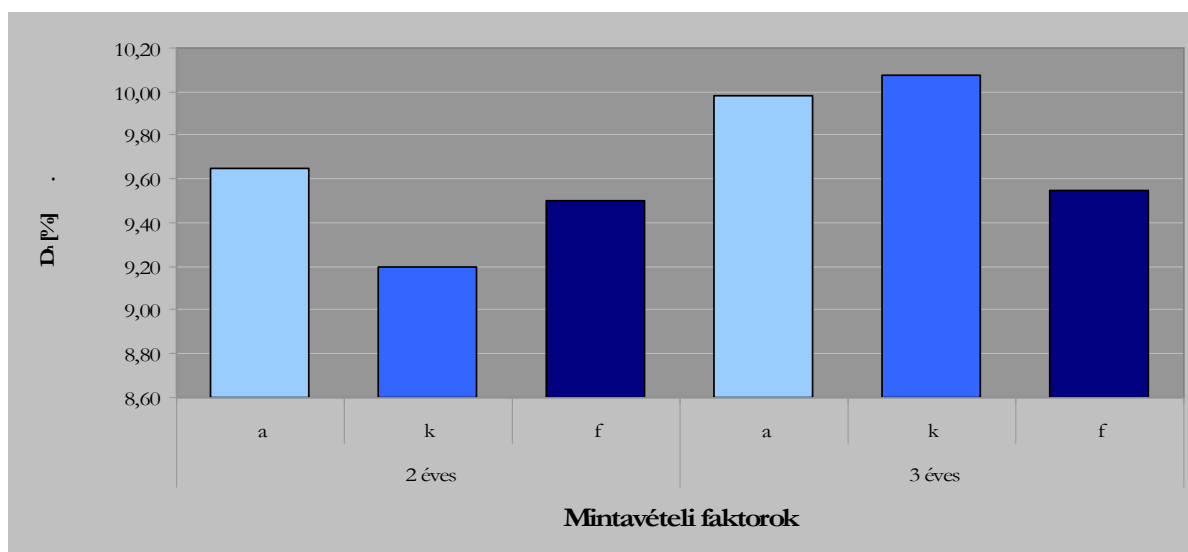
A **somogyi** minta átlagos D_h és K_d értékei közötti különbségek, érlelési idő tekintetében minimálisnak mondhatók. (D_h = -4,01%, míg K_d = 2,03%) (**34. táblázat**). Mindkét tényezőnél tapasztalt, rakatszintek közötti maximális különbség (D_h esetén 2,19–7,27%, míg K_d-nál 1,99–12,00%) a fafajra jellemző irodalmi értékek szórásértékén belül van, tehát az időjárás szintenkénti degradáló hatása, vagyis a rakatszintek között nincs szignifikáns különbség.

A **zalai** (05T2A, 05T2K, 05T2F, 05N2A, 05N2K, 05N2F, 05T3A, 05T3K, 05T3F, 05N3A, 05N3K, 05N3F) mintavételi helyekről vizsgált 250 db próbatest értékei, D_h = 6,65–11,79 [%], míg K_d = 0,13–0,31 között változtak (**35. táblázat**).

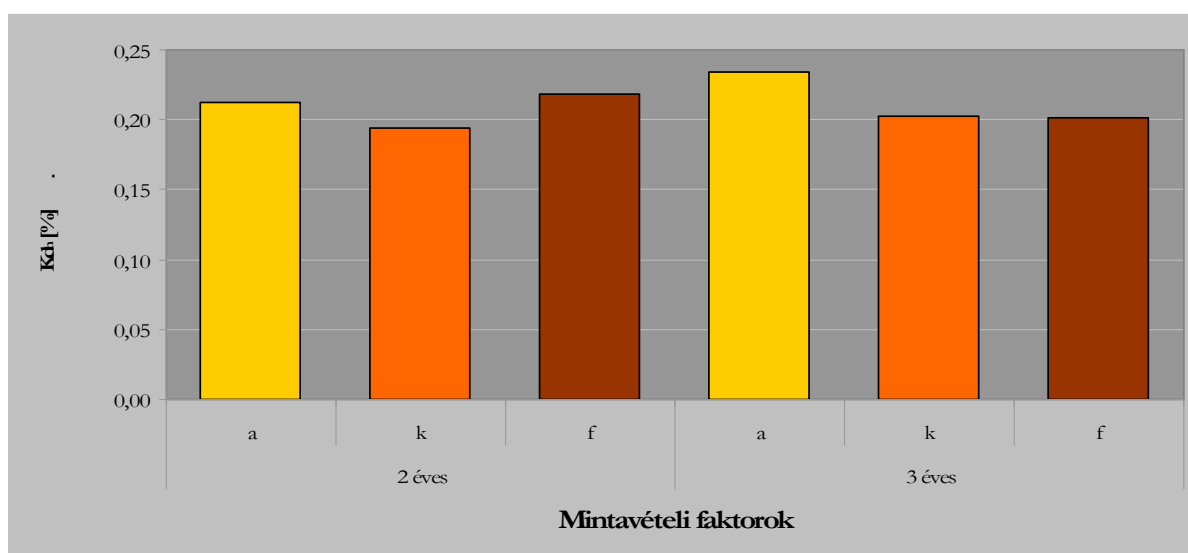
35. táblázat – Húr irányú dagadási jellemzők (Zala 05)

származás	Zala											
	Húr irányú dagadás D _h [%]						Dagadási együttható K _d					
	2 éves			3 éves			2 éves			3 éves		
hely	a	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f
átlag	9,65	9,20	9,50	9,99	10,08	9,55	0,21	0,19	0,22	0,23	0,20	0,20
rakat átlag	9,4486			9,8711			0,2078			0,2132		
szárm. átlag	9,6767						0,2107					
szórás	0,51	0,53	0,91	0,75	0,77	0,81	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03
minimum	8,05	8,07	6,65	8,63	8,58	8,34	0,16	0,15	0,13	0,17	0,16	0,15
maximum	10,42	10,39	11,10	11,79	11,73	11,33	0,28	0,22	0,31	0,30	0,25	0,28
Var.%	5,30%	5,71%	9,62%	7,51%	7,62%	8,50%	10,99%	8,10%	15,40%	11,46%	10,54%	16,25%

A rakatszintek és érlelési idők közötti különbségeket a **39–40-es ábrák** mutatják.



39. ábra – A zalai származású minták hűrirányú dagadása [%] az érlelési idő és rakatszint függvényében



40. ábra – A zalai származású minták dagadási együtthatója az érlelési idő és rakatszint függvényében

Az érlelési időn belüli, érlelési idők közötti maximális eltérést mind hűrirányú dagadás- mind dagadási együttható esetén a **36. táblázat** szemlélteti.

36. táblázat – Hűrirányú dagadási jellemzők faktorainak származáson belüli átlagkülönbsége (Z.) [%]

Zala (05) érlelés	D _h [%]		K _d [%]	
	2 éves	3 éves	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti D _h /K _d átlagainak különbsége [%]	4,61	5,24	11,32	13,98
2 éves ill. 3 éves minták D _h /K _d átlagainak különbsége [%]	4,28		2,51	

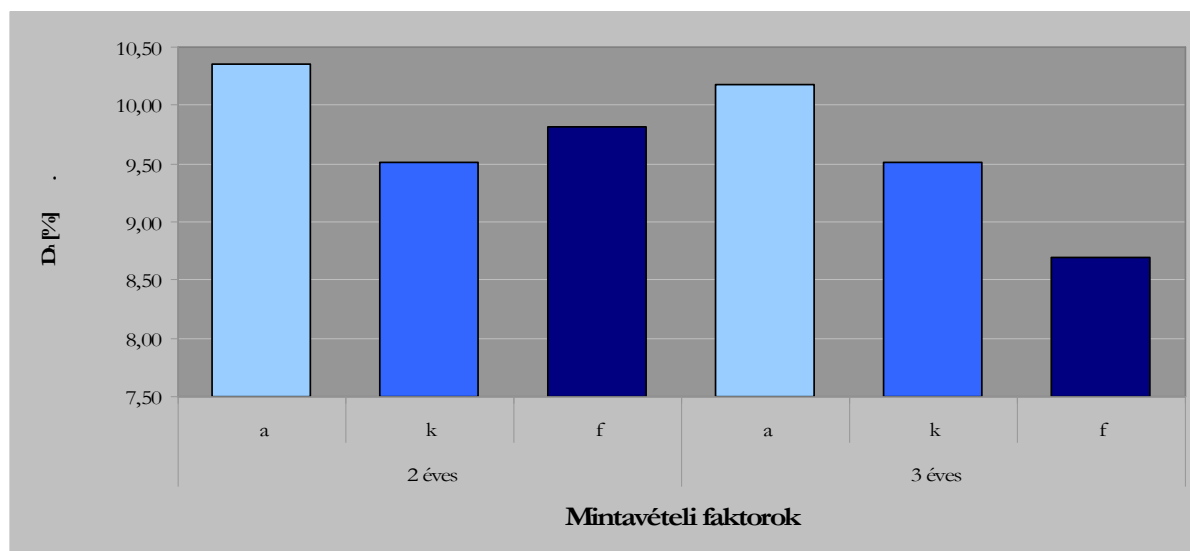
A **zalai** minta átlagos D_h és K_d értékei közötti különbségek, érlelési idő tekintetében minimálisnak mondhatók. (D_h = 4,28%, míg K_d = 2,51%) (**36. táblázat**). Mindkét tényezőnél tapasztalt, rakatszintek közötti maximális különbség (D_h esetén 2,19–7,27%, míg K_d-nál 1,99–12,00%) a fafajra jellemző irodalmi értékek szórásértékén belül van, tehát az időjárás szintenkénti degradáló hatása, vagyis a rakatszintek között nincs jelentős különbség.

Az **Északerdő / Zemplén** terület (07T2A, 07T2K, 07T2F, 07N2A, 07N2K, 07N2F, 07T3A, 07T3K, 07T3F, 07N3A, 07N3K, 07N3F) mintavételi helyekről vizsgált 263 db próbatest értékei, $D_h = 5,54\text{--}11,73$ [%], míg $K_d = 0,12\text{--}0,28$ között változtak (**37. táblázat**).

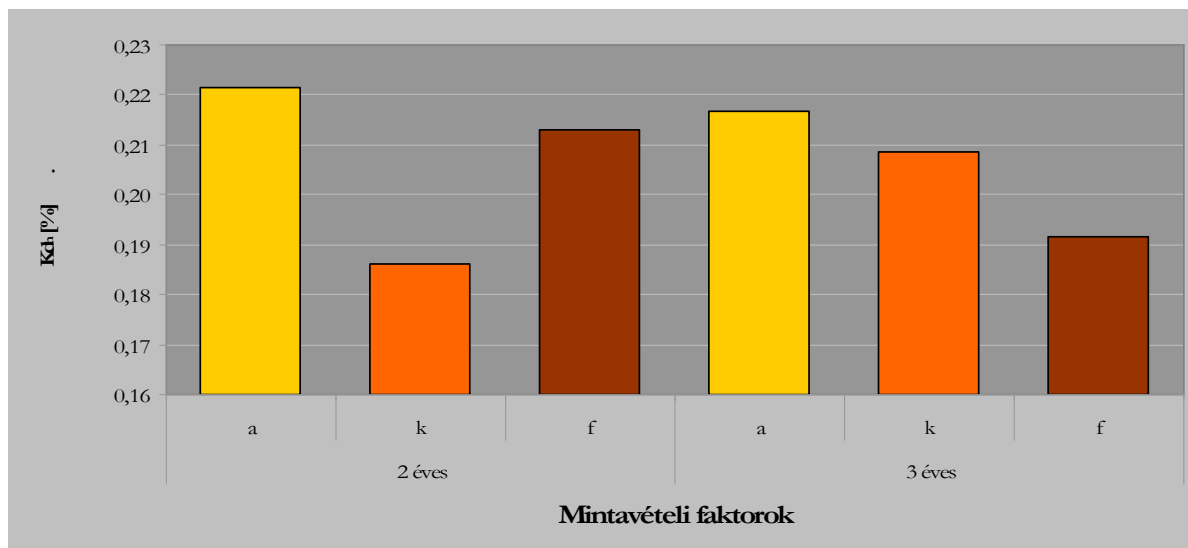
37. táblázat – Húr irányú dagadási jellemzők (Zemplén 07)

származás	Zemplén											
	Húr irányú dagadás D_h [%]						Dagadási együttható K_d					
érelés hely	2 éves			3 éves			2 éves			3 éves		
	a	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f
átlag	10,36	9,52	9,81	10,17	9,51	8,70	0,22	0,19	0,21	0,22	0,21	0,19
rakat átlag	9,8953			9,4599			0,2064			0,2062		
szárm. átlag	9,6794						0,2063					
szórás	0,72	0,54	0,52	0,93	1,28	0,59	0,03	0,01	0,03	0,03	0,04	0,02
minimum	8,81	8,22	8,52	6,29	5,54	7,35	0,17	0,17	0,16	0,13	0,12	0,16
maximum	11,73	10,60	11,25	11,31	11,50	9,89	0,27	0,24	0,28	0,26	0,27	0,27
Var. %	6,99%	5,68%	5,26%	9,19%	13,51%	6,75%	12,26%	7,42%	13,29%	11,71%	18,13%	10,31%

A rakatszintek és érelési idők közötti különbségeket a **41–42-es ábrák** mutatják.



41. ábra – A zempléni származású minták húr irányú dagadása [%] az érelési idő és rakatszint függvényében



42. ábra - A zempléni származású minták dagadási együtthatója az érlelési idő és rakatszint függvényében

Az érlelési időn belüli, érlelési idők közötti maximális eltérést mind hűrirányú dagadás- mind dagadási együttható esetén a **38. táblázat** szemlélteti.

38. táblázat – Hűr irányú dagadási jellemzők származáson belüli átlagkülönbsége (Zemplén) [%]

Zemplén (07) érlelés	D _h [%]		K _d [%]	
	2 éves	3 éves	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti D _h /K _d átlagainak különbsége [%]	8,12	14,48	15,86	11,60
2 éves ill. 3 éves minták Dh/Kd átlagainak különbsége [%]	-4,60		-0,10	

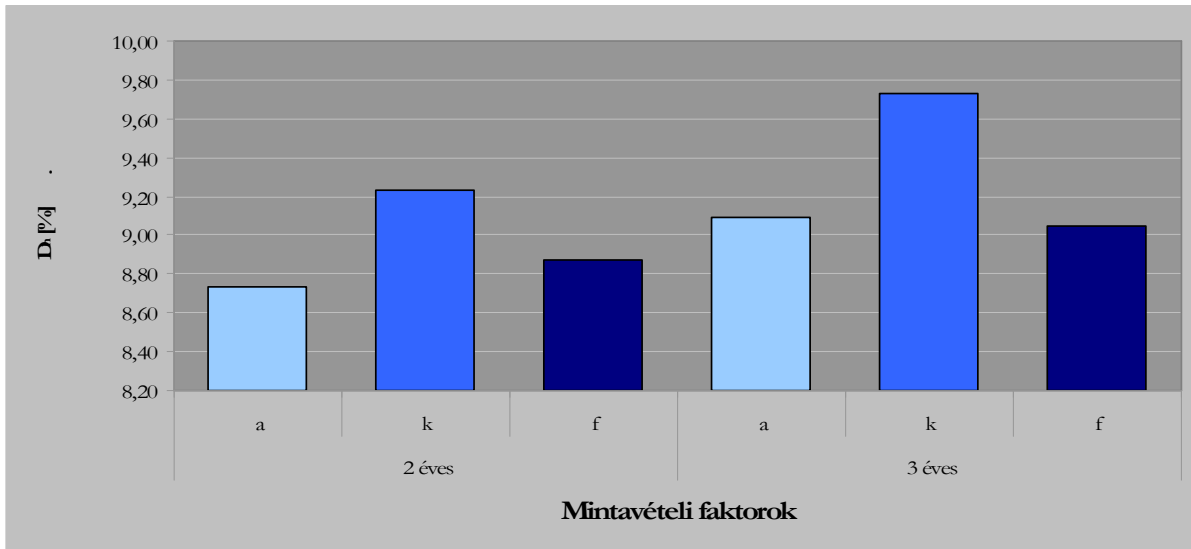
A **zempléni** minta átlagos D_h és K_d értékei közötti különbségek, érlelési idő tekintetében minimálisnak mondhatók. (D_h = -4,6%, míg K_d = -0,1%) (**38. táblázat**). Mindkét tényezőnél tapasztalt, rakatszintek közötti maximális különbség (D_h esetén 8,12–14,48%, míg K_d-nál 11,6–15,86%) a fafajra jellemző irodalmi értékek szórásértékén belül van, tehát az időjárás szintenkénti degradáló hatása, vagyis a rakatszintek között nincs szignifikáns különbség.

Az **észak-amerikai** terület (10T2A, 10T2K, 10T2F, 10N2A, 10N2K, 10N2F, 10T3A, 10T3K, 10T3F, 10N3A, 10N3K, 10N3F) mintavételi helyekről vizsgált 256 db próbatest értékei, D_h = 5,06–13,07 [%], míg K_d = 0,15–0,28 között változtak (**39. táblázat**).

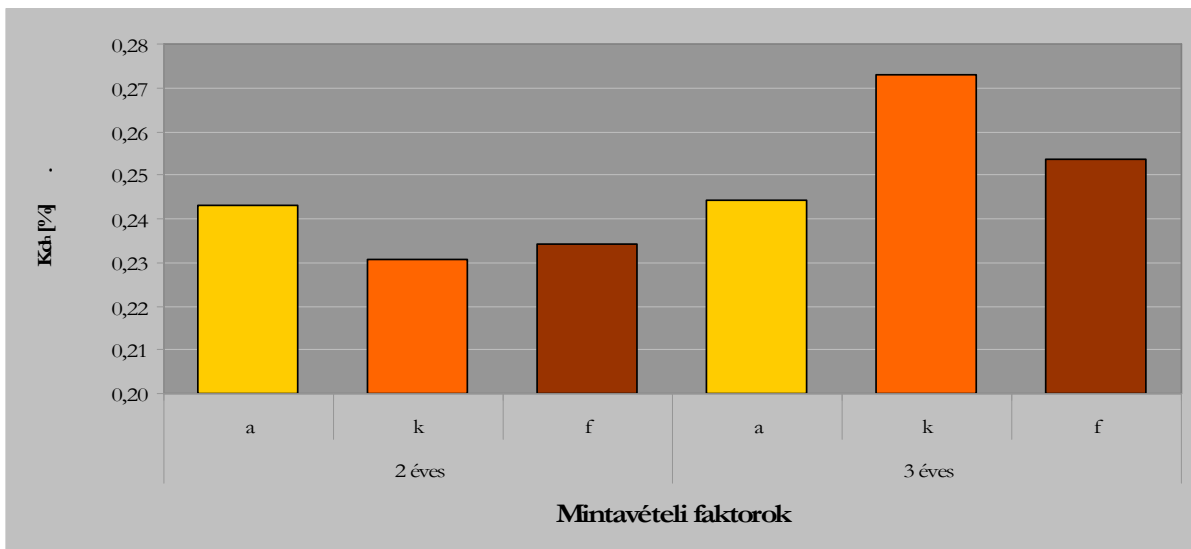
39. táblázat – Hűr irányú dagadási jellemzők (Amerika 10)

származás	Amerika											
	Hűr irányú dagadás D _h [%]						Dagadási együttható K _d					
	2 éves			3 éves			2 éves			3 éves		
érlelés	a	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f
hely												
átlag	8,73	9,23	8,88	9,10	9,73	9,05	0,24	0,23	0,23	0,24	0,27	0,25
rakat átlag	8,9456			9,2903			0,2359			0,2570		
szárm. átlag	9,1072						0,2461					
szórás	0,61	0,80	0,70	1,63	1,65	1,68	0,02	0,03	0,02	0,04	0,04	0,05
minimum	7,32	6,20	7,46	5,06	7,02	5,47	0,21	0,16	0,19	0,14	0,22	0,15
maximum	9,93	10,33	10,17	12,91	13,07	12,21	0,28	0,28	0,28	0,34	0,35	0,36
Var.%	7,00%	8,64%	7,83%	17,95%	16,92%	18,56%	6,25%	11,73%	8,97%	16,22%	14,37%	20,66%

A rakatszintek és érlelési idők közötti különbségeket a **43–44-es ábrák** mutatják.



43. ábra – Az amerikai származású minták hűrirányú dagadása [%] az érlelési idő és rakatszint függvényében



44. ábra – A amerikai származású minták dagadási együtthatója az érlelési idő és rakatszint függvényében

Az érlelési időn belüli, érlelési idők közötti maximális eltérést mind hűrirányú dagadás- mind dagadási együttható esetén a **40. táblázat** szemlélteti.

40. táblázat –

Húr irányú dagadási jellemzők faktorainak származáson belüli átlagkülönbsége (Amerika) [%]

Amerika (10) érlelés	D_h [%]		K_d [%]	
	2 éves	3 éves	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti D_h/K_d átlagainak különbsége [%]	5,35	7,04	-5,39	10,61
2 éves ill. 3 éves minták D_h/K_d átlagainak különbsége [%]	3,71		8,21	

Az **amerikai** minta átlagos D_h és K_d értékei közötti különbségek, érlelési idő tekintetében minimálisnak mondhatók. ($D_h = 3,71\%$, míg $K_d = 8,21\%$) (**40. táblázat**). Mindkét tényezőnél tapasztalt, rakatszintek közötti maximális különbség (D_h esetén $5,35-7,04\%$, míg K_d -nál $-5,39-10,61\%$) a fafajra jellemző irodalmi értékek szórásértékén belül van, tehát az időjárás szintenkénti degradáló hatása, vagyis a rakatszintek között nincs szignifikáns különbség.

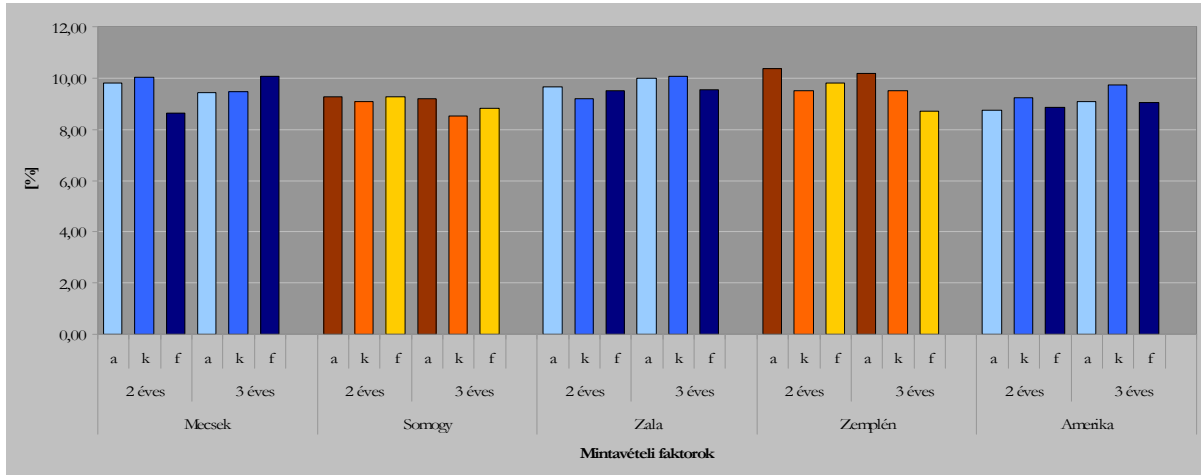
Összegzésként megállapítható, hogy a mérési eredményeim eltérnek az az irodalmakban fellelhető kocsánytalan tölgyekre vonatkozó D_h és K_{dh} értékektől. A származási helyek átlagos húr irányú dagadási jellemzőinek leíró statisztikai értékelését az **41. táblázat** mutatja:

41. táblázat – Származási helyek szerint összegzett D_h és K_{dh} értékek

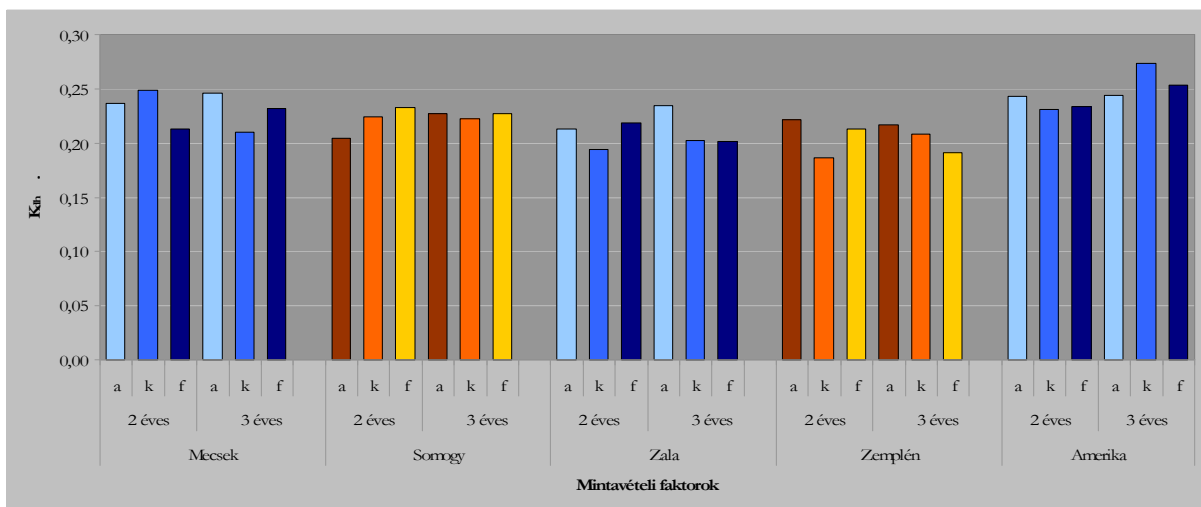
	Húr irányú dagadás D_h [%]	Húrirányú dagadási együttható K_{dh}
Mecsek	9,53	0,230
Somogy	9,01	0,224
Zala	9,68	0,211
Zemplén	9,68	0,216
Magyar kt. tölgy	9,47	0,217
szórás	1,01	0,035
minimum	3,87	0,030
maximum	11,99	0,341
var. koeff.	10,71%	16,15%
Irodalmi érték	7,80	0,29
		(MOLNÁR, 1999)
	Húr irányú dagadás D_h [%]	Húrirányú dagadási együttható K_{dh}
Amerikai f. tölgy	9,11	0,246
szórás	1,28	0,037
minimum	5,06	0,142
maximum	13,07	0,359
var. koeff.	14,07%	15,01%
Irodalmi érték	6,7...9,8...10,8	0,23
		(WAGENFÜHR, 1996)

A magyar mintákon mért D_h értékek az összes származás tekintetében meghaladták az irodalmi értéket. A nagy mintaszám, illetve próbatestek tökéletes anatómiai kialakítása miatt megfontolandó a jelenleg elfogadott irodalmi értékek újragondolása, vagy magyarországi adatokkal való kiegészítése. Az amerikai próbatestek átlagértékei is mutatnak eltérést irodalmi amerikai fehér tölgyre vonatkozó átlagos értéktől. Ennek oka valószínűleg az, hogy a vizsgált tételek egy szállítmányból származnak, tehát a kivágásuk is feltehetőleg egy szűk területen történt. A rakatokból történt mintavételek magas száma ellenére sem beszélhetünk így homogén mintáról, és eredményeink, az amerikai fehér tölgy fafajra vonatkozólag sem tekinthetők homogénnek.

Az **összes** származási helyen mért dagadási jellemzőket az **45-46. ábra** szemlélteti.



45. ábra – Húr irányú dagadás, a származási hely, érlelési idő és a rakatban elfoglalt szint függvényében



46. ábra – Húr irányú dagadási együttható, a származási hely, érlelési idő és a rakatban elfoglalt szint függvényében

A leíró statisztika alapján, a mérési eredmények ismeretében általánosan elmondható, hogy származásonként a rakaton belüli betárolási szintek (alsó–középső–felső) között, húr irányú dagadás tekintetében különbségeket tapasztaltam. A rakaton belüli, a szabadlevegős dongaérlelés miatt feltételezett időjárás okozta degradáló hatások, a szintenkénti átlag értékeket változóan befolyásolják. A felső mintavételi helyeken nem minden esetben kaptam alacsonyabb dagadási értéket, tehát az inhomogén szerkezet, a degradáció illetve a vízdoldható alkotók csapadék vagy locsolás általi kioldódása a húr irányú dagadási jellemzőkre nincsenek egyértelmű hatással.

A 2, illetve 3 évig érlelt anyagok D_n értékei között elhanyagolható, $(-4,6)$ – $(+4,28)\%$ a különbség, mely a húr irányú dagadási együttható tekintetében $(-0,88)$ – $(+8,21)\%$. A kismérvű eltérés oka a faanyagok inhomogenitásában illetve a mérési pontatlanságban keresendő.

A származási helyek között a vizsgált dagadási jellemzők tekintetében a különbség minimális.

A dagadási jellemzők statisztikai varianciaanalízis vizsgálatát a XVI–XIX. sz. mellékletek tartalmazzák.

A húr irányú dagadás statisztikai varianciaanalízis vizsgálata a származási illetve rakatszint faktorok tekintetében, 95%-os megbízhatósági szinten, szignifikáns különbséget mutat.

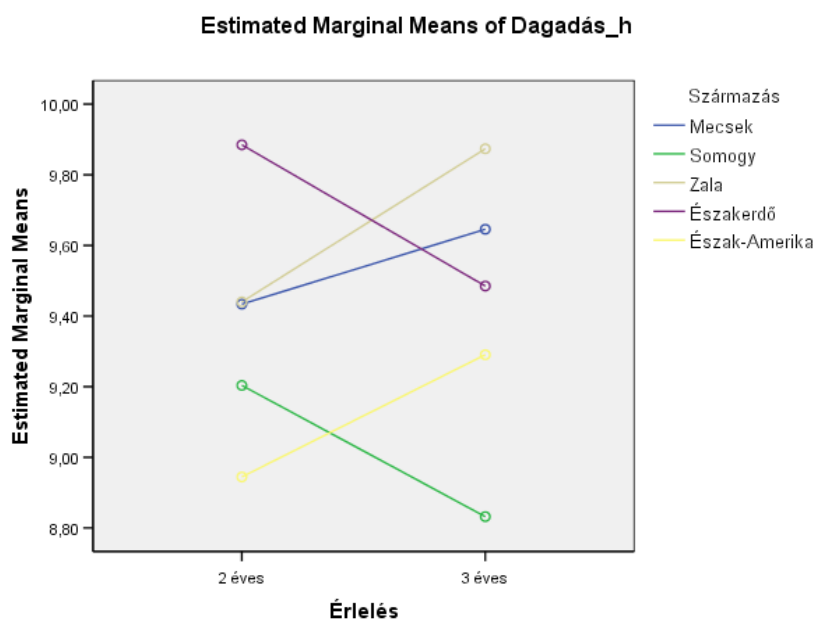
Homogén átlagok részhalmazainak vizsgálatokor a Duncan teszttel, a származás tekintetében egymástól szignifikánsan eltérő két csoportot mutattam ki (**42. táblázat**), mely szerint D_h tekintetében a magyar származási helyek közül az északkeleti, zala és mecsek termőhelyekről származó minták hasonlóak és külön csoportba sorolhatók. Ezen származások húr irányú dagadása a magasabb, míg a legalacsonyabb somogyi, vagy a vele egy csoportba sorolható amerikai minta értékei is hasonlóságot mutatnak..

42. táblázat – D_h értékek származás szerinti Duncan elemzése

Húr irányú dagadás / Származás

Duncan ^{a,b}		Megbízhatósági szint = 95%	
Származás	N	1	2
Somogy	264	9,0148	
Amerika	259	9,1075	
Mecsek	236		9,5303
Zala	248		9,6767
Északkeleti	262		9,6798
	Sig.	0,32	0,130

Az egyes származásokon belül az elemzés eredményeképpen megállapítottam, hogy a dongafrízek kitérési/érlelési ideje és a faanyag dagadási értékei között nincs jelentős különbség, de a származások különböző tendenciát mutatnak. (**47 ábra**).



47. ábra – Az érlelési idő és a dagadási jellemzők kapcsolata

A homogén átlagok részhalmazainak vizsgálatokor rakatszintek tekintetében három független adatszoport mutatható ki (**43. táblázat**). Miszerint az összes vizsgált próbatest figyelembevételével a betárolási szintek (rakaton belül Alsó, Középső, Felső) szerint a próbatestek húr irányú dagadásának mértéke elkülönül.

43. táblázat – Q_{12} értékek rakatszintek szerinti Duncan elemzése

Húr irányú dagadás / Rakatszint

Duncan ^{a,b}

Származás	N	Megbízhatósági szint = 95%		
		1	2	3
Felső szint	425	9,2092		
Középső szint	431		9,4146	
Alsó szint	413			9,5695
	Sig.	1,000	1,000	1,000

Tehát a vizsgált méretváltozási hajlam a felső rakatolási szinten a legalacsonyabb, míg az alsó szinten mértem a legmagasabb értékeket.

4.1.3.2 Sugár irányú dagadás

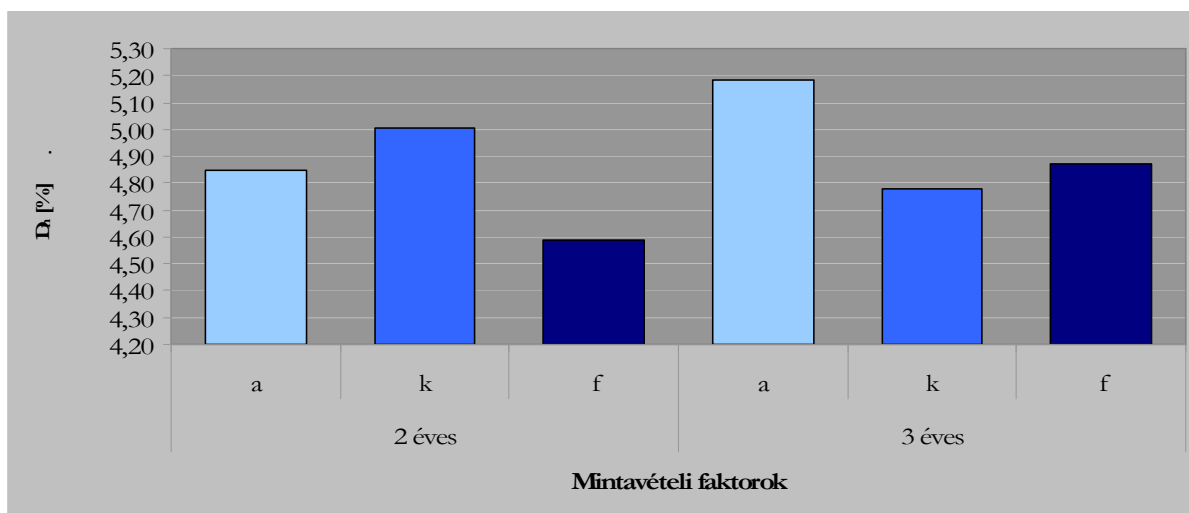
A vizsgált faanyagok részletes méretváltozási eredményeit a VII–VIII. sz. melléklet, míg a statisztikai értékelést a XVI–XIX. sz. mellékletek tartalmazzák.

A vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a **Mecseki** (01T2A, 01T2K, 01T2F, 01N2A, 01N2K, 01N2F, 01T3A, 01T3K, 01T3F, 01N3A, 01N3K, 01N3F) mintavételi helyekről vizsgált próbatestek értékei, $D_s = 3,28-9,22$ [%], míg $K_{ds} = 0,07-0,21$ között változtak (**44. táblázat**).

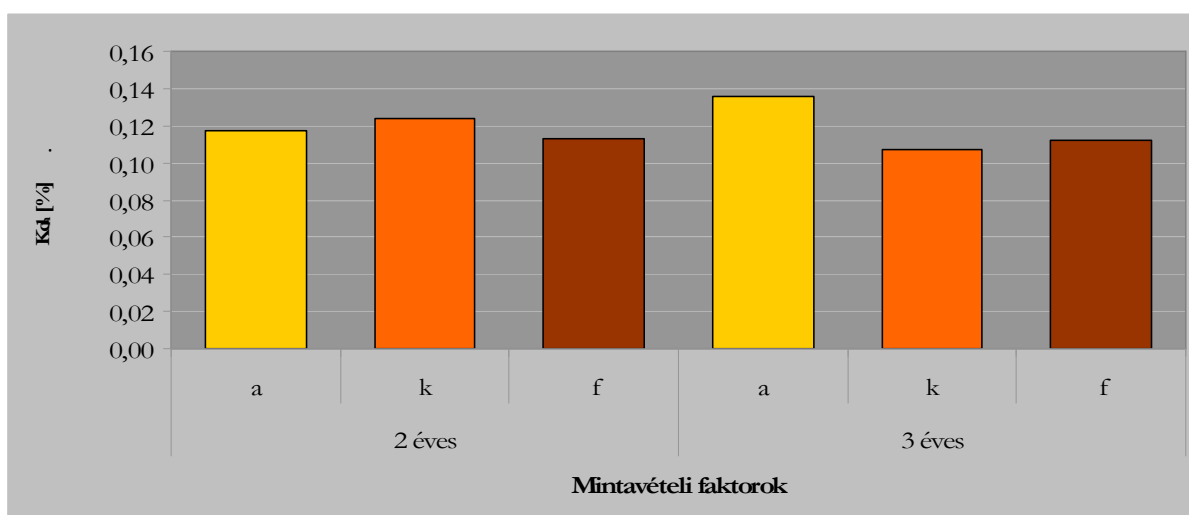
44. táblázat – Sugár irányú dagadási jellemzők (Mecsek 01)

származás	Mecsek						Mecsek					
	Sugár irányú dagadás D_s [%]						Sugár irányú dagadási együttható K_{ds}					
	2 éves			3 éves			2 éves			3 éves		
Érlelés	a	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f
Hely												
Átlag	4,85	5,00	4,59	5,18	4,78	4,87	0,12	0,12	0,11	0,14	0,11	0,11
rakat átlag	4,7936			4,9452			0,1178			0,1187		
szárm. átlag	4,8720						0,1183					
Szórás	0,58	1,06	0,62	0,67	0,78	0,74	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02
minimum	3,95	3,28	3,51	3,99	3,51	3,50	0,09	0,08	0,08	0,09	0,07	0,07
maximum	6,00	9,22	7,44	6,63	7,00	6,11	0,16	0,21	0,18	0,18	0,18	0,16
Var.%	11,98%	21,17%	13,44%	12,99%	16,31%	15,20%	18,53%	22,05%	15,38%	17,20%	26,92%	21,26%

A rakatszintek és érlelési idők közötti különbségeket a **48–49-es ábrák** mutatják.



48. ábra – A mecseki származású minták sugárirányú dagadása [%] az érlelési idő és rakatszint függvényében



49. ábra – A mecseki származású minták sugár irányú dagadási együtthatója az érlelési idő és rakatszint függvényében

Az érlelési időn belüli, érlelési idők közötti maximális eltérést, mind sugár irányú dagadás- mind sugár irányú dagadási együttható esetén a **45. táblázat** szemlélteti.

45. táblázat – Sugár irányú dagadási jellemzők származáson belüli átlagkülönbsége (Mecsek 01) [%]

Mecsek (01) Érlelés	D_s [%]		K_{ds}	
	2 éves	3 éves	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti D_s/K_{ds} átlagainak különbsége [%]	8,24	7,78	8,66	20,92
2 éves ill. 3 éves minták D_s/K_{ds} átlagainak különbsége [%]	3,07		0,75	

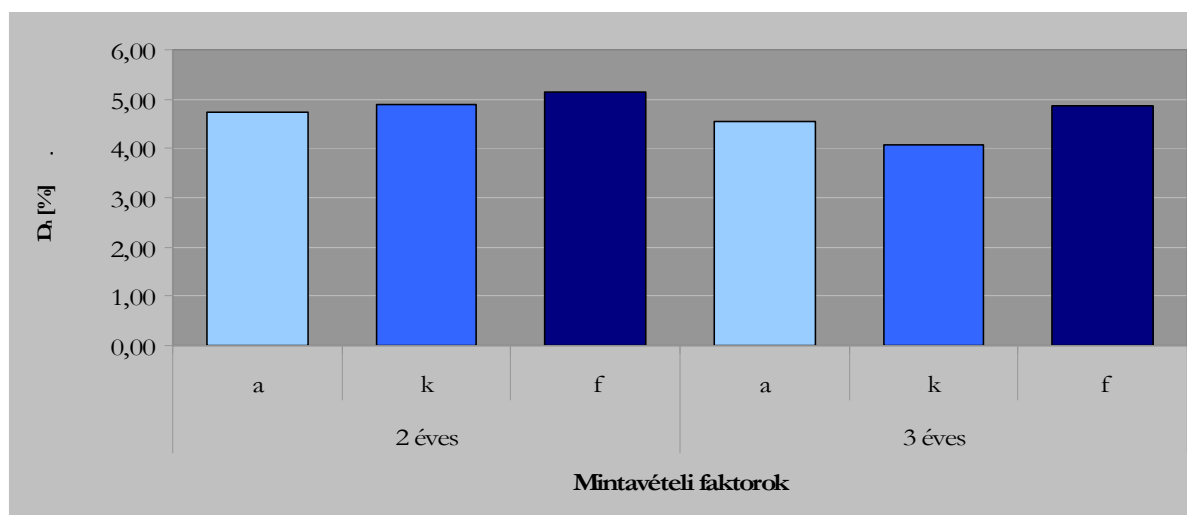
Az **mecseki** minta átlagos D_s és K_{ds} értékei közötti különbségek, érlelési idő tekintetében minimálisnak mondhatók. ($D_s = 3,07\%$, míg $K_s = 0,75\%$) (**45. táblázat**). Mindkét tényezőnél a rakatszintek közötti maximális különbség D_s esetén 7,78–8,24%, míg K_{ds} -nál 8,66–20,92% között változott.

A **somogyi** (04T2A, 04T2K, 04T2F, 04N2A, 04N2K, 04N2F, 04T3A, 04T3K, 04T3F, 04N3A, 04N3K, 04N3F) mintavételi helyekről vizsgált próbatestek értékei, $D_s = 3,14-8,73$ [%], míg $K_{ds} = 0,01-0,21$ között változtak (**46. táblázat**).

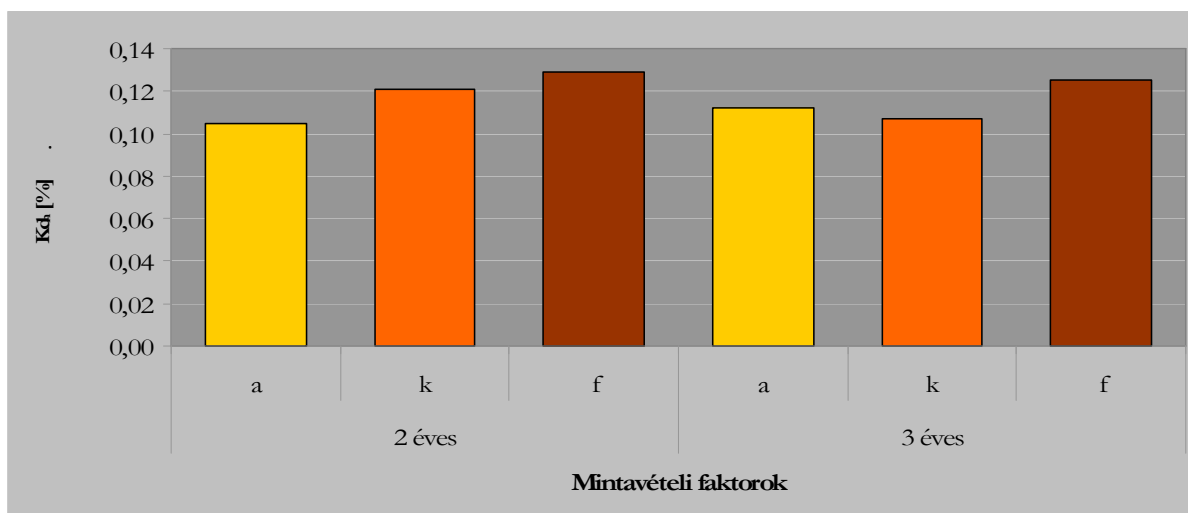
46. táblázat – Sugár irányú dagadási jellemzők (Somogy 04)

származás	Somogy											
	Sugár irányú dagadás D_s [%]						Sugár irányú dagadási együttható K_{ds}					
Érlelés	2 éves			3 éves			2 éves			3 éves		
Hely	a	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f
Átlag	4,73	4,89	5,16	4,55	4,07	4,86	0,11	0,12	0,13	0,11	0,11	0,13
rakat átlag	4,9328			4,4745			0,1189			0,1144		
szárm. átlag	4,6897						0,1165					
Szórás	0,75	0,97	0,38	0,58	0,72	0,51	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02
minimum	3,87	3,85	4,38	3,18	3,14	3,80	0,08	0,08	0,10	0,06	0,01	0,09
maximum	8,34	8,73	6,10	5,74	5,93	5,93	0,21	0,21	0,18	0,16	0,17	0,20
Var. %	15,81%	19,90%	7,40%	12,84%	17,60%	10,48%	24,23%	24,50%	12,78%	18,54%	25,25%	16,66%

A rakatszintek és érlelési idők közötti különbségeket a **50–51-es ábrák** mutatják.



50. ábra – Az somogyi származású mintákon mért sugárirányú dagadás [%] az érlelési idők és rakatszintek függvényében



51. ábra – A somogyi származású minták sugár irányú dagadási együtthatója az érlelési idő és rakatszint függvényében

Az érlelési időn belüli, érlelési idők közötti maximális eltérést mind sugár irányú dagadás- mind sugár irányú dagadási együttható esetén a **47. táblázat** mutatja.

47. táblázat – Sugár irányú dagadási jellemzők származáson belüli átlagkülönbsége (Somogy 04) [%]

Somogy (04) Érlelés	D _s [%]		K _{ds}	
	2 éves	3 éves	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti D _s /K _{ds} átlagainak különbsége [%]	8,34	16,17	18,75	14,55
2 éves ill. 3 éves minták D _s /K _{ds} átlagainak különbsége [%]	-10,24		-3,95	

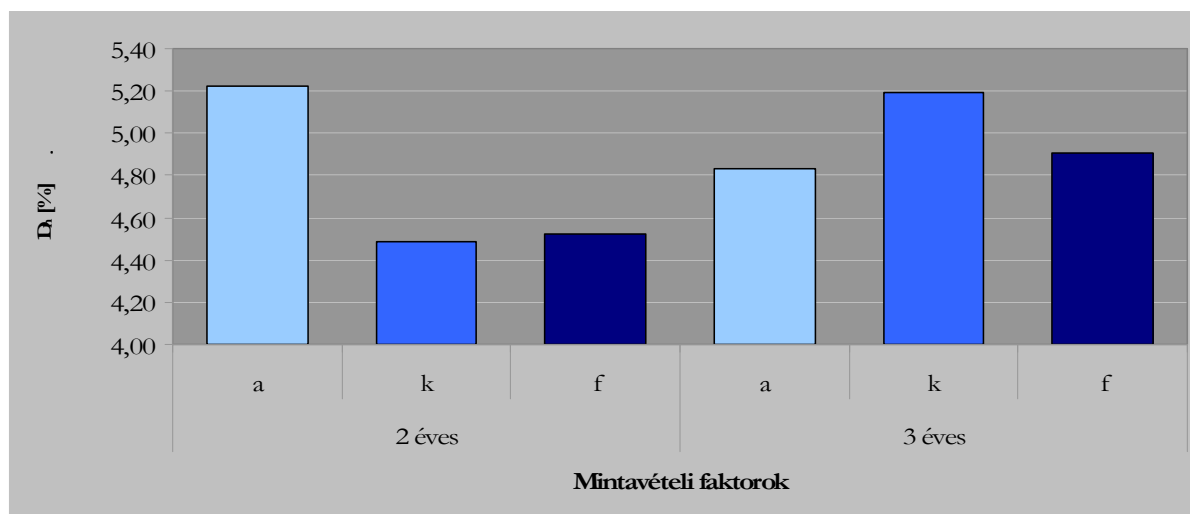
Az **somogyi** területekről származó minta átlagos D_s és K_{ds} értékei közötti különbségek is, az érlelési idő tekintetében minimális eltérést mutatnak, (D_s = -10,24%, míg K_s = -3,95%). (**47. táblázat**). A rakatszintek közötti maximális különbség a vizsgált tényezőknél D_s esetén 8,34–16,17%, míg K_d-nál 14,55–18,75% között változott.

A **zalai** (05T2A, 05T2K, 05T2F, 05N2A, 05N2K, 05N2F, 05T3A, 05T3K, 05T3F, 05N3A, 05N3K, 05N3F) mintavételi helyekről vizsgált próbatestek értékei, D_s = 2,97 – 6,94[%], míg K_{ds} = 0,01 – 0,12 között változtak (**48. táblázat**).

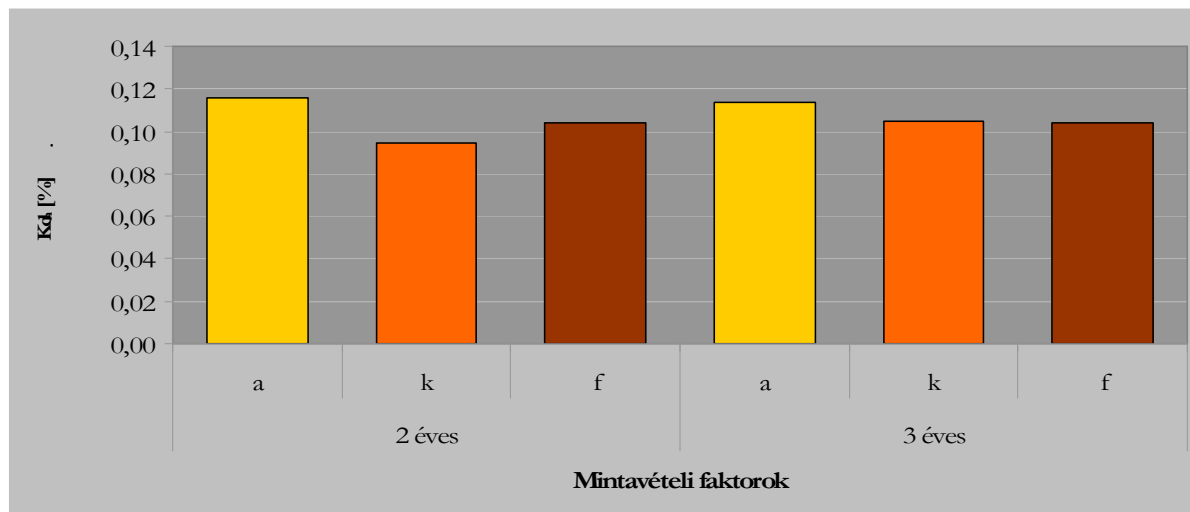
48. táblázat – Sugár irányú dagadási jellemzők (Zala 05)

származás	Zala											
	Sugár irányú dagadás D _s [%]						Sugár irányú dagadási együttható K _{ds}					
Érlelés	2 éves			3 éves			2 éves			3 éves		
Hely	a	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f
Átlag	5,22	4,48	4,52	4,83	5,19	4,90	0,12	0,09	0,10	0,11	0,10	0,10
rakat átlag	4,7225			4,9782			0,1040			0,1073		
szárm. átlag	4,8607						0,1058					
Szórás	0,69	0,47	0,34	0,48	0,56	0,63	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
minimum	3,84	3,69	3,80	2,97	4,23	3,79	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07
maximum	6,21	5,54	5,18	5,85	6,94	6,11	0,15	0,12	0,17	0,15	0,15	0,15
Var. %	13,30%	10,44%	7,59%	10,01%	10,82%	12,75%	17,27%	11,75%	13,96%	14,08%	13,75%	19,89%

A rakatszintek és érlelési idők közötti különbségeket a **52–53-as ábrák** mutatják.



52. ábra – Az zalai származású mintákon mért sugárirányú dagadás [%] az érlelési idők és rakatszintek függvényében



53. ábra – A zalai származású minták sugár irányú dagadási együtthatója az érlelési idő és rakatszint függvényében

Az érlelési időn belüli, érlelési idők közötti maximális eltérést mind sugár irányú dagadás- mind sugár irányú dagadási együttható esetén a **49. táblázat** mutatja.

49. táblázat –

Sugár irányú dagadási jellemzők faktorainak származáson belüli átlagkülönbsége (Zala 05) [%]

Zala (05) Érlelés	D _s [%]		K _{ds}	
	2 éves	3 éves	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti D _s /K _{ds} átlagainak különbsége [%]	14,17	7,02	18,38	8,55
2 éves ill. 3 éves minták D _s /K _{ds} átlagainak különbsége [%]	5,14		3,09	

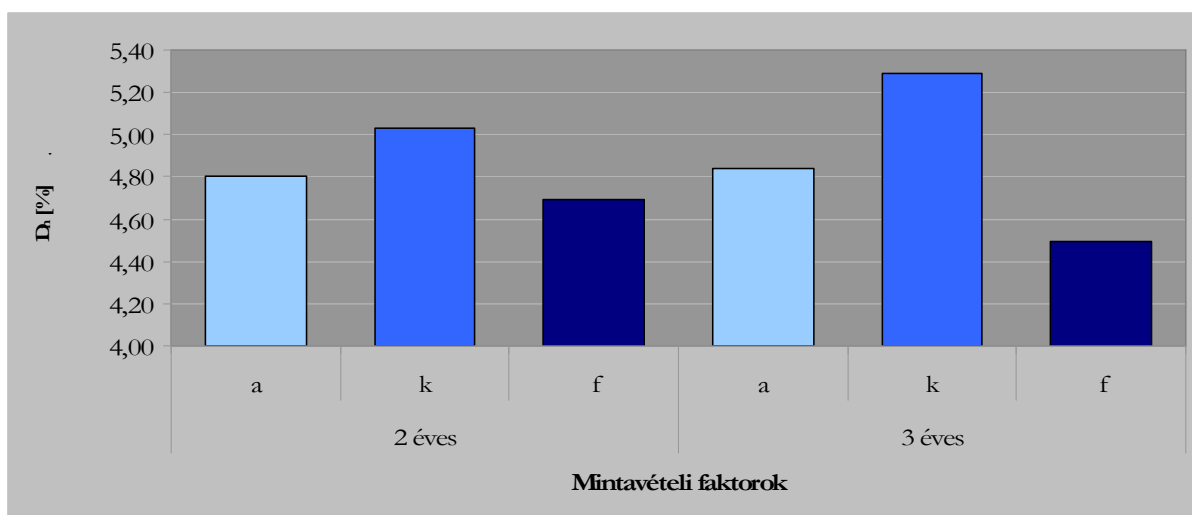
Az **zalai** területekről származó minta átlagos D_s és K_{ds} értékek az érlelési idő tekintetében minimális viszonyított eltérést mutatnak, (D_s = 5,14%, míg K_s = 3,09%). (**49. Táblázat**). A rakatszintek közötti maximális különbség a vizsgált tényezőknél D_s esetén 7,02–14,17%, míg K_{ds}-nál 8,55–18,38% között változott.

A **zempléni** (07T2A, 07T2K, 07T2F, 07N2A, 07N2K, 07N2F, 07T3A, 07T3K, 07T3F, 07N3A, 07N3K, 07N3F) mintavételi helyekről vizsgált próbatestek mérési eredményei, $D_s = 3,72-11,29[\%]$, míg $K_{ds} = 0,01-0,13$ között változtak (**50. táblázat**).

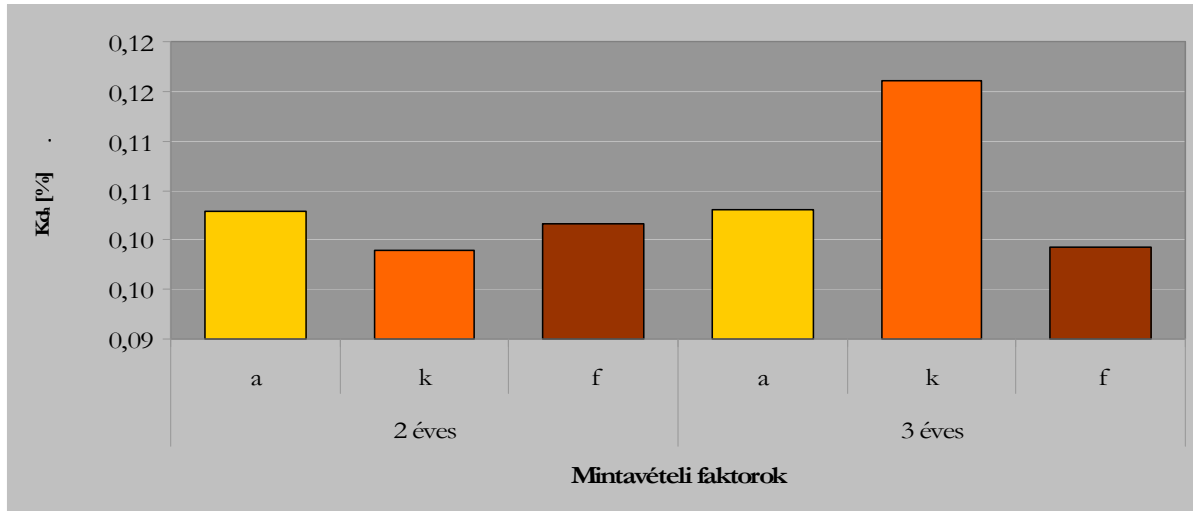
50. táblázat – Sugár irányú dagadási jellemzők (Zemplén 07)

származás	Zemplén											
	Sugár irányú dagadás D_s [%]						Sugár irányú dagadási együttható K_{ds}					
Érlelés	2 éves			3 éves			2 éves			3 éves		
Hely	a	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f
Átlag	4,80	5,03	4,69	4,84	5,29	4,50	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12	0,10
rakat átlag	4,8454			4,8900			0,1011			0,1064		
szárm. átlag	4,8686						0,1038					
Szórás	0,49	0,60	0,52	0,87	1,31	0,39	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01
minimum	3,91	3,74	3,75	3,99	3,80	3,72	0,08	0,07	0,08	0,06	0,08	0,08
maximum	5,92	6,05	6,21	9,03	11,29	5,37	0,14	0,13	0,14	0,19	0,24	0,14
Var.%	10,13%	11,85%	11,13%	17,91%	24,82%	8,61%	16,17%	16,00%	15,51%	18,44%	26,81%	13,44%

A rakatszintek és érlelési idők közötti különbségeket a **54–55-ös ábrák** mutatják.



54. ábra – A zempléni származású mintákon mért sugárirányú dagadás [%] az érlelési idők és rakatszintek függvényében



55. ábra – A zempléni származású minták sugár irányú dagadási együtthatója az érlelési idő és rakatszint függvényében

Az érlelési időn belüli, érlelési idők közötti maximális eltérést mind sugár irányú dagadás- mind sugár irányú dagadási együttható esetén a **51. táblázat** mutatja.

51. táblázat – Sugár irányú dagadási jellemzők származáson belüli átlagkülönbsége (Zemplén 07) [%]

Zemplén (07) Érlelés	D _s [%]		K _{ds}	
	2 éves	3 éves	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti D _s és K _{ds} átlagainak különbsége [%]	6,74	15,04	3,82	14,48
2 éves ill. 3 éves minták D _s és K _{ds} átlagainak különbsége [%]	0,91		4,95	

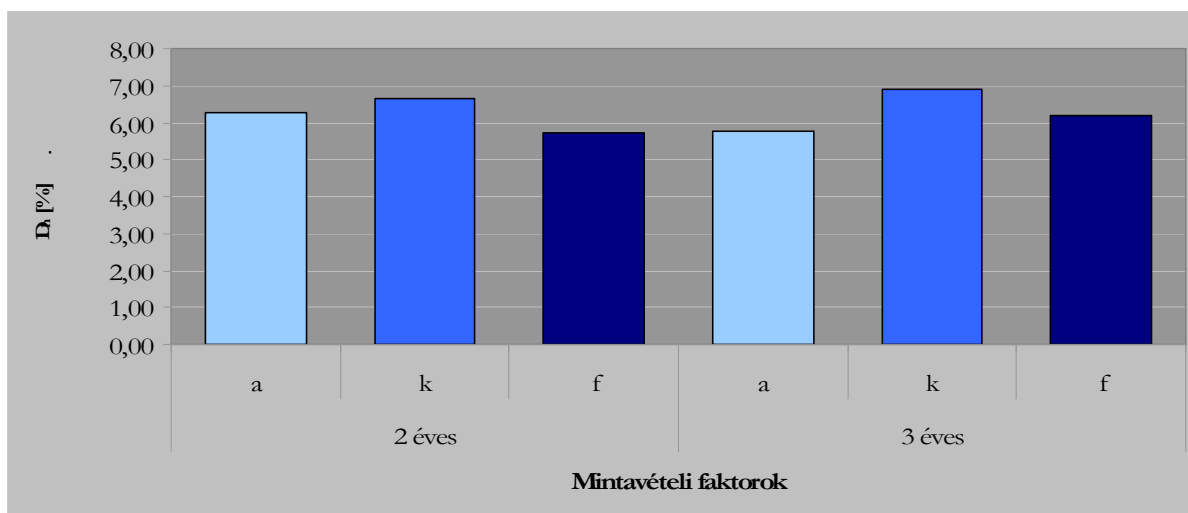
Az **zempléni** területekről származó minta átlagos D_s és K_{ds} értékek az érlelési idő tekintetében minimális viszonyított eltérést mutatnak, (D_s = 0,91%, míg K_s = 4,95%). (**51. Táblázat**). A rakatszintek közötti maximális különbség a vizsgált tényezőknél D_s esetén 6,74–15,04%, míg K_{ds}-nál 3,82–14,48% között változott.

Az **Észak-amerikai** (10T2A, 10T2K, 10T2F, 10N2A, 10N2K, 10N2F, 10T3A, 10T3K, 10T3F, 10N3A, 10N3K, 10N3F) mintavételi helyekről vizsgált próbatetek mérési eredményei, D_s = 4,07–9,53[%], míg K_{ds} = 0,02–0,14 között változtak (**52. táblázat**).

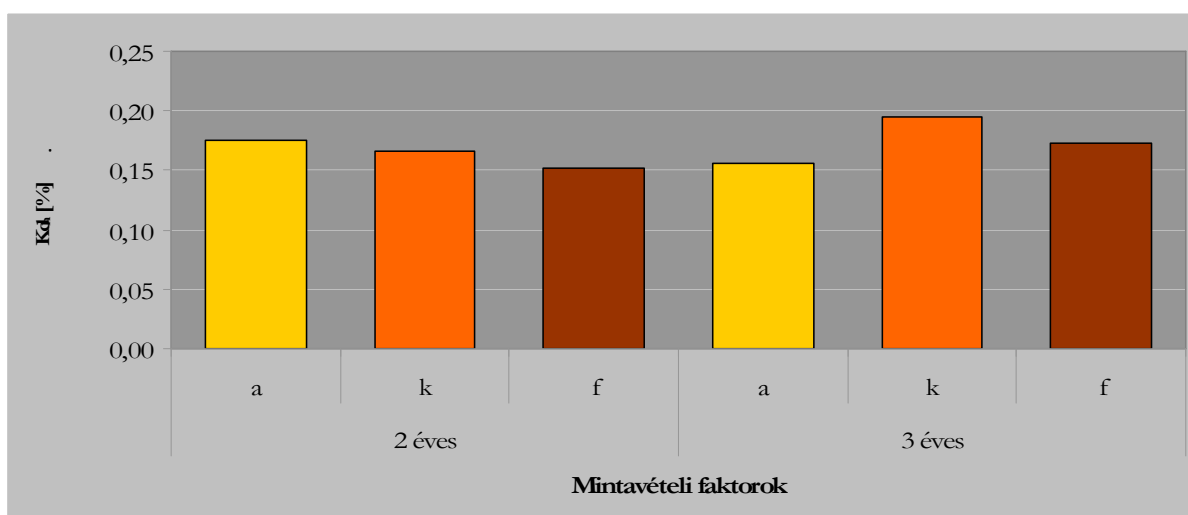
52. táblázat – Sugár irányú dagadási jellemzők (Amerika 10)

származás	Amerika											
	Sugár irányú dagadás D _s [%]						Sugár irányú dagadási együttható K _{ds}					
	2 éves			3 éves			2 éves			3 éves		
Érlelés	A	k	f	a	k	f	a	k	f	a	k	f
Hely												
Átlag	6,26	6,65	5,72	5,78	6,89	6,19	0,18	0,17	0,15	0,16	0,19	0,17
rakat átlag	6,1857			6,2854			0,1639			0,1747		
szárm. átlag	6,2338						0,1691					
Szórás	0,92	1,12	0,95	1,00	0,73	1,18	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04
minimum	4,17	5,15	4,32	4,12	5,49	4,07	0,12	0,13	0,11	0,12	0,14	0,11
maximum	8,20	9,53	9,19	9,38	8,55	8,78	0,25	0,26	0,25	0,28	0,26	0,25
Var.%	14,65%	16,81%	16,58%	17,38%	10,57%	19,10%	18,18%	20,30%	19,31%	19,93%	12,65%	20,68%

A rakatszintek és érlelési idők közötti különbségeket az **56–57-es ábrákon** szemléltetem.



56. ábra – Az amerikai származású mintákon mért sugárirányú dagadás [%] az érlelési idők és rakatszintek függvényében



57. ábra – Az amerikai származású minták sugár irányú dagadási együtthatója az érlelési idő és rakatszint függvényében

Az érlelési időn belüli, érlelési idők közötti maximális eltérést mind sugár irányú dagadás- mind sugár irányú dagadási együttható esetén az **53. táblázat** mutatja

53. táblázat – Sugár irányú dagadási jellemzők származáson belüli átlagkülönbsége (Amerika 10) [%]

Amerika (10) Érlelés	D _s [%]		K _{ds}	
	2 éves	3 éves	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti D _s /K _{ds} átlagainak különbsége [%]	14,09	16,15	13,84	19,91
2 éves ill. 3 éves minták D _s /K _{ds} átlagainak különbsége [%]	1,59		6,21	

Az **amerikai** területekről származó minta átlagos D_s és K_{ds} értékek az érlelési idő tekintetében minimális viszonyított eltérést mutatnak, (D_s = 1,59%, míg K_s = 6,21%). (**53. táblázat**). A rakatszintek közötti maximális különbség a vizsgált tényezőknél D_s esetén 14,09–16,15%, míg K_{ds}-nál 13,84–19,91% között változott.

Összegzésként megállapítható, hogy a mérési eredményeim kis mértékben eltérnek az irodalmakban fellelhető kocsánytalan tölgyekre vonatkozó D_s és K_{ds} értékektől. A származási helyek átlagos sugár irányú dagadási jellemzőinek leíró statisztikai értékelését az **54. táblázat** mutatja:

54. táblázat – Származási helyek szerint összegzett D_s és K_{ds} értékek

	Sugár irányú dagadás D_s [%]	Sugár irányú dagadási együttható K_{ds}
Mecsek	4,87	0,118
Somogy	4,69	0,117
Zala	4,86	0,106
Zemplén	4,87	0,104
Magyar kt. tölgy	4,8207	0,1110
Szórás	0,744499032	0,023312673
Mínimum	2,96816527	0,01292271
Maximum	11,28554177	0,23795329
var. koeff.	15,44%	21,00%

Irodalmi érték	4,0	0,19
----------------	------------	-------------

(MOLNÁR, 1999)

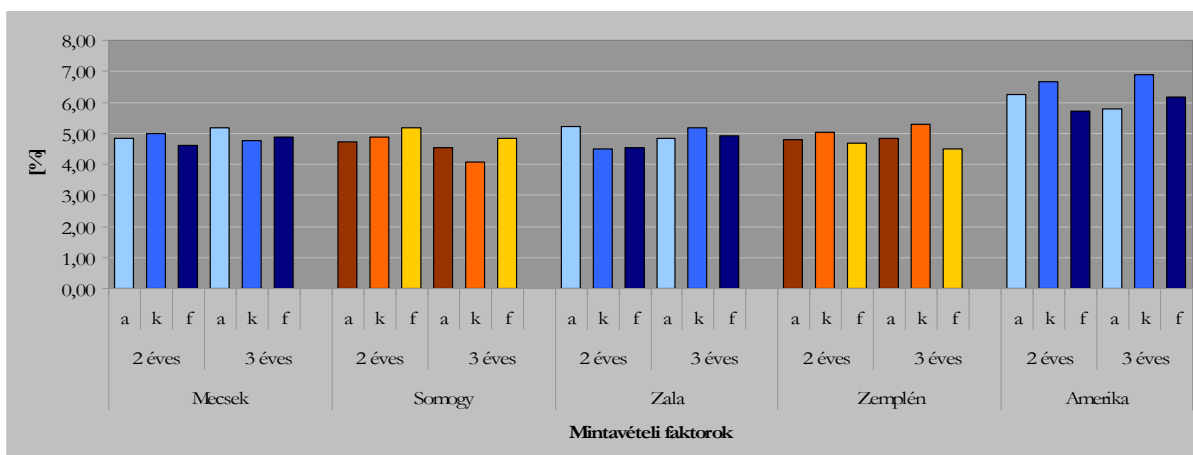
	Sugár irányú dagadás D_s [%]	Sugár irányú dagadási együttható K_{ds}
Amerikai f. tölgy	6,2338	0,1691
Szórás	1,072901752	0,034098944
Mínimum	4,06884151	0,11093882
Maximum	9,52582333	0,27628928
var. koeff.	17,21%	20,16%

Irodalmi érték	4,5...5,5...8,5	n. a.
----------------	-----------------	--------------

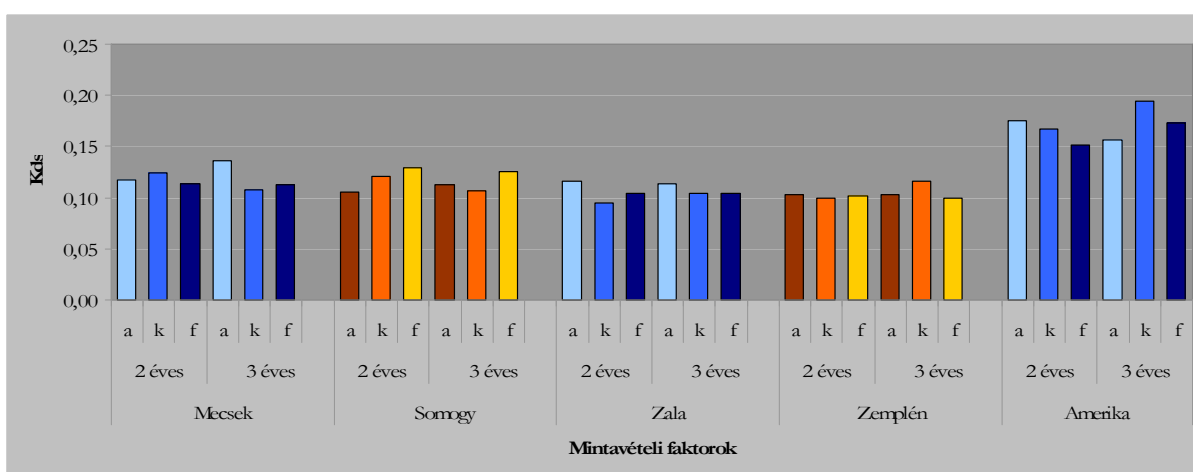
(WAGENFÜHR, 1996)

A magyar mintákon mért D_s értékek az összes származás tekintetében meghaladták az irodalmi értéket. A nagy mintaszám, illetve próbatestek tökéletes anatómiai kialakítása miatt mérés mérvadónak tekinthető. Ennek nyomán megfontolandó a jelenleg elfogadott irodalmi értékek újragondolása, vagy magyarországi adatokkal való kiegészítése. Az amerikai próbatestek átlagértékei is mutatnak eltérést irodalmi amerikai fehér tölgyre vonatkozó átlagos értéktől. Ennek oka valószínűleg az, hogy a vizsgált tételek egy szállítmányból származnak, tehát a kivágásuk is feltehetőleg egy szűk területen történt. A rakatokból történt mintavételek magas száma ellenére sem beszélhetünk így homogén mintáról, és eredményeink, az amerikai fehér tölgy fafajra vonatkozólag sem tekinthetők homogénnek.

Az **összes** származási helyen mért sugár irányú dagadási jellemzőt az **58-59. ábra** szemlélteti.



58. ábra – Származási hely, érlelési idő és a rakatban elfoglalt szint szerinti sugár irányú dagadás [%]



59. ábra – Származási hely, érlelési idő és a rakatban elfoglalt szint szerinti sugár irányú dagadási együttható

A leíró statisztika alapján, a mérési eredmények ismeretében általánosan elmondható, hogy származásonként a rakaton belüli betárolási szintek (alsó-középső-felső) között, sugár irányú dagadás tekintetében különbségek vannak. A rakaton belüli, a szabadlevegős dongaérlelés miatt feltételezett időjárás okozta degradáló hatások, a szintenkénti átlag értékeket azonban változóan befolyásolják. A felső mintavételi helyeken nem minden esetben kaptam alacsonyabb dagadási értéket, tehát az inhomogén szerkezet, a degradáció illetve a vízzeloldható alkotók csapadék vagy locsolás általi kioldódása a sugár irányú dagadási jellemzőkre nincsenek egyértelmű hatással.

A 2, illetve 3 évig érlelt anyagok D_s értékei között elhanyagolható, $(-10,24) - (+5,14)\%$ a különbség, mely a sugár irányú dagadási együttható tekintetében $(-3,95) - (+6,21)\%$. A kismérvű eltérés oka inkább a faanyagok inhomogenitásában illetve a mérési pontatlanságban keresendő.

A sugárirányú dagadás statisztikai varianciaanalízis vizsgálata a származási illetve rakatszint faktorok tekintetében, (VII – VIII. sz. melléklet) 95%-os megbízhatósági szinten, szignifikáns különbséget mutat.

Homogén átlagok részhalmazainak vizsgálatokor a Duncan teszttel, a származás tekintetében egymástól szignifikánsan eltérő három csoportot mutattam ki (**55. táblázat**), mely szerint D_s tekintetében a magyar származási helyek közül az északkeleti, zala és mecsek termőhelyekről származó minták hasonlóak és külön csoportba sorolhatók. Ezen származások

sugár irányú dagadása az egész mintára nézve közepes, míg a legalacsonyabb értékeket somogy, illetve a legmagasabbat az amerikai minta produkálta.

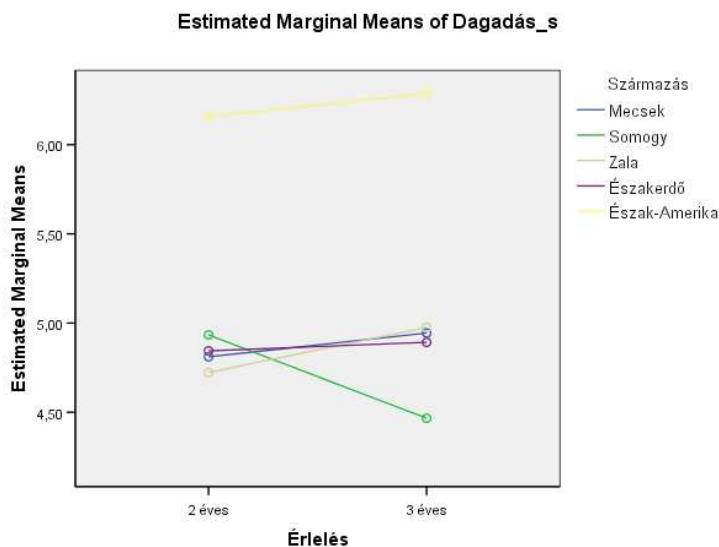
55. táblázat – D_s értékek származás szerinti Duncan elemzése

Sugár irányú dagadás / Származás

Duncan^{a,b}

Származás	N	Megbízhatósági szint = 95%		
		1	2	3
Somogy	264	4,6898		
Zala	248		4,8606	
Északerdő	262		4,8684	
Mecsek	236		4,8721	
Amerika	259			6,2341
Sig.		1,000	0,883	1,000

Az egyes származásokon belül az elemzés eredményeképpen megállapítottam, hogy a dongafrízek kitétségi/érlelési ideje és a faanyag dagadási értékei között nincs jelentős különbség. Mind mértékét, mind tendenciáját nézve a somogyi minta különbözősége szembetűnő (60. ábra).



60. ábra – Az érlelési idő és a sugár irányú dagadás kapcsolata

A homogén átlagok részhalmazainak vizsgálatokor rakatszintek tekintetében két független adatsort mutatható ki (56. táblázat). Miszerint az összes vizsgált próbatest figyelembevételével a betárolási szintek közül a felső és középső rakatszint szignifikánsan különbözik, míg az alsó szint mindkettővel átfedést mutat.

56. táblázat – D_s értékek rakatszint szerinti Duncan elemzése

Sugár irányú dagadás / Rakatszint

Duncan ^{a,b}

Származás	N	Megbízhatósági szint = 95%	
		1	2
Felső szint	425	5,0192	
Alsó szint	413	5,0968	5,0968
Középső szint	431		5,2097
	Sig.	0,259	0,100

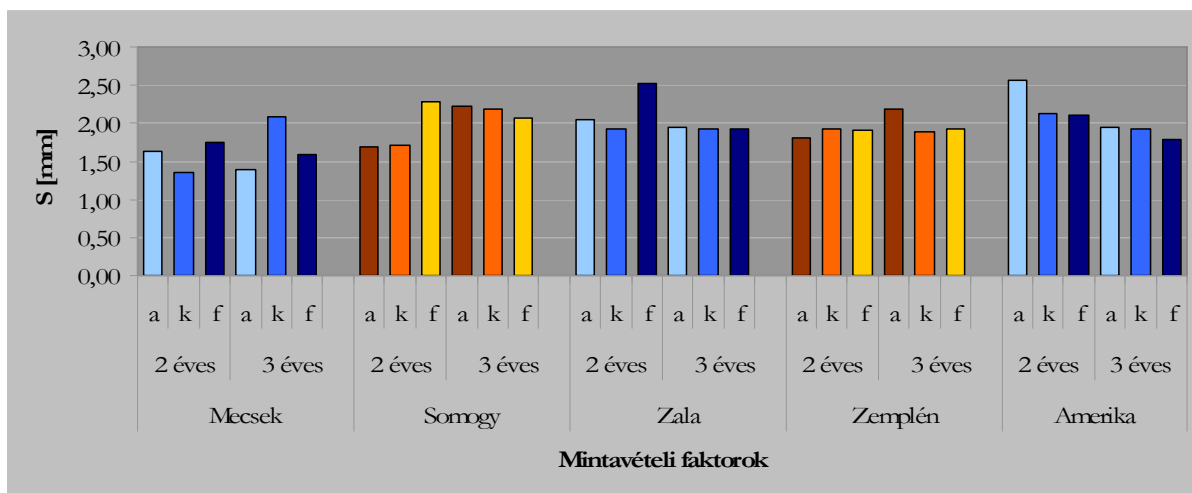
Tehát a sugár irányú méretváltozás tekintetében is a felső rakatolási szint a legkedvezőbb.

4.1.4 Évgyűrűelemzés

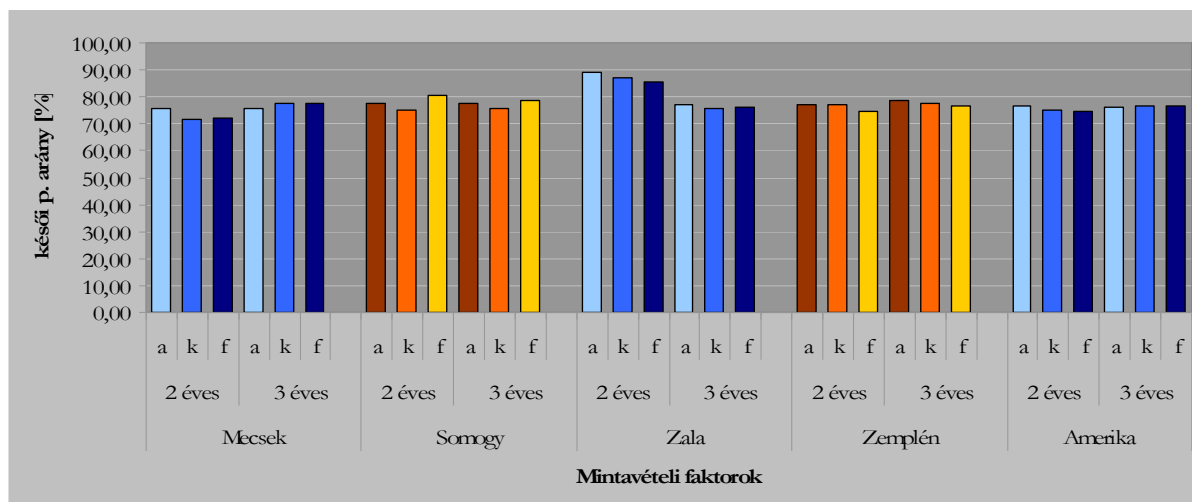
4.1.4.1 Átlagos évgyűrűszélesség és vonalas késői pászta arány

Az évgyűrűelemzéssel kapcsolatos részletes mérési eredményeket a X – XI. sz. melléklet, a statisztikai elemzést pedig az XVI – XIX. sz. mellékletek tartalmazzák.

A mérés a korábbi tulajdonságokkal megegyezően, a vizsgálati faktorok szerint történt.



61. ábra – Mintavételi helyek átlagos évgyűrűszélessége



62. ábra – Mintavételi helyek átlagos késői pászta aránya

Mivel az évgyűrűszerkezet és az évgyűrűk tulajdonságai, mint termőhelyi- és fajta sajátosság jelenik meg, ezért a származáson kívül minden egyéb faktor figyelmen kívül hagyható. A mért értékek elemzését a származási helyek összes átlagával végeztem el.

A mérési eredményeket az leíró statisztikai adatokkal az **57. táblázat** mutatja be.

57. táblázat – Az évgyűrűelemzés leíró statisztikai vizsgálata

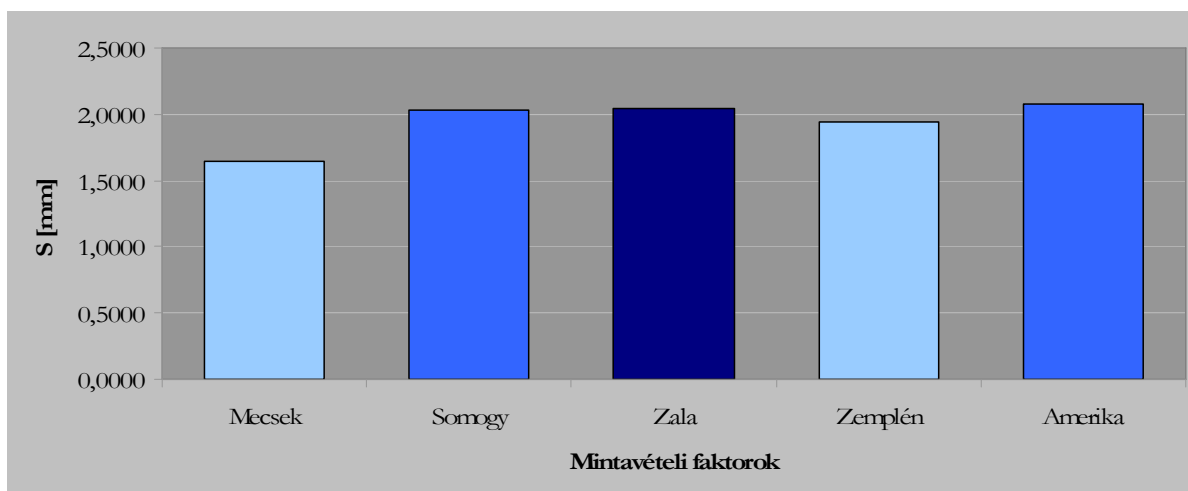
	Átlagos évgy. szél. S [mm]	Vonalas késői p. arány [%]
Mecsek	1,64	75,086
Somogy	2,03	77,468
Zala	2,04	81,269
Zemplén	1,94	76,987
Magyar kt. tölgy	1,9191	77,7194
szórás	0,530542906	5,645800619
minimum	0,69050000	54,74469439
maximum	3,77150000	92,21429393
var. koeff.	27,65%	7,26%

Irodalmi érték	n. a.	n. a.
-----------------------	--------------	--------------

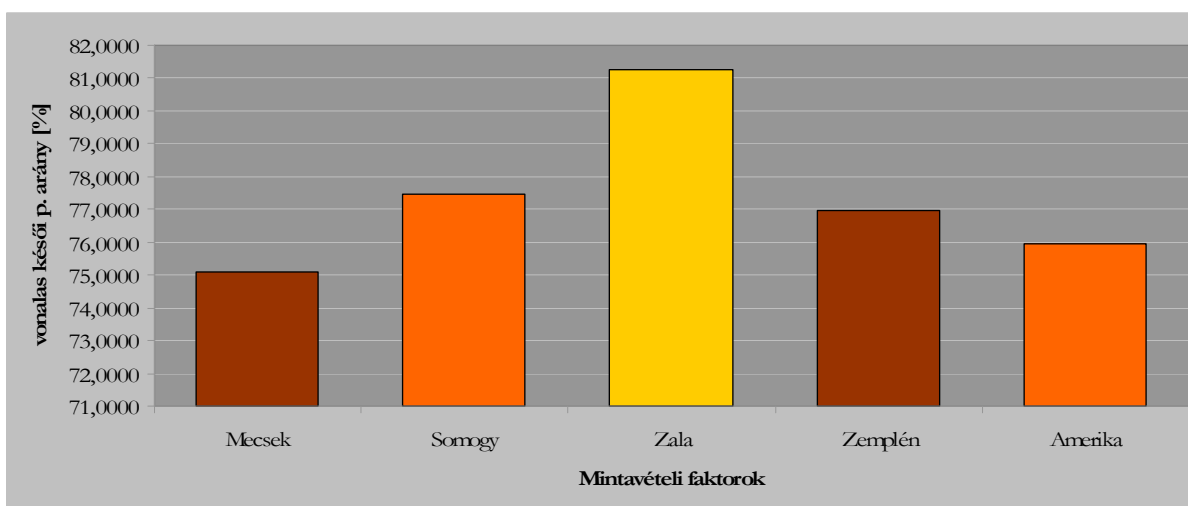
	Átlagos évgy. szél. S [mm]	Vonalas késői p. arány [%]
Amerikai f. tölgy	2,0772	75,9338
szórás	0,683120822	4,810894144
minimum	0,85059091	58,87484958
maximum	4,787333333	93,98206656
var. koeff.	32,89%	6,34%

Irodalmi érték	n. a.	n. a.
-----------------------	--------------	--------------

Az évgyűrűelemzés származási faktorok szerint mért átlagos értékeit a **63-64. ábra** mutatja.



63. ábra – Származási helyek szerint vett átlagos évgyűrűszélesség



64. ábra – Átlagos vonalas késői pászta arány a származási helyek függvényében

Statisztikai **varianciaanalízis** vizsgálat után elmondható, hogy az évgyűrűszélesség, illetve a vonalas késői pászta arány, a származási illetve rakatszint faktorok tekintetében, (XVI–XIX. sz. melléklet) 95%-os megbízhatósági szinten, szignifikáns különbséget mutat.

Homogén átlagok részalmazainak statisztikai vizsgálatát Duncan teszttel végeztem. A származás és átlagos évgyűrűszélesség (S [mm]) szerint vizsgált minták három, egymástól szignifikánsan eltérő csoportba sorolhatók. (58. táblázat). E szerint a magyar származási helyek közül somogy, zala és az amerikai fehér tölgy minták rendelkeznek a legnagyobb évgyűrűszélességgel, míg a legkisebb mecsek, illetve az északkeleti/zemplén származásokon belül nincs lényeges eltérés. Ezek a termőhelyek szintén külön-külön csoportot alkotnak.

58. táblázat – Az évgyűrűszélesség értékek származások szerinti Duncan elemzése

Évgyűrűszélesség / Származás

Duncan ^{a,b}

Származás	N	Megbízhatósági szint = 95%		
		1	2	3
Mecsek	236	1,6414		
Északerdő	263		1,9372	
Somogy	263			2,0349
Zala	248			2,038
Amerika	260			2,081
Sig.		1,000	1,000	0,376

A homogén átlagok részalmazainak a vonalas késői pászta arány vizsgálatával egymástól szignifikánsan eltérő három csoport különíthető el (**59. táblázat**). A magyar származási helyek közül különállónak tekinthető a zalai termőhely, hol a legmagasabb késői pászta arányt mértem. A többi vizsgált magyar termőhely nagyfokú azonosságot mutat. Az Észak-amerikai fehér tölgy évgyűrűinek a származás szerint a legkisebb a későipászta aránya.

59. táblázat – A késői pászta arány értékek származások szerinti Duncan elemzése

Vonalas kései p. arány / Származás

Duncan ^{a,b}

Származás	N	Megbízhatósági szint = 95%		
		1	2	3
Amerika	260	75,9339		
Északerdő	263		76,9873	
Somogy	263		77,4678	
Mecsek	236		77,7998	
Zala	248			81,2687
Sig.		1,000	0,108	1,000

4.2 Mechanikai tulajdonságok

4.2.1 Nyomószilárdság

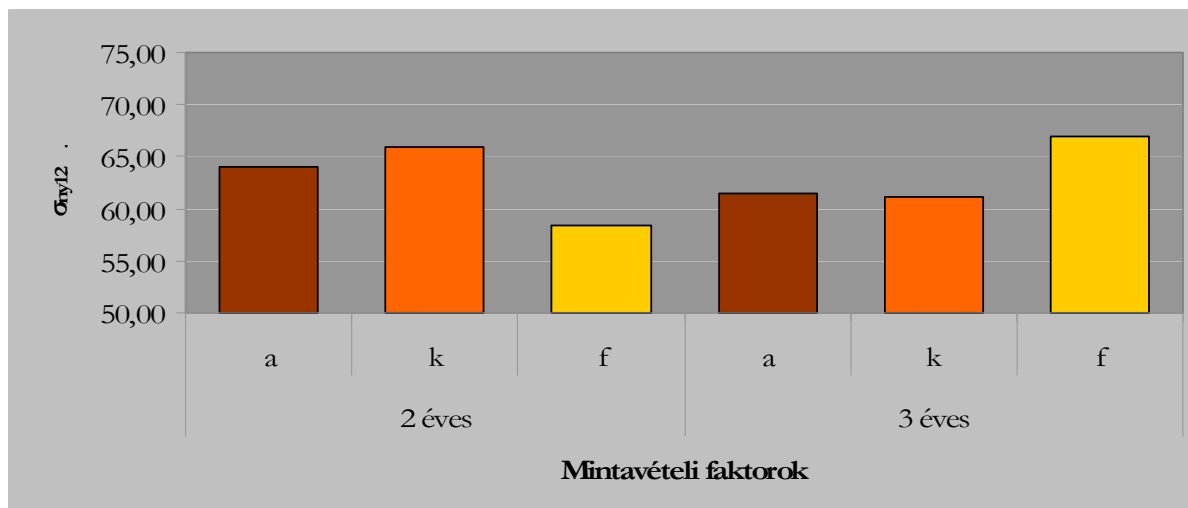
A vizsgált faanyagok részletes nyomószilárdsági eredményeit a XII. sz. melléklet, míg a statisztikai értékelést a XVI–XIX. sz. mellékletek tartalmazzák.

A vizsgálati eredmények tekintetében a **Mecseki** (01T2A, 01T2K, 01T2F, 01N2A, 01N2K, 01N2F, 01T3A, 01T3K, 01T3F, 01N3A, 01N3K, 01N3F) mintavételi helyekről vizsgált próbatestek nyomószilárdsági értékei, $\sigma_{ny12} = 33,14\text{--}93,81$ [MPa] között változtak (**60. táblázat**).

60. táblázat – Nyomószilárdsági értékek az érlelési idő és rakatszint függvényében (Mecsek 01), [MPa]

származás	Mecsek					
	σ_{ny12}			σ_{ny12}		
érlelés	2 éves			3 éves		
hely	a	k	f	a	k	f
átlag	64,13	65,85	58,36	61,50	61,21	66,95
rakat átlag	62,3780			63,1882		
szárm. átlag	62,7968					
szórás	6,65	9,96	4,87	10,43	8,58	6,96
minimum	52,88	33,14	50,50	47,21	47,32	53,74
maximum	79,68	84,26	75,95	93,81	80,57	81,72
var. Koeff.	10,37%	15,12%	8,34%	16,95%	14,02%	10,39%

A rakatszintek és érlelési idők közötti különbségeket az **65-ös ábra** szemlélteti.



65. ábra – A próbatestek faktorok szerinti nyomószilárdsága (Mecsek 01) [MPa]

A nyomószilárdságok közötti viszonyított eltérést, érlelési időn belül, és azok között, a **61. táblázat** mutatja.

61. táblázat – A nyomószilárdság származáson belüli átlagkülönbsége (Mecsek 01) [%]

Mecsek (01) érelés	σ_{ny12} [%]	
	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti σ_{ny} átlagkülönbsége [%]	8,85	8,13
2 éves ill. 3 éves minták σ_{ny} átlagainak különbsége [%]	2,14	

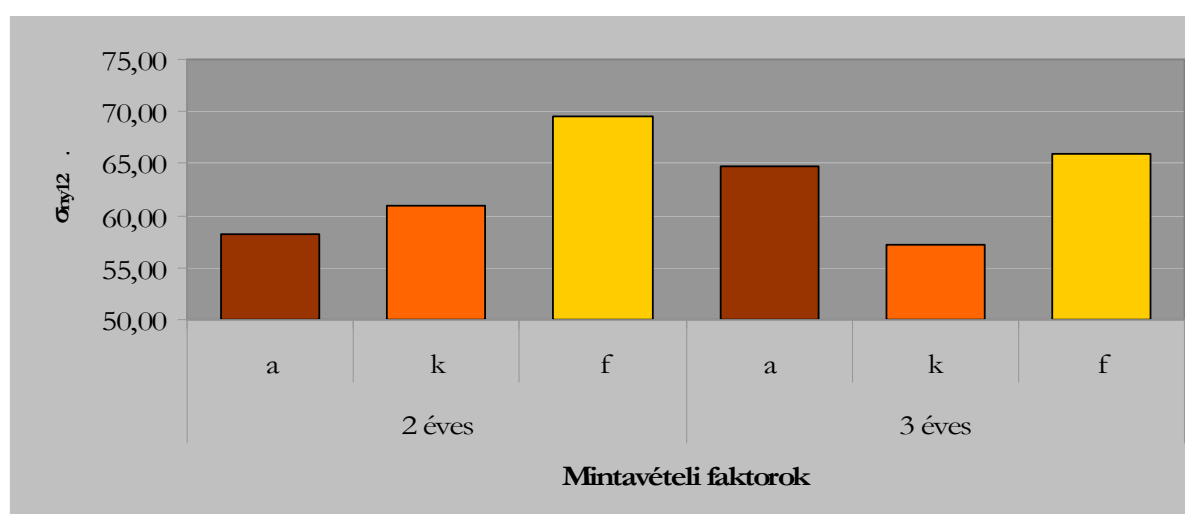
Az **mecseki** minta átlagos σ_{ny12} értékei között az érelési idő tekintetében minimális különbségeket mértem. ($\sigma_{ny2-3} = 2,14\%$) (**61. táblázat**). 2 éves szárítás után a rakatszintek átlagértékei között 8,85% maximális eltérést tapasztaltam, mely érték a 3 éves érelés után 8,13% volt.

A **somogyi** (04T2A, 04T2K, 04T2F, 04N2A, 04N2K, 04N2F, 04T3A, 04T3K, 04T3F, 04N3A, 04N3K, 04N3F) mintavételi helyekről vizsgált próbatestek nyomószilárdsági értékei, $\sigma_{ny12} = 7,47-78,76$ [MPa] között változtak (**62. táblázat**).

62. táblázat – A próbatestek faktorok szerinti nyomószilárdsága (Somogy 04) [MPa]

származás	Somogy					
	σ_{ny12}			σ_{ny12}		
érelés	2 éves			3 éves		
hely	a	k	f	a	k	f
átlag	58,18	60,93	69,49	64,77	57,24	65,91
rakat átlag	62,9525			62,5246		
szárm. átlag	62,7255					
szórás	4,41	5,89	3,97	6,14	10,47	5,86
minimum	47,90	50,38	62,21	47,94	7,47	54,54
maximum	67,78	71,63	78,14	72,52	78,66	78,76
var. Koeff.	7,58%	9,67%	5,72%	9,48%	18,30%	8,90%

A rakatszintek és érelési idők közötti különbségek az **66-os ábrán** láthatók.



66. ábra – A próbatestek faktorok szerinti nyomószilárdsága (somogy) [MPa]

A nyomószilárdságok közötti viszonyított eltérést, érelési időn belül, és azok között, a **63. táblázat** mutatja.

63. táblázat – A nyomószilárdság származáson belüli átlagának különbsége (Somogy 04) [%]

érelés	σ_{ny12}	
	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti σ_{ny} átlagkülönbsége [%]	16,28	13,15
2 éves ill. 3 éves minták σ_{ny} átlagának különbsége [%]	-0,68	

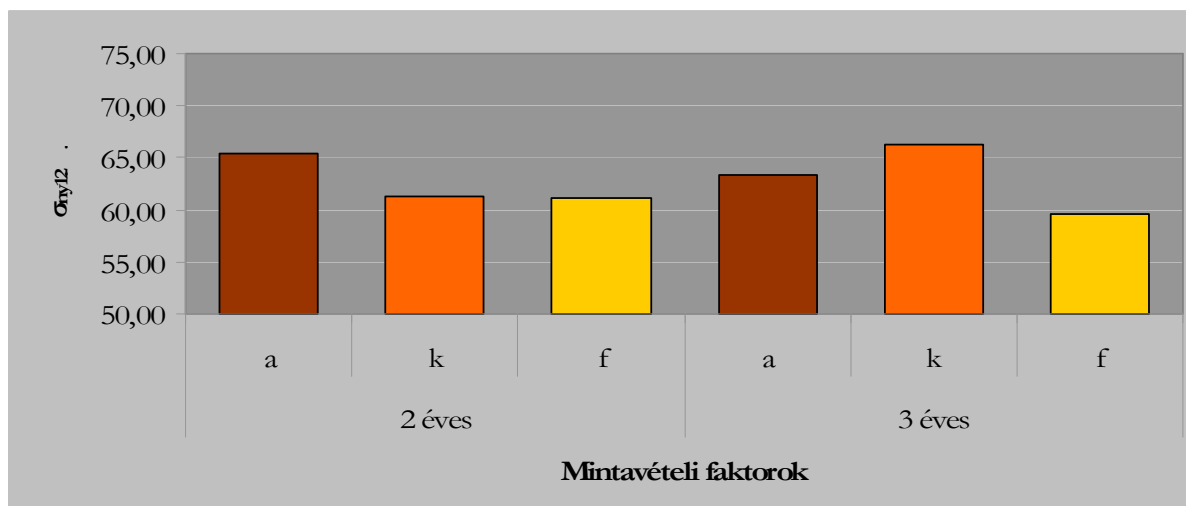
Az **somogyi** minta átlagos σ_{ny12} értékei között az érelési idő tekintetében minimális különbség mutatkozott. ($\sigma_{ny2-3} = -0,68\%$) (**63. táblázat**). 2 éves szárítás után a rakatszintek átlagértékei között 16,28% maximális eltérést tapasztaltam, míg a 3 éves érelés után ez 13,15% volt.

A **zalai** próbatestek (05T2A, 05T2K, 05T2F, 05N2A, 05N2K, 05N2F, 05T3A, 05T3K, 05T3F, 05N3A, 05N3K, 05N3F) nyomószilárdsági értékei, $\sigma_{ny12} = 49,46-90,74$ [MPa] között változtak (**64. táblázat**).

64. táblázat – A próbatestek faktorok szerinti nyomószilárdsága (Zala 05) [MPa]

származás	Zala					
	σ_{ny12}					
érelés	2 éves			3 éves		
hely	a	k	f	a	k	f
átlag	65,33	61,36	61,05	63,35	66,21	59,53
rakat átlag	62,4894			63,1606		
szárm. átlag	62,8523					
szórás	5,71	6,37	5,09	4,49	6,91	5,87
minimum	50,83	49,46	49,76	53,96	55,53	50,02
maximum	72,80	72,12	69,71	78,05	90,74	72,49
var. Koeff.	8,75%	10,38%	8,33%	7,09%	10,43%	9,86%

A rakatszintek és érelési idők közötti különbségek az **67-es ábrán** láthatók.



67. ábra – A próbatestek faktorok szerinti nyomószilárdsága (Zala 05) [MPa]

A nyomószilárdságok közötti viszonyított eltérést, érelési időn belül, és azok között, a **65. táblázat** mutatja.

65. táblázat – A nyomószilárdság származáson belüli átlagkülönbsége (Zala 05) [%]

Zala (05) érelés	σ_{ny12}	
	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti σ_{ny} átlagkülönbsége [%]	6,55	10,10
2 éves ill. 3 éves minták σ_{ny} átlagainak különbsége [%]	1,06	

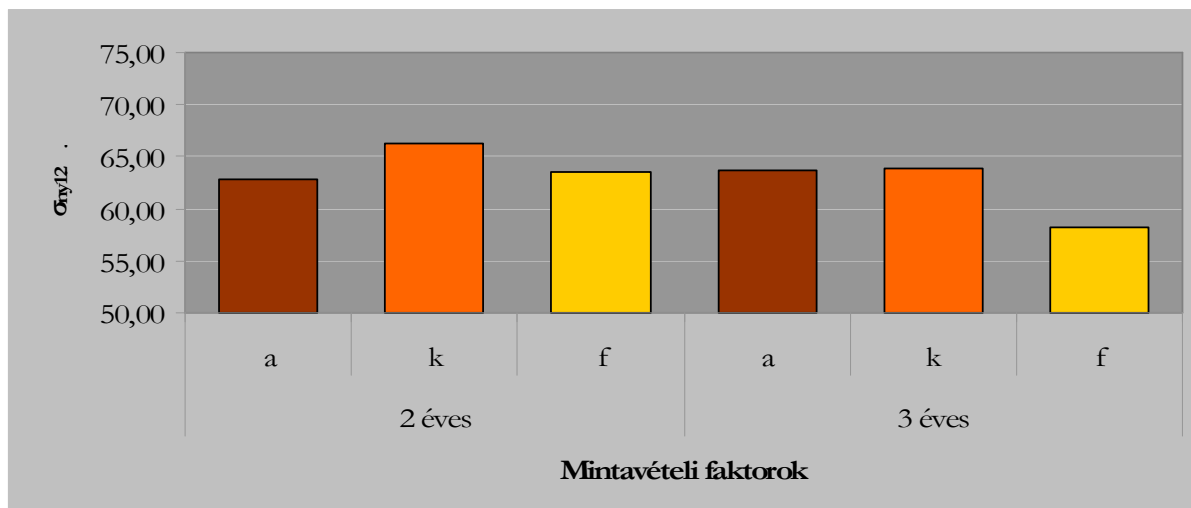
A **zalai** minta átlagos σ_{ny12} értékei között az érelési idő tekintetében minimális különbség mutatkozott. ($\sigma_{ny2-3} = 1,06\%$) (65. táblázat). 2 éves szárítás után a rakatszintek átlagértékei között 6,55%, míg 3 éves érelés után 10,1% maximális eltérést mértem.

A **zempléni** próbatetek (07T2A, 07T2K, 07T2F, 07N2A, 07N2K, 07N2F, 07T3A, 07T3K, 07T3F, 07N3A, 07N3K, 07N3F) nyomószilárdsági értékei, $\sigma_{ny12} = 35,51-107,02$ [MPa] között változtak (66. táblázat).

66. táblázat – A próbatetek faktorok szerinti nyomószilárdsága (Zemplén 07) [MPa]

származás	Zemplén					
érelés	σ_{ny12}					
	2 éves			3 éves		
hely	a	k	f	a	k	f
átlag	62,81	66,25	63,51	63,75	63,95	58,16
rakat átlag	64,2494			62,0946		
szárm. átlag	63,1265					
szórás	4,44	5,01	4,12	7,60	6,65	6,48
minimum	53,94	54,83	55,76	56,11	49,45	35,51
maximum	72,27	78,37	74,18	107,02	73,81	69,77
var. Koeff.	7,07%	7,57%	6,49%	11,92%	10,40%	11,14%

A rakatszintek és érelési idők közötti különbségeket az **68-es ábra** mutatja



68. ábra – A próbatetek faktorok szerinti nyomószilárdsága (Zemplén 07) [MPa]

A nyomószilárdságok közötti viszonyított eltérést, érelési időn belül, és azok között, a **67. táblázat** mutatja.

67. táblázat – A nyomószilárdság származáson belüli átlagkülönbsége (Zemplén 07) [%]

Zemplén (07)	σ_{ny12}	
érlelés	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti σ_{ny} átlagkülönbsége [%]	5,20	9,05
2 éves ill. 3 éves minták σ_{ny} átlagainak különbsége [%]	-3,47	

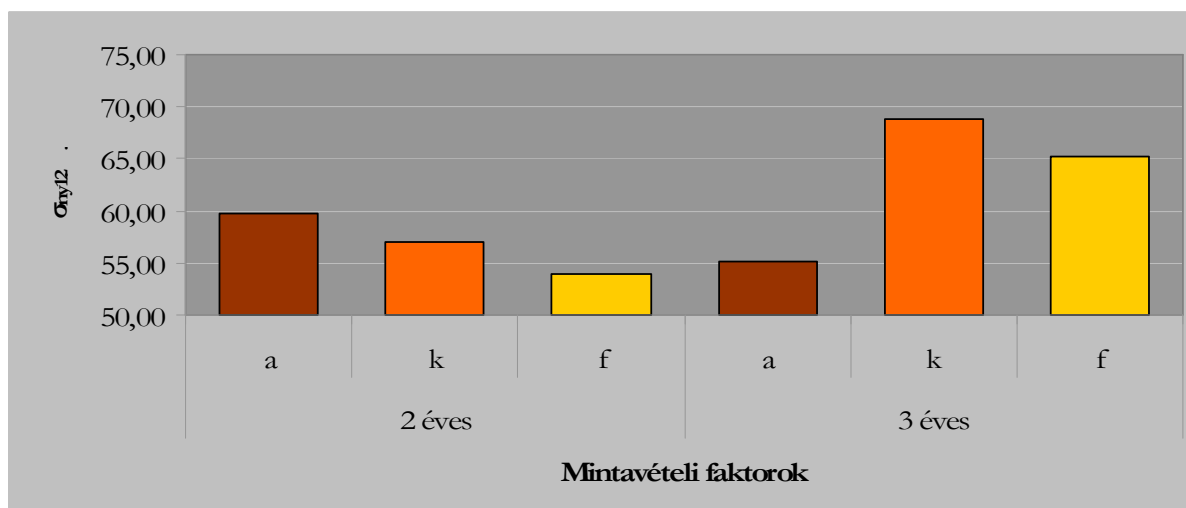
A **zempléni** minta átlagos σ_{ny12} értékei között az érlelési idő tekintetében minimális különbség mutatkozott ($\sigma_{ny2-3} = -3,47\%$) (**67. táblázat**). A 2 éves szárítás, a rakatszintek átlagértékei között 5,2%, míg a 3 éves 9,05% maximális eltérést eredményezett.

A vizsgálati eredmények tekintetében az **amerikai** (10T2A, 10T2K, 10T2F, 10N2A, 10N2K, 10N2F, 10T3A, 10T3K, 10T3F, 10N3A, 10N3K, 10N3F) mintavételi helyekről vizsgált próbatetek nyomószilárdsági értékei, $\sigma_{ny12} = 16,89 - 78,92$ [MPa] között változtak (**68. táblázat**).

68. táblázat – A próbatetek faktorok szerinti nyomószilárdsága (Amerika 10) [MPa]

származás	Amerika					
érlelés	σ_{ny12}					
	2 éves			3 éves		
hely	a	k	f	a	k	f
átlag	59,72	56,95	53,99	55,09	68,90	65,19
rakat átlag	56,7135			63,0661		
szárm. átlag	59,7676					
szórás	4,28	6,81	8,75	6,07	4,30	6,40
minimum	48,81	31,84	16,89	31,53	61,66	55,06
maximum	66,99	66,95	64,49	64,46	78,89	78,92
var. Koeff.	7,17%	11,97%	16,21%	11,01%	6,25%	9,82%

A rakatszintek és érlelési idők közötti különbségeket az **69-es ábra** szemlélteti.



69. ábra – A próbatetek faktorok szerinti nyomószilárdsága (Amerika 10) [MPa]

A nyomószilárdságok közötti viszonyított eltérést, érlelési időn belül, és azok között, a **69. táblázat** mutatja.

69. táblázat – A nyomószilárdság származáson belüli átlagkülönbsége (Amerika 10) [%]

Amerika (10) érlelés	σ_{ny12}	
	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti σ_{ny} átlagkülönbsége [%]	4,63	20,04
2 éves ill. 3 éves minták σ_{ny} átlagának különbsége [%]	10,07	

Az **amerikai** minta átlagos σ_{ny12} értékei között az érlelési idő tekintetében az átlagosnál magasabb különbségeket tapasztaltam. ($\sigma_{ny2-3} = 10,07\%$) (**69. táblázat**). 2 éves szárítás után a rakatszintek átlagértékei közötti maximális eltérés 4,63%, míg a 3 éves érlelés után 20,04% volt.

Összegzésként megállapítható, hogy nyomószilárdsági eredményeim, magyar származások tekintetében megközelítik az irodalmakban fellelhető kocsánytalan tölgyekre vonatkozó átlagos σ_{ny12} értéket. Az amerikai fehér tölgyön végzett nyomószilárdsági vizsgálat, pedig az irodalmi maximumnál is magasabb értékeket adott. A származási helyek átlagos nyomószilárdsági jellemzőinek leíró statisztikai értékelését az **70. táblázat** mutatja:

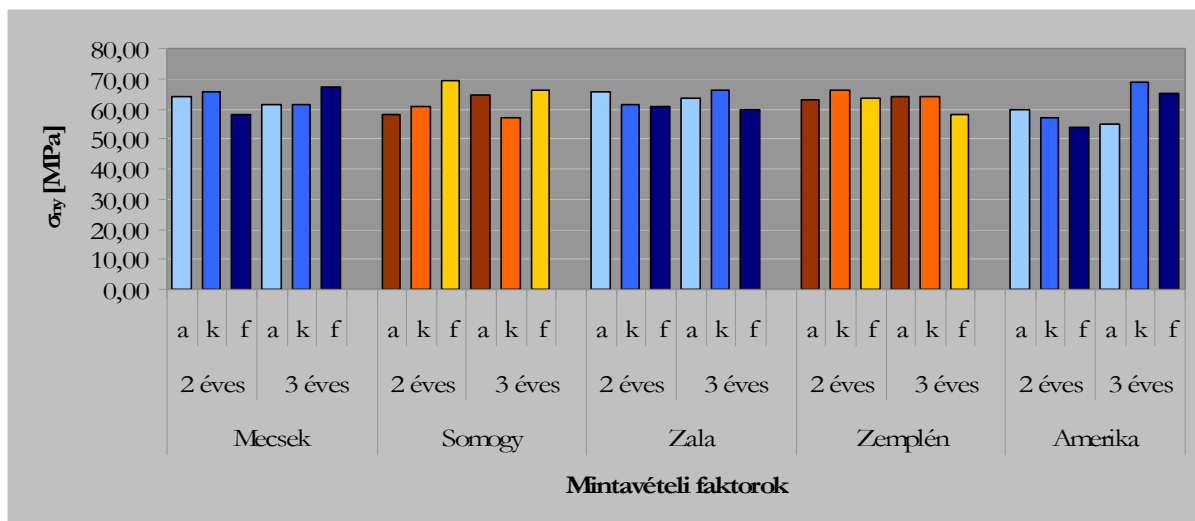
70. táblázat – Származásonként vett nyomószilárdsági értékek leíró statisztikai bemutatása

	σ_{ny12} [MPa]
Mecsek	62,532
Somogy	62,487
Zala	62,822
Zemplén	62,886
Magyar kt. tölgy	62,683
szórás	8,453275939
minimum	0,01681808
maximum	118,14163963
var. koeff.	13,49%
Irodalmi érték	48...65...70
	σ_{ny12} [MPa]
Amerikai f. tölgy	59,667
szórás	11,5913906
minimum	0,01698132
maximum	112,91778155
var. koeff.	19,43%
Irodalmi érték	46...52...55

(WAGENFÜHR, 1996)

A mért σ_{ny12} értékek az összes magyar származás tekintetében megközelítették az irodalmi értéket. A nagy mintaszám, illetve próbatestek tökéletes anatómiai kialakítása miatt mérés mérvadónak tekinthető. Az amerikai próbatestek átlagértékei azonban nagyobb eltérést mutatnak az irodalmi amerikai fehér tölgyre vonatkozó átlagos értéktől. Ennek oka valószínűleg az, hogy a vizsgált tételek egy szállítmányból származnak, tehát a kivágásuk is feltehetőleg egy szűk területegységen történt. A rakatokból történt mintavételek magas száma ellenére sem beszélhetünk így homogén mintáról, és eredményeink, az amerikai fehér tölgy fajra vonatkozólag sem tekinthetők homogénnek.

Az **összes** származási helyen mért σ_{ny12} átlagokat a **70. ábra** szemlélteti.



70. ábra – Mintavételi helyeken mért átlagos nyomószilárdsági értékek

A leíró statisztika alapján, a mérési eredmények ismeretében általánosan elmondható, hogy származásonként a rakaton belüli betárolási szintek (alsó-középső-felső) között, nyomószilárdság tekintetében minimális eltérések vannak. A felső mintavételi helyeken nem minden esetben kaptam alacsonyabb σ_{ny12} értéket, tehát az inhomogén szerkezet, a degradáció illetve a vízdoldható alkotók csapadék vagy locsolás általi kioldódása a vizsgált jellemzőre nincs egyértelmű hatással.

A 2, illetve 3 évig érlelt anyagok σ_{ny12} értékei között elhanyagolható, (-3,47)–(+10,07)% viszonyított különbséget mértem, melyben szerepet játszhat a faanyag inhomogenitása illetve a mérési pontatlanság is.

Az eredmények ismeretében elmondhatom, hogy a nyomószilárdság statisztikai **varianciaanalízis** vizsgálata, a származási, illetve rakatszint faktorok tekintetében, (XVI–XIX. sz. melléklet), szignifikáns különbséget mutat 95%-os megbízhatósági szinten.

Homogén átlagok részhalmazainak vizsgálatakor a Duncan teszttel, a származás tekintetében egymástól szignifikánsan eltérő két csoportot mutattam ki (**71. táblázat**), mely szerint σ_{ny12} tekintetében a magyar származási helyek közül az északkeleti, somogy és zala termőhelyekről származó minták hasonlóak és külön csoportba sorolhatók, míg az amerikai alacsonyabb értékevek külön csoportot alkot. A mecseki tölgy minta, a vizsgálat szerint mindkét csoporttal mutat hasonlóságot.

71. táblázat – A nyomószilárdság származások szerinti Duncan elemzése

Nyomószilárdság / Származás

Duncan ^{a,b}

Származás	N	Megbízhatósági szint = 95%	
		1	2
Amerika	258	71,1398	
Mecsek	235	71,9283	71,9283
Zala	248		73,5098
Somogy	263		73,5931
Északerdő	262		73,6973
	Sig.	0,347	0,053

A vizsgálat szerint, a rakatszint tekintetében az alsó és középső szint szignifikánsan eltérőnek tekinthető, azonban a felső rakatolású próbatestek mindkettővel mutatnak a nyomószilárdság tekintetében hasonlóságot (**72. táblázat**).

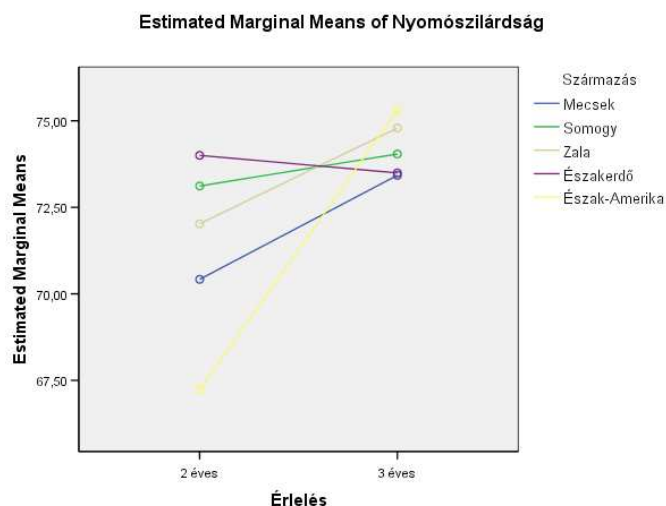
72. táblázat – A nyomószilárdság értékek származások szerinti Duncan elemzése

Nyomószilárdság / Rakatszint

Duncan ^{a,b}

Származás	N	Megbízhatósági szint = 95%	
		1	2
Alsó szint	413	71,7449	
Felső szint	425	72,8645	72,8645
Középső szint	428		73,7225
	Sig.	0,085	0,187

Az egyes származásokon belül az elemzés eredményeképpen megállapítottam, hogy a magyar dongafrízek esetén a kitettség/érlelési idő függvényében a nyomószilárdsági értékek között nincs jelentős különbség. Mértékét tekintve azonban az amerikai minta különbözősége szembevetendő (**71. ábra**).



71. ábra – Az érlelési idő és a sugár irányú dagadás kapcsolata

4.2.2 Hajlító szilárdság

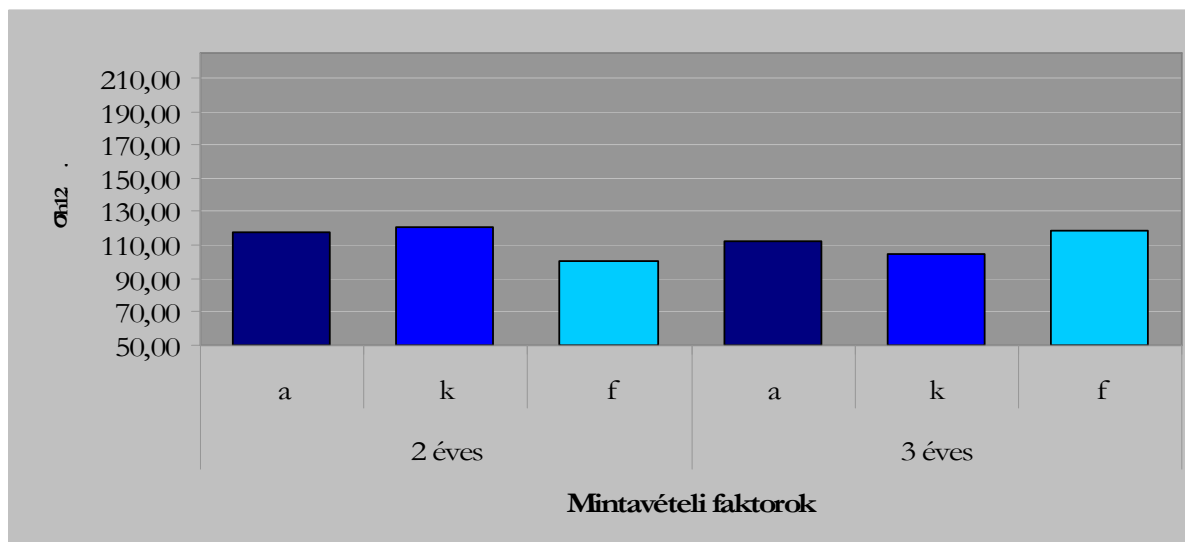
A vizsgált anyagok részletes hajlítószilárdsági eredményeit a XIII. sz. melléklet, míg a statisztikai értékelést a XVI–XIX. sz.. melléletek tartalmazzák.

A vizsgálati eredmények tekintetében a **Mecseki** (01T2A, 01T2K, 01T2F, 01N2A, 01N2K, 01N2F, 01T3A, 01T3K, 01T3F, 01N3A, 01N3K, 01N3F) mintavételi helyekről vizsgált próbatestek hajlítószilárdsági értékei, $\sigma_{h12} = 71,70\text{--}154,56$ [MPa] között változtak (**74. táblázat**).

73. táblázat – Hajlítószilárdság, az érlelés és a rakatban elfoglalt pozíció függvényében (Mecsek) [MPa]

származás	Mecsek					
	σ_{h12}					
	2 éves			3 éves		
érlelés hely	a	k	f	a	k	f
átlag	117,68	121,27	100,31	112,40	104,42	118,97
rakat átlag	112,0073			111,8733		
szárm. átlag	111,9383					
szórás	13,65	18,39	12,46	22,82	15,69	12,12
minimum	92,78	71,70	64,89	75,83	80,45	95,62
maximum	149,33	154,56	126,22	163,15	140,46	144,87
Var.%	11,60%	15,16%	12,43%	20,30%	15,03%	10,18%

Az érlelési idők és rakatszintek közötti különbségeket a **72. ábra** szemlélteti



72. ábra – Mecseki minták faktorok szerinti hajlítószilárdsága [MPa]

A hajlítószilárdságok közötti viszonyított eltérést, érlelési időn belül, és azok között, a **75. táblázat** mutatja.

74. táblázat – A hajlítószilárdság, faktorokon belüli maximális átlagkülönbsége (Mecsek 01) [%]

Mecsek (01) érlelés	σ_{h12} [%]	
	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti σ_h átlagkülönbsége [%]	17,28	5,52
2 éves ill. 3 éves minták σ_h átlagainak különbsége [%]	-0,12	

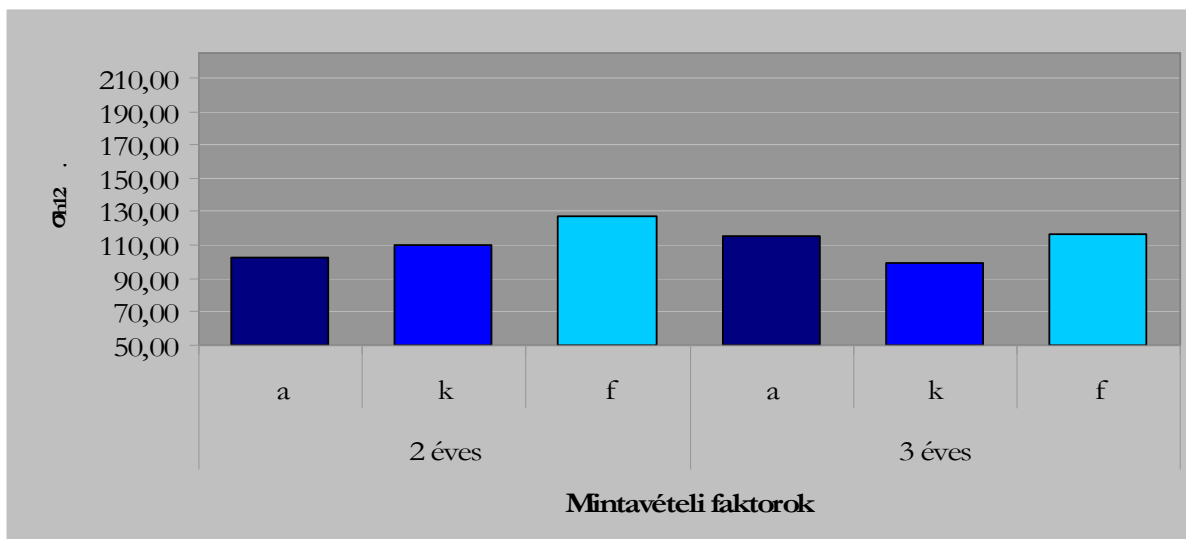
A **mecseki** minta átlagos σ_{h12} értékei között az érlelési idő tekintetében minimális különbségeket mértem. ($\sigma_{h2-3} = -0,12\%$) (**74. táblázat**). 2 éves szárítás után a rakatszintek átlagértékei között 17,28% maximális eltérést tapasztaltam, mely érték a 3 éves érlelés után csak 5,52% volt.

A **somogyi** (04T2A, 04T2K, 04T2F, 04N2A, 04N2K, 04N2F, 04T3A, 04T3K, 04T3F, 04N3A, 04N3K, 04N3F) mintavételi helyekről vizsgált próbatestek hajlítószilárdsági értékei, $\sigma_{h12} = 65,44\text{--}150,45$ [MPa] között változtak (**75. táblázat**).

75. táblázat – Halítószilárdság, az érlelés és a rakatban elfoglalt pozíció függvényében (Somogy) [MPa]

származás	Somogy					
érlelés	σ_{h12}			σ_{h12}		
	2 éves			3 éves		
hely	a	k	f	a	k	f
átlag	102,50	110,18	126,95	115,31	99,76	116,07
rakat átlag	113,3713			110,1728		
szárm. átlag	111,6809					
szórás	9,52	12,73	11,19	16,94	19,08	13,60
minimum	84,72	83,67	101,72	69,62	65,44	85,09
maximum	122,46	133,55	146,12	133,88	133,45	150,45
Var.%	9,29%	11,56%	8,82%	14,69%	19,12%	11,72%

Az érlelési idők és rakatszintek közötti különbségeket a **73. ábra** szemlélteti



73. ábra – Somogyi minták faktorok szerinti hajlítószilárdsága [MPa]

A hajlítószilárdságok közötti viszonyított eltérést, érlelési időn belül, és azok között, a **76. táblázat** mutatja.

76. táblázat – A hajlítószilárdság, faktorokon belüli maximális átlagkülönbsége (Somogy 04) [%]

Somogy (04) érlelés	σ_{h12} [%]	
	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti σ_h átlagkülönbsége [%]	19,26	14,05
2 éves ill. 3 éves minták σ_h átlagainak különbsége [%]	-2,90	

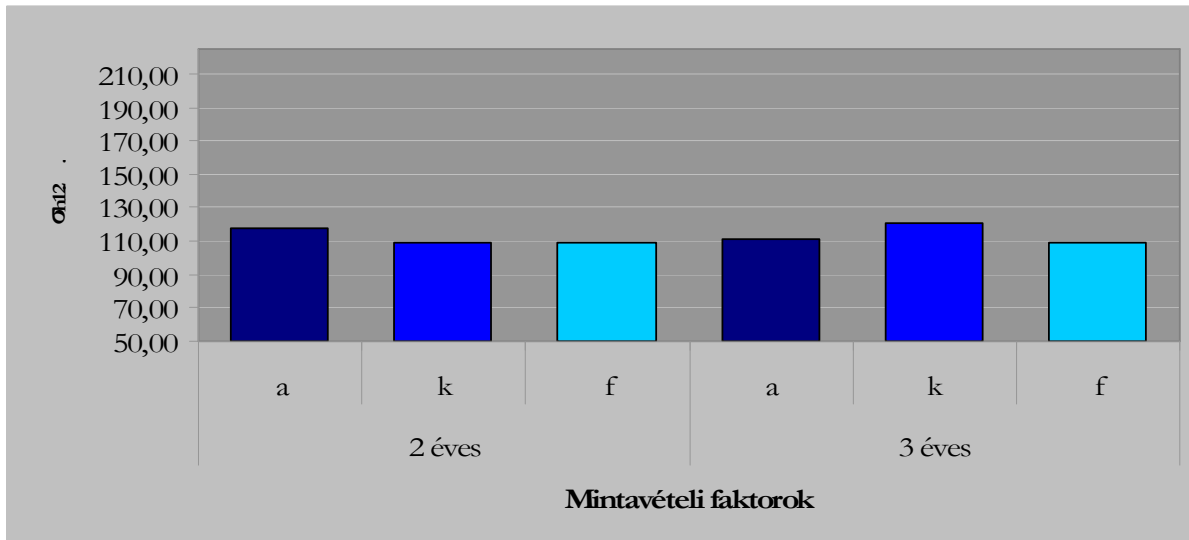
A **somogyi** minta átlagos σ_{h12} értékei között az érlelési idő tekintetében minimális különbségeket mértem. ($\sigma_{h2-3} = -2,90\%$) (**76. táblázat**). 2 éves szárítás után a rakatszintek átlagértékei között 19,26% maximális eltérést tapasztaltam, mely érték a 3 éves érlelés után 14,05% volt.

A **zalai** (05T2A, 05T2K, 05T2F, 05N2A, 05N2K, 05N2F, 05T3A, 05T3K, 05T3F, 05N3A, 05N3K, 05N3F) mintavételi helyekről vizsgált próbatestek hajlítószilárdsági értékei, $\sigma_{h12} = 65,44 - 150,45$ [MPa] között változtak (**77. táblázat**).

77. táblázat – Hajlítószilárdság, az érlelés és a rakatban elfoglalt pozíció függvényében (Zala) [MPa]

származás	Zala					
	σ_{h12}					
	2 éves			3 éves		
érlelés hely	a	k	f	a	k	f
átlag	117,78	109,15	108,90	111,55	121,24	109,17
rakat átlag	111,7175			114,1286		
szárm. átlag	113,0203					
szórás	10,55	11,45	15,88	8,85	12,12	23,22
minimum	89,64	84,86	85,60	94,75	96,97	76,65
maximum	132,38	133,68	138,00	137,97	145,55	223,61
Var. %	8,96%	10,49%	14,59%	7,93%	10,00%	21,27%

Az érlelési idők és rakatszintek közötti különbségeket a **74. ábra** szemlélteti



74. ábra – Zalai minták faktorok szerinti hajlítószilárdsága [MPa]

A hajlítószilárdságok közötti viszonyított eltérést, érlelési időn belül, és azok között, a **78. táblázat** mutatja.

78. táblázat – A hajlítószilárdság, faktorokon belüli maximális átlagkülönbsége (Zala 05) [%]

Zala (05) érlelés	σ_{h12} [%]	
	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti σ_h átlagkülönbsége [%]	7,54	9,96
2 éves ill. 3 éves minták σ_h átlagainak különbsége [%]	2,11	

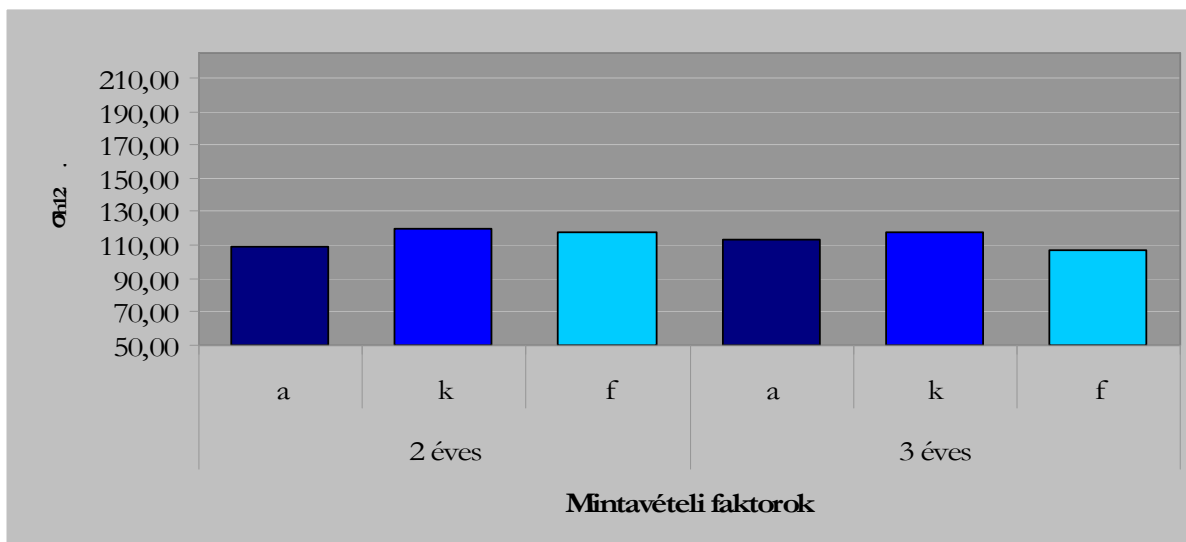
A **zalai** minta átlagos σ_{h12} értékei között az érlelési idő tekintetében minimális különbségeket mértem. ($\sigma_{h2-3} = 2,11\%$) (**78. táblázat**). 2 éves szárítás után a rakatszintek átlagértékei között 7,54% maximális eltérést tapasztaltam, mely érték a 3 éves érlelés után 9,96% volt.

A **zempléni** (07T2A, 07T2K, 07T2F, 07N2A, 07N2K, 07N2F, 07T3A, 07T3K, 07T3F, 07N3A, 07N3K, 07N3F) mintavételi helyekről vizsgált próbatestek hajlítószilárdsági értékei, $\sigma_{h12} = 62,3 - 188,8$ [MPa] között változtak (**79. táblázat**).

79. táblázat – Hajlítószilárdság, az érlelés és a rakatban elfoglalt pozíció függvényében (Zemplén) [MPa]

származás	Zemplén					
	2 éves			3 éves		
érlelés	σ_{h12}					
hely	a	k	f	a	k	f
átlag	109,08	120,27	117,77	113,37	117,48	106,38
rakat átlag	115,8128			112,5869		
szárm. átlag	114,1324					
szórás	10,54	10,59	10,41	13,68	14,93	13,31
minimum	81,40	95,94	96,33	96,08	85,07	62,30
maximum	127,81	147,67	139,99	188,80	142,58	133,86
Var. %	9,66%	8,81%	8,84%	12,06%	12,71%	12,52%

Az érlelési idők és rakatszintek közötti különbségeket a **75. ábra** szemlélteti



75. ábra – Zempléni minták faktorok szerinti hajlítószilárdsága [MPa]

A hajlítószilárdságok közötti viszonyított eltérést, érlelési időn belül, és azok között, a **80. táblázat** mutatja.

80. táblázat – A hajlítószilárdság, faktorokon belüli maximális átlagkülönbsége (Zemplén 07) [%]

Zemplén (07) érlelés	σ_{h12} [%]	
	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti σ_h átlagkülönbsége [%]	9,31	9,44
2 éves ill. 3 éves minták σ_h átlagainak különbsége [%]	-2,87	

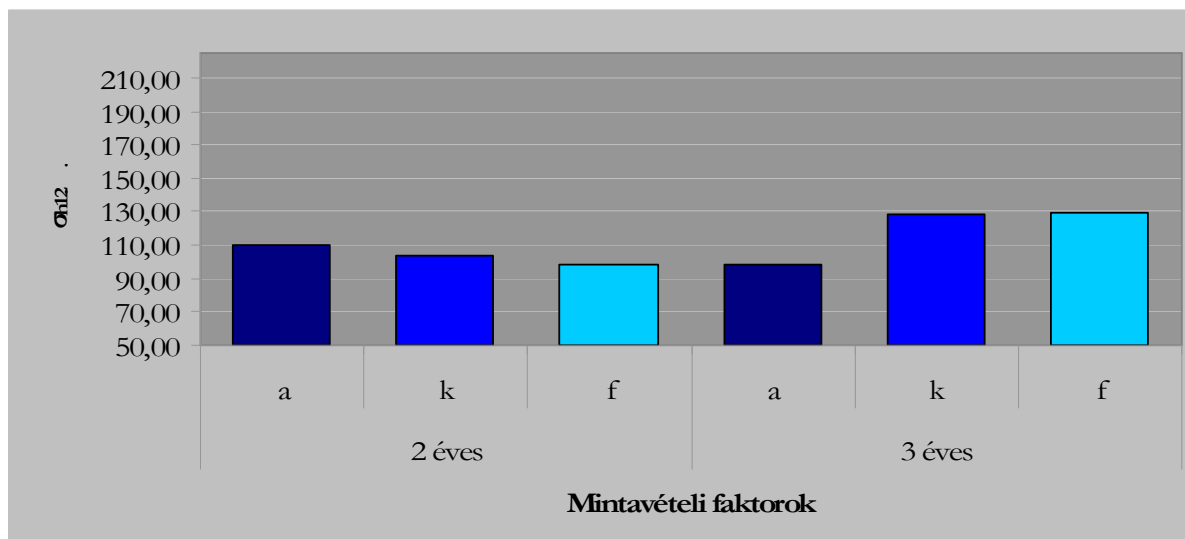
A **zempléni** minta átlagos σ_{h12} értékei között az érlelési idő tekintetében minimális különbségeket mértem. ($\sigma_{h2-3} = -2,87\%$) (**80. táblázat**). 2 éves szárítás után a rakatszintek átlagértékei között 9,31% maximális eltérést tapasztaltam, mely érték a 3 éves érlelés után 9,44% volt.

Az **Észak-Amerika** (10T2A, 10T2K, 10T2F, 10N2A, 10N2K, 10N2F, 10T3A, 10T3K, 10T3F, 10N3A, 10N3K, 10N3F) mintavételi helyekről vizsgált próbatestek hajlítószilárdsági értékei, $\sigma_{h12} = 10,43\text{--}213,12$ [MPa] között változtak (**81. táblázat**).

81. táblázat – Hajlítószilárdság, az érlelés és a rakatban elfoglalt pozíció függvényében (Amerika) [MPa]

származás	Amerika					
	σ_{h12}					
	2 éves			3 éves		
érlelés hely	a	k	f	a	k	f
átlag	110,43	104,00	98,33	98,81	128,50	129,00
rakat átlag	103,7872			119,0152		
szárm. átlag	111,0004					
szórás	10,47	16,62	31,63	13,07	17,38	13,89
minimum	87,29	50,01	10,43	56,15	93,04	113,70
maximum	133,08	132,18	213,12	123,82	208,38	166,53
Var. %	9,48%	15,98%	32,17%	13,22%	13,53%	10,77%

Az érlelési idők és rakatszintek közötti különbségeket a **76. ábra** szemlélteti



76. ábra – Amerikai minták faktorok szerinti hajlítószilárdsága [MPa]

A hajlítószilárdságok közötti viszonyított eltérést, érlelési időn belül, és azok között, a **82. táblázat** mutatja.

82. táblázat – A hajlítószilárdság, faktorokon belüli maximális átlagkülönbsége (Amerika 10) [%]

Amerika (10) érlelés	σ _{h12} [%]	
	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti σ _h átlagkülönbsége [%]	10,96	23,10
2 éves ill. 3 éves minták σ _h átlagának különbsége [%]	12,79	

Az **Észak-amerikai** minta átlagos σ_{h12} értékei között az érlelési idő tekintetében jelentős különbségeket mértem. (σ_{h2-3} = 12,73%) (**82. táblázat**). 2 éves szárítás után a rakatszintek átlagértékei között 10,96% maximális eltérést tapasztaltam, mely érték a 3 éves érlelés után 23,1% volt.

Összegzésként megállapítható, hogy hajlítószilárdsági eredményeim, magyar és amerikai származások tekintetében is megegyeznek az irodalmakban fellelhető kocsánytalan tölgyekre vonatkozó átlagos σ_{h12} értékekkel. A származási helyek átlagos hajlítószilárdsági jellemzőinek leíró statisztikai értékelését az **83. táblázat** mutatja.

83. táblázat – Származásonként vett hajlítószilárdsági értékek leíró statisztikai bemutatása

	σ_{h12} [MPa]
Mecsek	111,938
Somogy	111,681
Zala	113,020
Zemplén	114,132
Magyar kt. tölgy	112,708
szórás	15,878
minimum	62,296
maximum	223,606
var. koeff.	14,09%

Irodalmi érték 78...110...117

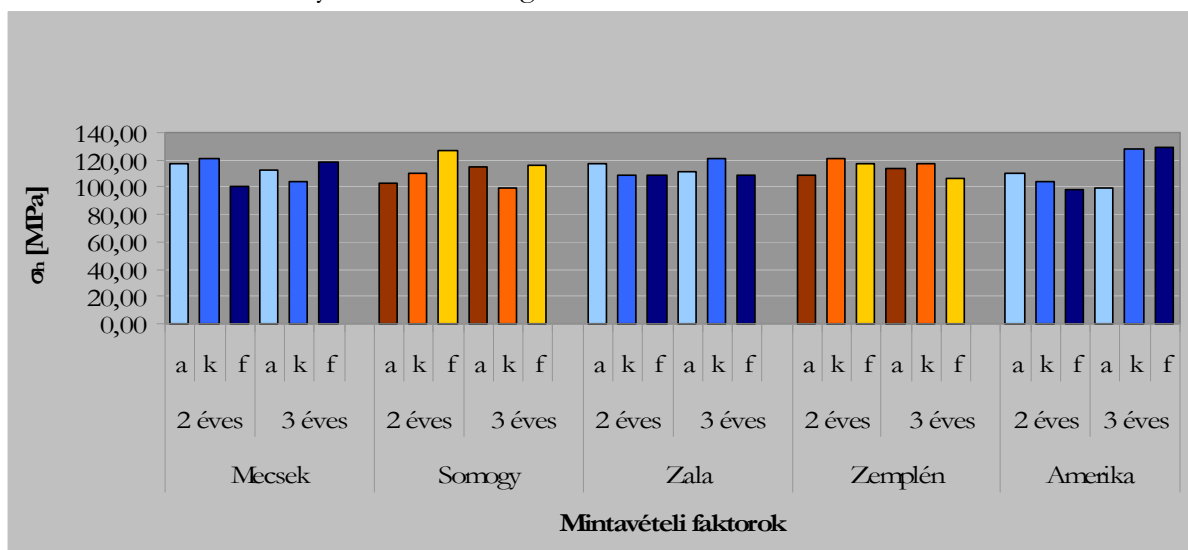
	σ_{h12} [MPa]
Amerikai f. tölgy	111,000
szórás	22,995
minimum	10,432
maximum	213,116
var. koeff.	20,72%

Irodalmi érték 88...111...128

(WAGENFÜHR, 1996)

A nagy mintaszám, illetve próbatestek tökéletes anatómiai kialakítása miatt mérésem mérvadónak tekinthető.

Az **összes** származási helyen mért σ_{h12} átlagokat a **77. ábra** szemlélteti.



77. ábra – Mintavételi helyeken mért átlagos hajlítószilárdsági értékek

A leíró statisztika alapján, a mérési eredmények ismeretében általánosan elmondható, hogy származásonként a rakaton belüli betárolási szintek (alsó-középső-felső) között, hajlítózsilárdság tekintetében minimális eltérések vannak. A felső mintavételi helyeken nem minden esetben kaptam alacsonyabb σ_{h12} értéket, tehát az inhomogén szerkezet, a degradáció illetve a vízdoldható alkotók csapadék vagy locsolás általi kioldódása a vizsgált jellemzőre nincs egyértelmű hatással.

A 2, illetve 3 évig érlelt anyagok σ_{h12} értékei között elhanyagolható, (-2,9)–(+12,79)% viszonyított különbséget mértem, melyben szerepet játszhat a faanyag inhomogenitása illetve a mérési pontatlanság is.

Az eredmények ismeretében elmondhatom, hogy a nyomózsilárdság statisztikai **variacionaalízis** vizsgálata, a származási, illetve rakatszint faktorok tekintetében, (XVI–XIX. sz. melléklet), szignifikáns különbséget mutat 95%-os megbízhatósági szinten.

Homogén átlagok részhalmazainak vizsgálatát Duncan teszttel végeztem. A származás tekintetében egymástól szignifikánsan eltérő két csoportot mutattam ki (**84. táblázat**), mely szerint σ_{h12} tekintetében a magyar származási helyek közül a mecseki produkálta a legalacsonyabb értékeket, míg az Északerdő/Zemplén a legmagasabbakat. A többi származás mindkettővel mutat átfedést.

84. táblázat – σ_{h12} értékek származás szerinti Duncan elemzése

Hajlítózsilárdság / Származás			
Duncan ^{a,b}			
Származás	N	Megbízhatósági szint = 95%	
		1	2
Mecsek	236	128,7373	
Amerika	260	131,4402	131,4402
Somogy	263	131,5725	131,5725
Zala	248	132,2527	132,2527
Északerdő	263		133,7708
	Sig.	0,347	0,053

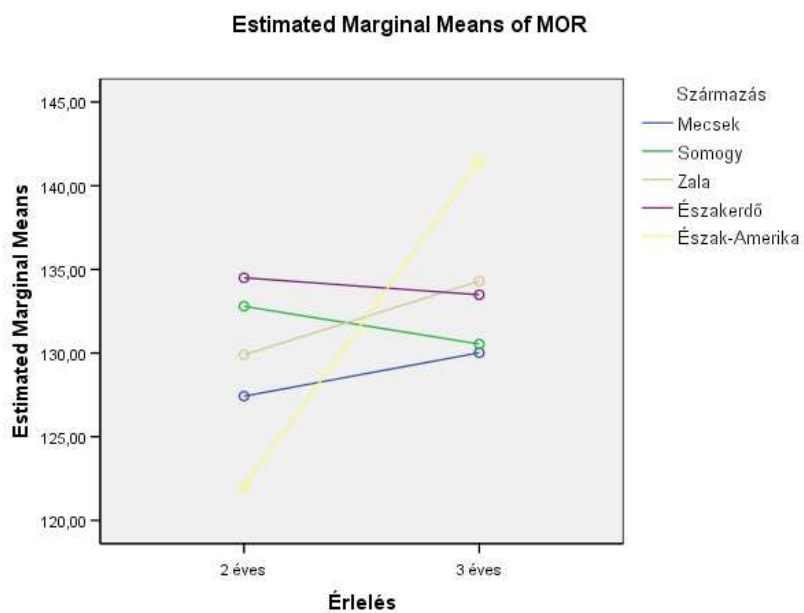
Rakatszintek szerinti Duncan test szintén 2 csoportnál mutat lényeges elkülönülést mutat (**85. táblázat**), hol egyértelműen alacsonyabb σ_{h12} értéket mutat az alsó rakatszinten tárolt minták esetén

85. táblázat – σ_{h12} értékek rakatszint szerinti Duncan elemzése

Hajlítózsilárdság / Rakatszint			
Duncan ^{a,b}			
Származás	N	Megbízhatósági szint = 95%	
		1	2
Alsó szint	414	129,1949	
Felső szint	426		132,286
Középső szint	430		133,2556
	Sig.	1,000	0,454

Az egyes származásokon belül az elemzés eredményeképpen megállapítottam, hogy a magyar dongafrízkek esetén a kitétségi/érlelési idő függvényében a hajlítózsilárdsági értékek között nincs

jelentős különbség. Mértékét tekintve azonban az amerikai minta különbözősége szembeűnő (78. ábra).



78. ábra – Az érlelési idő és a hajlítószilárdság kapcsolata

4.2.3 Hajlító rugalmassági modulusz (MOE)

4.2.3.1 Roncsolásos vizsgálat

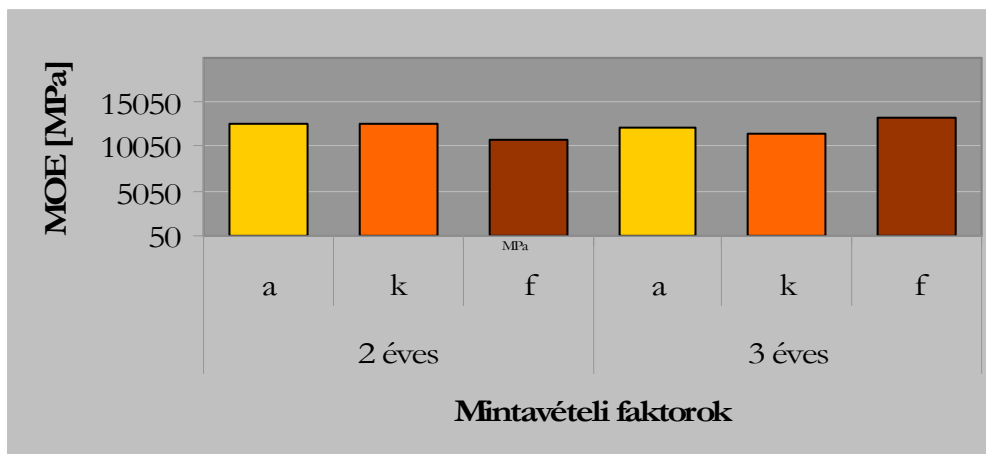
A minták részletes MOE eredményeit a XIV. sz. melléklet, míg a statisztikai értékelést a XVI–XIX. sz.. mellékletek tartalmazzák.

A vizsgálati eredmények tekintetében a **Mecseki** (01T2A, 01T2K, 01T2F, 01N2A, 01N2K, 01N2F, 01T3A, 01T3K, 01T3F, 01N3A, 01N3K, 01N3F) mintavételi helyekről vizsgált próbatestek hajlító rugalmassági értékei, MOE = 8077–17429 [MPa] között változtak (**86. táblázat**).

86. táblázat – MOE, az érlelés és a rakatban elfoglalt pozíció függvényében (Amerika) [MPa]

származás	Mecsek					
érlelés	MOE [MPa]					
hely	2 éves			3 éves		
	A	k	f	a	k	f
átlag	12676,44	12630,79	10856,59	12219,64	11531,58	13366,77
rakat átlag	11950,032			12364,516		
szárm átlag	12163,395					
szórás	1489,60	1886,20	1297,51	2483,79	1903,68	1489,10
minimum	10685,75	8193,50	8077,73	8853,53	8646,28	10788,77
maximum	16746,33	16513,25	15038,64	17429,08	16067,23	16502,94
Var. %	11,75%	14,93%	11,95%	20,33%	16,51%	11,14%

Az érlelési idők és rakatszintek közötti hajlító rugalmassági modulus különbségeket a **79. ábra** szemlélteti



79. ábra – A mecseki minták faktorok szerinti hajlító rugalmassági modulusa [MPa]

A hajlító rugalmassági modulusok közötti viszonyított eltérést, érlelési időn belül, és azok között a **87. táblázat** mutatja.

87. táblázat – MOE faktorokon belüli maximális átlagkülönbsége (Mecsek 01) [%]

Mecsek (01) Érlelés	MOE	
	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti MOE átlagkülönbsége [%]	14,36	13,73
2 éves ill. 3 éves minták MOE átlagainak különbsége [%]	3,35	

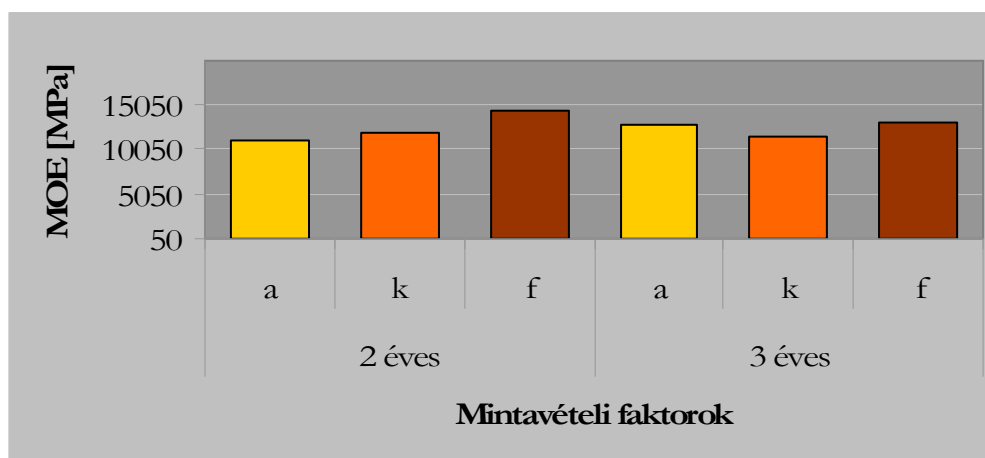
A **Mecseki** minta átlagos **MOE** értékei között az érlelési idő tekintetében minimális különbségeket mértem. ($MOE_{2,3} = 3,35\%$) (**82. táblázat**). 2 éves szárítás után a rakatszintek átlagértékei között 14,36% maximális eltérést tapasztaltam, mely érték a 3 éves érlelés után 13,73% volt.

A **Somogyi** terület (04T2A, 04T2K, 04T2F, 04N2A, 04N2K, 04N2F, 04T3A, 04T3K, 04T3F, 04N3A, 04N3K, 04N3F) mintavételi helyeiről vizsgált próbatestek hajlító rugalmassági modulusa, $MOE = 7152,64-17338,23$ [MPa] között változott (**88. táblázat**).

88. táblázat – MOE, az érlelés és a rakatban elfoglalt pozíció függvényében (Somogy) [MPa]

származás	Somogy					
	MOE [MPa]					
érlelés	2 éves			3 éves		
hely	A	k	f	a	k	f
átlag	10951,67	11859,35	14395,80	12798,03	11578,61	13067,28
rakat átlag	12419,8537			12460,2306		
szárm átlag	12441,1936					
szórás	1498,97	2074,53	1553,16	1841,06	2125,06	1637,85
minimum	8533,98	8434,17	12114,24	8514,81	7125,64	10076,18
maximum	13966,43	15518,16	17338,23	14781,04	16968,89	17189,48
Var. %	13,69%	17,49%	10,79%	14,39%	18,35%	12,53%

Az érlelési idők és rakatszintek közötti hajlító rugalmassági modulus különbségeket a **80. ábra** szemlélteti



80. ábra – A somogyi minták faktorok szerinti hajlító rugalmassági modulusa [MPa]

A hajlító rugalmassági modulusok közötti viszonyított eltérést, érlelési időn belül, és azok között a **89. táblázat** mutatja.

89. táblázat – MOE faktorokon belüli maximális átlagkülönbsége (Somogy 04) [%]

Somogy (04) Érlelés	MOE	
	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti MOE átlagkülönbsége [%]	23,92	11,39
2 éves ill. 3 éves minták MOE átlagainak különbsége [%]	0,32	

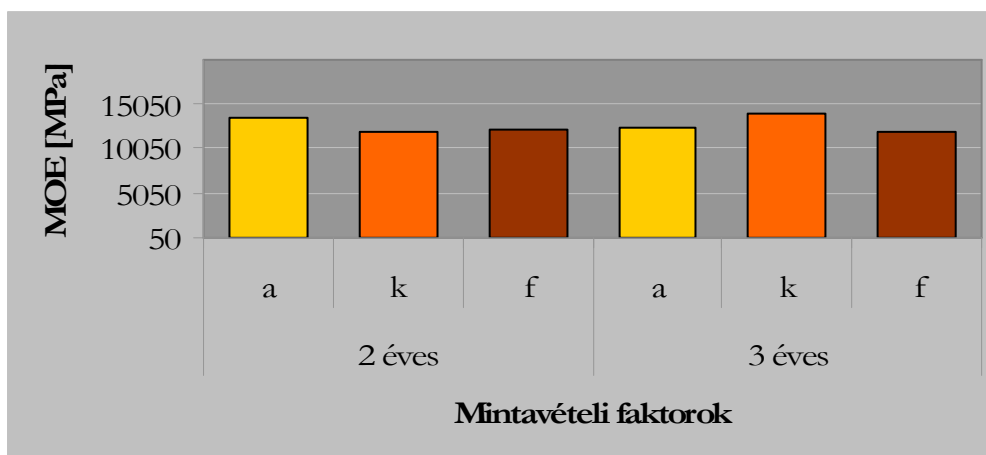
A **somogyi** minta átlagos **MOE** értékei között az érlelési idő tekintetében minimális különbségeket mértem. ($MOE_{2,3} = 0,32\%$) (**89. táblázat**). 2 éves szárítás után a rakatszintek átlagértékei között azonban magas, 23,92% maximális eltérést tapasztaltam, mely érték a 3 éves érlelés után 11,39% volt.

Zalai területekről származó, (05T2A, 05T2K, 05T2F, 05N2A, 05N2K, 05N2F, 05T3A, 05T3K, 04T3F, 05N3A, 05N3K, 05N3F) mintavételi helyeiről vizsgált próbatestek hajlító rugalmassági modulusa, $MOE = 9083,87-17405,33$ [MPa] között változott (**90. táblázat**).

90. táblázat – MOE, az érlelés és a rakatban elfoglalt pozíció függvényében (Zala) [MPa]

származás	Zala					
	MOE [MPa]					
érlelés	2 éves			3 éves		
hely	A	k	f	a	k	f
átlag	13516,39	11843,90	12169,35	12345,64	13980,97	11917,67
rakat átlag	12465,8654			12772,8809		
szárm átlag	12631,7528					
szórás	1440,67	1482,77	1836,77	1128,47	1569,89	1695,65
minimum	10161,89	9190,14	9468,66	10606,14	10583,32	9083,87
maximum	16551,09	14535,18	16423,22	16044,75	17405,33	15850,37
Var. %	10,66%	12,52%	15,09%	9,14%	11,23%	14,23%

Az érlelési idők és rakatszintek közötti hajlító rugalmassági modulus különbségeket a **81. ábra** szemlélteti



81. ábra – A zalai minták faktorok szerinti hajlító rugalmassági modulusa [MPa]

A hajlító rugalmassági modulusok közötti viszonyított eltérést, érlelési időn belül, és azok között a **91. táblázat** mutatja.

91. táblázat – MOE faktorokon belüli maximális átlagkülönbsége (Zala 05) [%]

Zala (05) Érlelés	MOE	
	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti MOE átlagkülönbsége [%]	12,37	14,76
2 éves ill. 3 éves minták MOE átlagainak különbsége [%]	2,40	

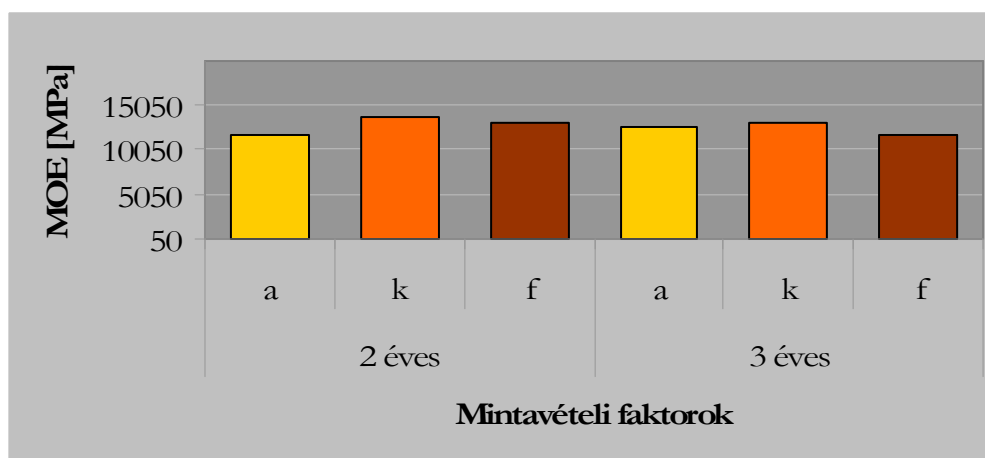
A **zalai** minta átlagos **MOE** értékei között az érlelési idő tekintetében minimális különbségeket mértem. ($MOE_{2,3} = 2,4\%$) (**91. táblázat**). 2 éves szárítás után a rakatszintek átlagértékei között azonban magas, 12,37% maximális eltérést tapasztaltam, mely érték a 3 éves érlelés után 14,76 % volt.

Zempléni területekről származó, (07T2A, 07T2K, 07T2F, 07N2A, 07N2K, 07N2F, 07T3A, 07T3K, 07T3F, 07N3A, 07N3K, 07N3F) mintavételi helyeiről vizsgált próbatestek hajlító rugalmassági modulusa, $MOE = 9020,85-15919,65$ [MPa] között változott (**92. táblázat**).

92. táblázat – MOE, az érlelés és a rakatban elfoglalt pozíció függvényében (Zemplén 07) [MPa]

származás	Zemplén					
	MOE [MPa]					
	2 éves			3 éves		
érlelés						
hely	A	k	f	a	k	f
átlag	11780,64	13616,70	13132,46	12528,21	13148,29	11595,65
rakat átlag	12861,6796			12448,2369		
szárm átlag	12646,3121					
szórás	1136,58	1477,35	1234,17	1054,65	1829,76	1419,81
minimum	9719,04	10034,18	10240,34	10672,48	9020,85	9633,78
maximum	14028,64	15831,93	15804,11	15177,95	15919,65	15337,24
Var. %	9,65%	10,85%	9,40%	8,42%	13,92%	12,24%

Az érlelési idők és rakatszintek közötti hajlító rugalmassági modulus különbségeket a **82. ábra** szemlélteti



82. ábra – A zempléni minták faktorok szerinti hajlító rugalmassági modulusa [MPa]

A hajlító rugalmassági modulusok közötti viszonyított eltérést, érlelési időn belül, és azok között a **93. táblázat** mutatja.

93. táblázat – MOE faktorokon belüli maximális átlagkülönbsége (Zemplén 07) [%]

Zemplén (07) Érlelés	MOE	
	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti MOE átlagkülönbsége [%]	13,48	11,81
2 éves ill. 3 éves minták MOE átlagainak különbsége [%]	-3,32	

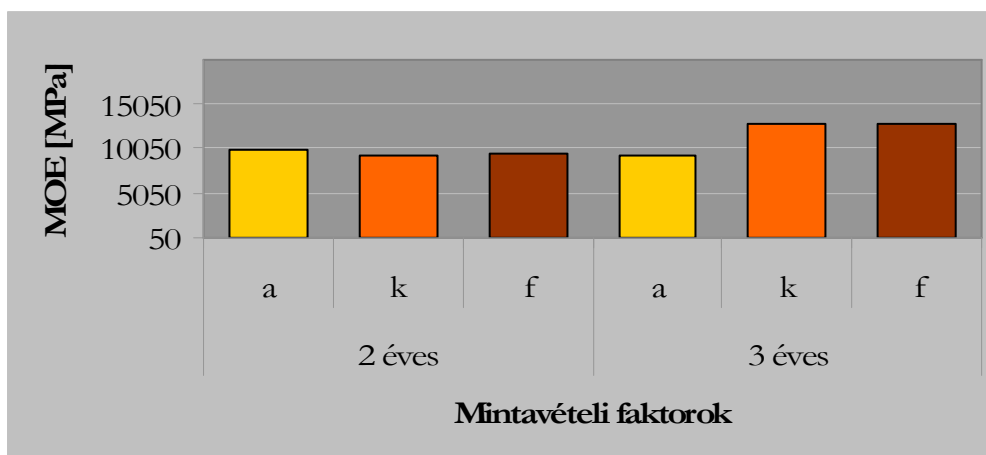
A **zempléni** minta átlagos **MOE** értékei között az érlelési idő tekintetében minimális különbségeket mértem. ($MOE_{2-3} = -3,32\%$) (**93. táblázat**). 2 éves szárítás után a rakatszintek átlagértékei között azonban magas, 13,48% maximális eltérést tapasztaltam, mely érték a 3 éves érlelés után 11,81% volt.

A vizsgálati eredmények tekintetében az **amerikai** (10T2A, 10T2K, 10T2F, 10N2A, 10N2K, 10N2F, 10T3A, 10T3K, 10T3F, 10N3A, 10N3K, 10N3F) mintavételi helyekről vizsgált próbatestek hajlító rugalmassági értékei, $MOE = 6270,44\text{--}16600,24$ [MPa] között változtak (**94. táblázat**).

94. táblázat – MOE, az érlelés és a rakatban elfoglalt pozíció függvényében (Amerika 10) [MPa]

származás	Amerika					
	MOE [MPa]					
	2 éves			3 éves		
érlelés hely	A	k	f	a	k	f
átlag	10012,84	9269,90	9387,94	9135,16	12727,02	12722,56
rakat átlag	9549,3850			11556,6789		
szárm. átlag	10518,4234					
szórás	1317,53	1473,73	1314,55	1188,96	2048,14	1683,97
minimum	7490,93	6740,13	6794,33	6270,44	8899,07	8597,97
maximum	12003,45	12441,98	11760,06	11945,66	16600,24	15535,83
Var.%	13,16%	15,90%	14,00%	13,02%	16,09%	13,24%

Az érlelési idők és rakatszintek közötti hajlító rugalmassági modulus különbségeket a **83. ábra** szemlélteti



83. ábra – A zempléni minták faktorok szerinti hajlító rugalmassági modulusa [MPa]

A hajlító rugalmassági modulusok közötti viszonyított eltérést, érlelési időn belül, és azok között a **95. táblázat** mutatja.

95. táblázat – MOE faktorokon belüli maximális átlagkülönbsége (Amerika 10) [%]

Amerika (10) Érlelés	MOE	
	2 éves	3 éves
rakatszintek közötti MOE átlagkülönbsége [%]	7,42	28,22
2 éves ill. 3 éves minták MOE átlagainak különbsége [%]	17,37	

Az **amerikai** minta átlagos **MOE** értékei között az érlelési idő tekintetében az átlagnál magasabb viszonyított különbségeket mértem. ($MOE_{2,3} = -3,32\%$) (**95. táblázat**). 2 éves szárítás után a rakatszintek átlagértékei 7,42% maximális eltérést tapasztaltam, mely érték a 3 éves érlelés után kimagaslóan magas 28,22% volt.

Összegzésként megállapítható, hogy hajlító rugalmassági modulus eredményeim, magyar és amerikai származások tekintetében is közel megegyeznek az irodalmakban fellelhető kocsánytalan tölgyekre vonatkozó átlagos **MOE** értékekkel. A származási helyek átlagos hajlító rugalmassági jellemzőinek leíró statisztikai értékelését az **96. táblázat** mutatja.

96. táblázat – Származásonként vett hajlító rugalmassági modulus értékek leíró statisztikai bemutatása

	MOE [MPa]
Mecsek	12163,395
Somogy	12441,194
Zala	12631,753
Zemplén	12646,312
Magyar kt. tölgy	12476,175
szórás	1861,739
minimum	7125,640
maximum	17429,080
var. koeff.	14,92%

Irodalmi érték 9200...**13000**...13500

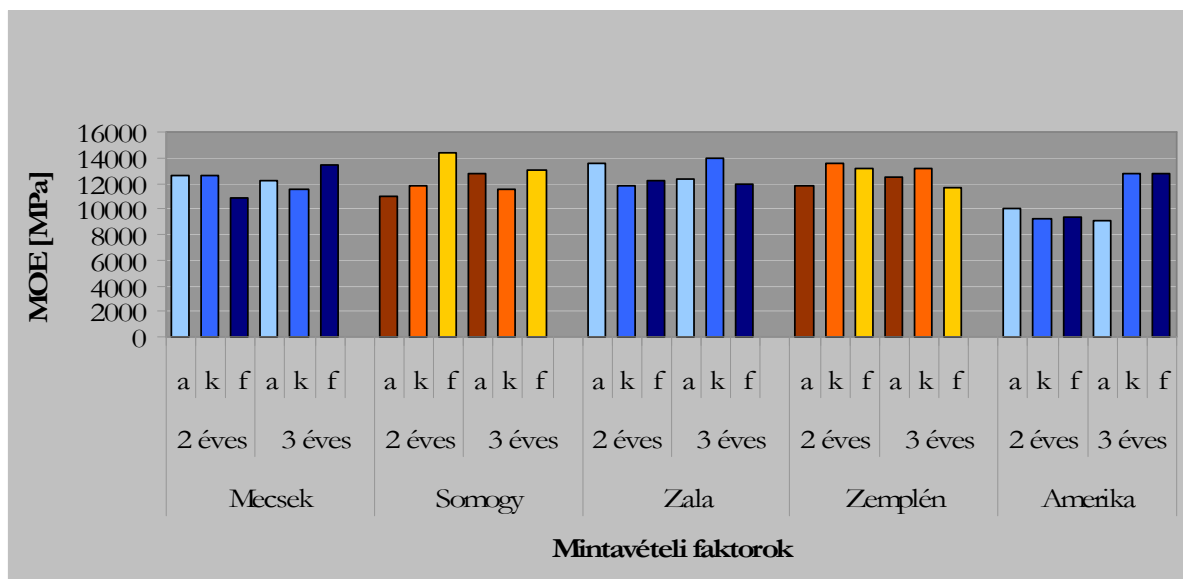
	MOE [MPa]
Amerikai f. tölgy	10518,423
szórás	2171,666
minimum	6270,440
maximum	16600,240
var. koeff.	20,65%

Irodalmi érték ...**12500**...15100

(WAGENFÜHR, 1996)

A mért **MOE** értékek az összes magyar származás tekintetében megközelítették az irodalmi értéket. A nagy mintaszám, illetve próbatestek tökéletes anatómiai kialakítása miatt mérésem mérvadónak tekinthető. Az amerikai próbatestek átlagértékei azonban nagyobb eltérést mutatnak az irodalmi amerikai fehér tölgyre vonatkozó átlagos értéktől. Ennek oka valószínűleg az, hogy a vizsgált tételek egy szállítmányból származnak, tehát a kivágásuk is feltehetőleg egy szűk területegységen történt. A rakatokból történt mintavételek magas száma ellenére sem beszélhetünk így homogén mintáról, és eredményeink, az amerikai fehér tölgy fafajra vonatkozólag sem tekinthetők homogénnek.

Az **összes** származási helyen mért **MOE** átlagokat a **84. ábra** szemlélteti.



84. ábra – Mintavételi helyeken mért átlagos hajlító rugalmassági modulus értékek

A leíró statisztika alapján, a mérési eredmények ismeretében általánosan elmondható, hogy származásonként a rakaton belüli betárolási szintek (alsó-középső-felső) között, hajlító rugalmassági modulus tekintetében minimális eltérések mutatkoznak. A felső mintavételi helyeken nem minden esetben kaptam alacsonyabb **MOE** értéket, tehát az inhomogén szerkezet, a degradáció illetve a vízzoldható alkotók csapadék általi kioldódása a vizsgált jellemzőre nincs egyértelmű hatással.

A 2, illetve 3 évig érlelt magyarországi anyagok **MOE** értékei között elhanyagolható, (-3,32) – (+3,35)% viszonyított különbséget mértem, mely a magyar termőhelyek és a fajta homogenitását támasztják alá. Az amerikai származás esetén a 2, illetve 3 évig érlelt anyagok között 17,37%-os viszonyított eltérést tapasztaltam. A nagy eltérés felvetheti annak is a lehetőségét, hogy a két szállítmány nem azonos területről vagy kitermelésből származik, ez azonban a külföldi beszerzés miatt sajnos nem visszakövethető.

Az eredmények ismeretében elmondhatom, hogy a nyomószilárdság statisztikai **varianciaanalízis** vizsgálata, a származási, illetve rakatszint faktorok tekintetében, (XVI–XIX. sz. melléklet), szignifikáns különbséget mutat 95%-os megbízhatósági szinten.

Homogén átlagok részhalmazainak vizsgálatakor a Duncan teszttel, a származás tekintetében egymástól szignifikánsan eltérő két csoportot mutattam ki (**97. táblázat**), mely szerint **MOE** tekintetében a magyar származási helyek közül mecsek, zala, északkeleti termőhelyekről származó minták hasonlóak és külön csoportba sorolhatók. A legalacsonyabb somogy és a hasonlóan alacsony amerikai próbatestek külön csoportot alkot.

97. táblázat – A MOE származások szerinti Duncan elemzése

MOE / Származás

Duncan ^{a,b}

Származás	N	Megbízhatósági szint = 95%	
		1	2
Somogy	263	10307,35	
Amerika	260	10529,37	
Mecsek	236		12161,42
Zala	248		12631,74
Északerdő	263		12646,31
Sig.		0,374	0,066

A betárolási szintek szerint lefuttatott homogén átlagok részhalmazainak Duncan vizsgálata kimutatta, hogy a rakatszintek különálló csoportokként szignifikánsan eltérnek (98. táblázat). A felső szint mutatta a legalacsonyabb hajlító rugalmassági értékeket, mely szintén alátámasztja, hogy az időjárás degradáló hatása mechanikai tulajdonságokat csökkentő tényező.

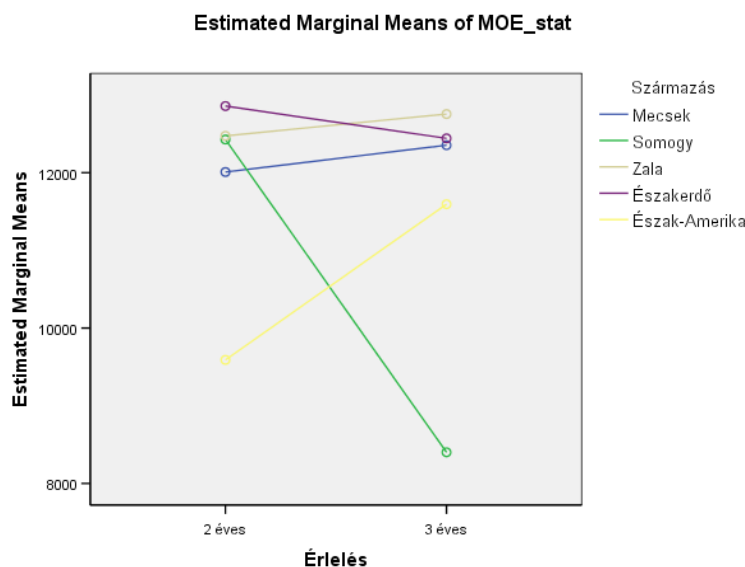
98. táblázat – A MOE rakatszintek szerinti Duncan elemzése

MOE / Rakatszint

Duncan ^{a,b}

Származás	N	Megbízhatósági szint = 95%		
		1	2	3
Felső szint	426	10877,83		
Alsó szint	414		11788,33	
Középső szint	430			12239,28
Sig.		1,000	1,000	1,000

Az egyes származásokon belüli minták között a kitétségi/érlelési idő függvényében a hajlítószilárdsági értékek között nincs jelentős különbség. Mértékét tekintve azonban az amerikai és a somogyi minta különbözősége szembe tűnő (85. ábra).



85. ábra – Az érlelési idő és a hajlítószilárdság kapcsolata

4.2.3.2 Roncsolásmentes hajlítórugalmasági modulus vizsgálat

A mérést akusztikai elven működő roncsolásmentes vizsgálati módszerrel is elvégeztem, mellyel a roncsolásos vizsgálati módszernél minden faktor esetében 17-18%-al magasabb értékeket mértem. Ennek oka az, hogy a hajlítórezgés első módusát használó formula nem veszi figyelembe az ébredő nyírás hatását, de ennek ismeretében tönkremenetel nélkül biztonságosan számítható a rugalmassági modulus értéke.

A származási helyek akusztikai módszerekkel mért átlagos hajlító rugalmassági értékeit és leíró statisztikai értékelését az **99. táblázat** mutatja.

99. táblázat – Roncsolásmentes hajlító rugalmassági modulus értékei a származási átlagok szerint

	MOE _{akk} [GPa]
Mecsek	14,583
Somogy	15,120
Zala	15,120
Zemplén	15,249
Magyar kt. tölgy	15,028
szórás	2,400
minimum	3,650
maximum	22,752
var. koeff.	15,97%

Irodalmi érték n. a.

	MOE _{akk} [GPa]
Amerikai f. tölgy	12,415
szórás	2,677
minimum	7,451
maximum	20,895
var. koeff.	21,56%

Irodalmi érték n. a.

5 Összefoglalás

A legkorszerűbb minőségbiztosítási rendszerekben a legmagasabb értéket képviselő minőségi alapanyagok felhasználás előtti minden életfázisa kontrollálva van. Az előállítástól a szállításon és tároláson át a megmunkálásig, majd pedig a későbbiekben a termék használata során is követik az anyag változásait. Fatermékek esetében a nagy értékű alapanyag, a speciális anyagtulajdonságoknak és alkalmazott előkészítési folyamatoknak köszönhetően óhatatlanul is szenved minőségbeli romlást, mely degradáció hatásaival anyagtudományi kutatás még nem foglalkozott. Ezen hiányosság pótlására kezdtem foglalkozni a több éves szabadtéri természetes szárítású faanyag fizikai és mechanikai tulajdonságainak degradációjával, mely vizsgálatok fölkeltek az ipar figyelmét is. A fatermékek előállítása, a termékkihozatal és a gyártási selejtképződés szempontjából egyaránt nagy szerepe van a faanyag anatómiai szerkezetének, fizikai- és mechanikai tulajdonságainak, melyek tárolás vagy előkészítés közbeni degradációja jelentős gazdasági hátrányokat okozhat.

A kutatási célnak megfelelően az ipari igények figyelembevételével 4 jellemző hazai termőhelyről (Zemplén, Mecsek, Zala, Somogy,) származó kocsánytalan tölgyet és Észak–Amerika Wisconsin államából származó fehér tölgyet vizsgáltam. A különböző származásokon belül elkülönítetten elemeztem a természetes száradásnak kitett dongarakatokon belül az alsó, középső, felső szinten betárolt anyagokat.

A hordógyártás sok évszázados hagyományokon nyugszik, mely tapasztalati úton, modern anyagtudományi ismeretek nélkül alakult ki. Ezért kutatásom célja alapvetően az volt, hogy a fafaj, a különböző származások és rakaton belüli kitettségek, továbbá bizonyos anatómiai jellemzők hatásait meghatározzam és rávilágítsak arra, hogy a sajátos faanyagjellemzők, mint pl. az évgyűrű és pásztszerkezet homogenitása, a faanyag sűrűsége, a pórusterfogát, a zsugorodási és dagadási sajátosságok, a fatest túliszesedése miként befolyásolják a gyártás és a hordó, mint késztermék igényeit. A mechanikai vizsgálatok közül pedig fontosnak tartottam a hajlító- és nyomószilárdság vizsgálatát, mely igénybevételek a hordónál is jelentkeznek használatuk során.

1. A minőségi fatermékek készítéséhez vezető műveletek sorában a megfelelő rönk alapanyag kiválasztása után a második legfontosabb az alapanyag szárítása, a felhasználáshoz szükséges nedvességtartalom beállítása. Cél az, hogy a mindenkori felhasználási területeknek megfelelő egyensúlyi fanedvességet állítsunk be, továbbá, hogy a kíméletes, lassú szárítással csökkentsük a zsugorodásból eredő belső feszültségeket is. A száradás függ a közeg relatív páratartalmától, hőmérsékletétől és a légmozgás intenzitásától, azonban ha ezek megközelítőleg állandónak vehetők előtérbe kerülhetnek a faanyag tulajdonságai és a technológiai különbségek. Vizsgálataim során rámutattam arra, hogy szabadlevegős előszárítással, az alapanyag nem minden vizsgálati faktor esetén tudja elérni a hordóknál elvárt 12–18%-os nedvességtartalmat. A 2 éves illetve 3 éves szabad levegőn történő szárítás között is jelentős, közel 4% nettó nedvességtartalmi eltérés van. A 2. év után tapasztalt rakatokon belüli magas nedvességbeli eltérések a 3. év végére lecsökkentek kiegyenlítődtek. Ez nedvesség tekintetében homogénebb rakatot eredményezett. Az előzetes, mintavételi nedvességvizsgálat rámutatott arra, hogy a vegetációs fázis után (ősz-tél) kitermelt faanyag, és annak frízzé való feldolgozása és rakatolása, az időpontját tekintve (tél: nov.-febr., nyár: márc.-máj.) nem befolyásolja a kívánt nedvességtartalom elérését. A téli illetve nyári betárolás (faktorok) hatása a végső nedvességtartalomra tehát nem kimutatható, és ezen két faktor a többi vizsgált anyagtulajdonságot sem befolyásolja számottevően.

2. A fa szövetszerkezete nem egyöntetű ezért az azonos egyedből, vagy akár ugyanazon fríz anyagból vett minták tömörsége is változó lehet. Ezért a nagy mintaszámmal végzett vizsgálat átlagértékével jól jellemezhető a vizsgált fafajt. A faanyag sűrűségét több tényező is befolyásolja. Ez lehet természetes, főképp a termőhelyi adottságok okozta különbség, de kutatásom esetében a szabad levegőn való szárítás / érlelés miatt, az időjárás degradáló hatása is megjelenhet, mint a sűrűség anyagjellemzőt befolyásoló hatás. A vizsgálat során labor körülmények között 20°C/65% relatív páratartalom mellett, illetve abszolút száraz állapotban végeztem méréseket. A felhasználási terület elvárásainak megfelelően csak és kizárólag hibamentes alapanyagból kialakított próbatestekkel dolgoztam, így a sűrűségekre ható tényezők közül a származási hely, érlelési idő, illetve a rakatokban elfoglalt pozíció hatásai jelentkezhetnek súlyozottan. Megállapítást nyert, hogy a mért sűrűségi átlagértékek az összes magyar származást nézve megegyeztek az irodalomban fellelhető, kocsánytalan tölgyekre vonatkozó értékkel, míg az amerikai mintákat nézve az irodalmi fehér tölgyekre vonatkozó értéktől 1-2%-al alacsonyabb adatokat mértem. Elmondható, hogy származás tekintetében jelentősen elkülönül az amerikai fehértölgy sűrűsége a magyar mintákétól (értéke közel 10%-al magasabb), míg csak a magyar származásokat nézve az egységes sűrűségi átlagértékek közül az Északerdő/Zemplén mutat minimálisan nagyobb értékeket. A rakatban elfoglalt pozíció nem okoz sűrűségbeli változást a faanyagban.
3. A hordók használata során bekövetkező méretváltozások ismerete elsősorban a dongavasak méretezéséhez szükséges. A dongaanyag pontos anatómiai irányainak betartásával, a szállkifutás elkerülésével, legfőképp a sugár- illetve a húr irányú méretváltozásnak van befolyásoló hatása a hordóra nézve. A szakmai szempontok szerint, mivel a gyártást követően (a pince klíma és a hordóban tárolt folyadék hatására) a hordó anyaga nedvességet vesz fel, fontos az említett dagadási jellemzők ismerete. Vizsgálataimmal megállapítottam, hogy magyar származású minták dagadási értékei lényegesen meghaladták az irodalmi értékeket (D_h esetén 7,8% helyett 9,4%, mely közel 18%-os különbséget jelent, D_s esetén 4,0% helyett 4,8%). Amerikai fehértölgy dagadási értékei mindkét vizsgált anatómia irány esetén az irodalmi átlag közelében voltak. Az amerikai faanyag húr irányú dagadása (9,11%) jobbnak bizonyult a magyar származású próbatestekhez képest (9,47%), azonban a sugár irányú dagadásban, a magyar kocsánytalan tölgyek átlagértéke (4,82%) mutat jobb vonalas mérettartást az amerikai (6,23%) átlagértékkel szemben. A magyar származási helyek rangsorolásával, minimális különbséggel a somogyi termőhely mintáinak dagadási értékei alacsonyabbak. Az összes vizsgált próbatest dagadási értékeit a rakatban elfoglalt pozíció függvényébe vizsgálva megállapítottam, hogy a felső rakatszinten érlelt anyagok dagadási hajlama alacsonyabb. Az érlelés időtartamának nincs hatása a vizsgált tulajdonságokra.
4. Az évgyűrűk tulajdonságai, mint termőhelyi és fajtajellemzők kerültek elemzésre. Irodalmi értékek hiányában eredményeim hiánypótlóak ezen a területen. Elmondható, hogy a magyar területekről származó anyagok átlagos évgyűrűsége kisebb (1,92 mm, míg az amerikai anyagoké 2,08), továbbá a késői pászta arányának vizsgálata is a magyar kocsánytalan tölgy próbatesteknél hozott előnyösebb értéket (77,7% az amerikai 75,9%-al szemben). A vizsgált magyarországi tölgyek évgyűrűségeit nézve a mecseki próbatesteken mértem a legkisebb értékeket (átlagosan 1.64 mm-t). A rangsorban második legkeskenyebb évgyűrűjű származási hely az Északerdő/Zemplén, azonban a fennmaradó két magyar illetve az amerikai származás évgyűrű szélességi értékei hasonlóak.

Vonalas késői pászta értékek a magyar származás függvényében Zala esetén mutatták a legmagasabb 81,27%-os értéket, míg a többi magyar származás késői pászta aránya azonosnak mondható (~77,4%).

5. Nyomószilárdság tekintetében a magyar származási helyeken az általam mért eredmények megközelítik az irodalmakban fellelhető kocsánytalan tölgyekre vonatkozó átlagos σ_{ny12} értéket. Az amerikai fehértölgyön végzett nyomószilárdsági vizsgálat azonban, az irodalmi maximumnál is magasabb értékeket adott. A mérési eredmények ismeretében az összes származást és próbatestet nézve kijelenthető, hogy sem származások között, sem a rakaton belüli betárolási szintek között, sem pedig az érlelési idő tekintetében nincs lényeges nyomószilárdságbeli eltérés.

A mechanikai igénybevételek közül leginkább a hajlító igénybevétel jelenik meg, mint jellemző terhelés a hordó gyártása illetve használata során. A vizsgálati eredmények, magyar és amerikai származások tekintetében is megegyeznek az irodalmakban fellelhető kocsánytalan tölgyekre vonatkozó átlagos σ_{h12} értékekkel mely szerint valójában a két vizsgált faj között sincs számottevő hajlítósilárdságbeli különbség. A mérési eredmények ismeretében általánosan elmondható, hogy származásonként a rakaton belüli betárolási szintek (alsó-középső-felső) között, hajlítósilárdság tekintetében minimális eltérések vannak. A felső mintavételi helyeken nem minden esetben kaptam alacsonyabb σ_{h12} értéket, tehát a degradáció illetve a vízdoldható alkotók kioldódása a hajlítósilárdságra nincs egyértelmű hatással.

Az érlelés időtartama sem befolyásolja a vizsgált tulajdonságot.

6. A mért **MOE** értékek az összes magyar származás tekintetében megközelítették az irodalmi értéket. A nagy mintaszám, illetve próbatestek tökéletes anatómiai kialakítása miatt ezen mérés is mérvadónak tekinthető. Az amerikai próbatestek átlagértékei azonban nagyobb eltérést mutatnak az irodalmi amerikai fehér tölgyre vonatkozó átlagos értéktől. Ennek oka valószínűleg az, hogy a vizsgált tételek egy szállítmányból származnak, tehát a kivágásuk is feltehetőleg egy szűk területen történt. A rakatokból történt mintavételek magas száma ellenére sem beszélhetünk így homogén mintáról.

Elmondható, hogy somogyi és Észak-amerikai származások a hajlító rugalmassági modulust nézve egy csoportot alkotnak, mely jelentősen alacsonyabb értékeivel elkülönül a többi származási helytől. A többi származási hely, úgy mint mecsek, zala északerdő kedvezőbb értékeket mutat.

A rakatban elfoglalt pozíció szerinti vizsgálat egyértelműen a felső szint alacsonyabb MOE értékeit mutatja.

6 Az értekezés tézisei

1. Vizsgálataimmal bizonyítottam, hogy a minőségi fatermékek gyártásában kulcsfontosságú, szakirodalmakban Közép-európai klímára megadott szabadlevegős szárítással elérhető 12-20%-os nettó nedvességtartalom, nem minden időjárási körülmények között teljesíthető. Hazai viszonyok között a fenti nedvességtartalom, kocsánytalan tölgy fedetlen szabadlevegős szárításakor hosszabb időtartamon érhető el, csak a 3. év végére teljesül. Igazoltam, hogy a 2. év után még fennálló rakatokon belüli kiugró nedvességbeli eltérések a 3. év végére lecsökkennek kiegyenlítődnek, mely nedvesség tekintetében homogénebb rakatokat eredményez.
2. Kísérletekkel igazoltam, hogy a vegetációs fázis végén (ősz-tél), illetve tavasszal feldolgozott kocsánytalan tölgy rönk, és belőle kialakított dongafríz anyag végső (3 évvel későbbi) nedvességét nem befolyásolja a rönk feldolgozásának és a dongafríz betárolásának időpontja. A téli illetve nyári betárolás hatása a végső nedvességtartalom mellett a vizsgált fizikai és mechanikai tulajdonságokra nem kimutatható, ezért anyagelőkészítésben nem szükséges a két betárolás megkülönböztetése és elkülönítése.
3. Vizsgálataimmal feltártam, hogy a magyarországi kocsánytalan tölgy származási helyek alapanyagában nincs lényeges sűrűségbeli különbség, azaz a sűrűség tekintetében azonos minőségről beszélhetünk. A mért eredmények teljes mértékben fedik az erre vonatkozó irodalmi értékeket. Ezzel szemben az amerikai fehértölgy sűrűsége jelentősen, 10%-al magasabb a hazai kocsánytalan tölgnél.
Minőségi termék- és hordógyártás szempontjából a különböző hazai származású kocsánytalan tölgy alapanyagok azonos minőségűnek tekinthetők, gyártástechnológiai módokat nem igényelnek, azonos technológiával egységes minőségű termék biztosítható.
4. Vizsgálatokkal kimutattam, hogy a legmagasabb minőségi osztályba sorolható magyarországi kocsánytalan tölgyek dagadási értékei lényegesen meghaladják az irodalmi értékeket (d_h esetén 7,8% helyett 9,4%, d_s esetén 4,0% helyett 4,8%). A mért magasabb értékek szükségessé teszik a jelenleg használt, irodalmi értékek szerinti abroncsméretezés felülvizsgálatát és kiigazítását, amellyel elkerülhető illetve csökkenthető a dongákat összefogó abroncs- és azok szegecseinek szakadása.
5. Rakatszintek hatásának vizsgálatával kísérletileg igazoltam, hogy a feltételezett nagymértékű minőségbeli változások a rakatszintek között nem alakulnak ki, tehát a tölgy alapanyagok rakaton belüli helye nincs hatással a faanyag műszaki tulajdonságaira.
6. Vizsgálatokkal feltártam, hogy az amerikai fehér tölgy átlagos évgyűrűsége nagyobb, mint a magyarországi tölgyeknél mért érték, miközben a kései pászta aránya ellenkező tendenciát mutat. Az amerikai fehér tölgy közel 10%-os sűrűség-többletét a nagyobb tölzsesedésre és anyagberakódásra való hajlam okozza. Ennek eredménye, hogy az Észak-amerikai fehértölgy szilárdsági és rugalmassági tulajdonság értékei alacsonyabbak a hazai kocsánytalan tölgyekkel szemben.
7. Kutatásaimmal egyértelműen rámutattam arra, hogy a vizsgált tölgyek közül a Északerdő/zempléni, a mecseki és a zalai származású alapanyag rugalmassága kedvezőbb, azaz magasabb értéket mutat mint a somogyi minta. A gyártás során a

dongaösszehúzás műveleténél jelentkező selejtképződés, vagyis a dongatörések alacsonyabb lehetséges száma miatt ezen három, jobb rugalmassági tulajdonsággal rendelkező kocsánytalan tölgy anyag technológiai szempontjából alkalmasabb hordógyártásra.

7 Irodalomjegyzék

1. Anderson, E. L.; Pawlak, Z.; Owen, N. L.; Feist, W. C. (1991a). Infrared studies of wood weathering. Part I: Softwoods, *Applied Spectroscopy* **45**(4), pp. 641–647.
2. Anderson, E. L.; Pawlak, Z.; Owen, N. L.; Feist, W. C. (1991b). Infrared studies of wood weathering. Part II: Hardwoods, *Applied Spectroscopy* **45**(4), pp.648–652.
3. Auer, J.; Rawyler, A.; Dumont-Béboux, N. (2006). Elevage deg vins du terroir en fûts de chêne du terroir. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **38** (6), pp. 379-387
4. Auer, J.; Rawyler, A.; Dumont-Béboux, N.; Horisberger, D. (2007). Schweizer Barriques mit Ursprungsgarantie «Terroir Chêne». *Schweiz. Z. Obst-Weinbau* **3**, pp. 6-9
5. Babos, K. (1987). A tölgypusztulás néhány szövettani (anatómiai) vonatkozása, *Erdészeti Kutatások* **79**, pp. 255-261.
6. Babos, K.; Filló, Z.; Somkuti, E. (1979). Haszonfák, *Mezőgazdasági Kiadó*, Budapest
7. Babos, K.; Filló, Z.; Somkuti, E. (1979). Haszonfák Műszaki Könyvkiadó Budapest pp. 51-81
8. Barlay, E. (1952). Fontosabb fafajaink meghatározása, *Könnnyűipari Kiadó*, Budapest
9. Bartha, D. (1999). Magyarország fa-és cserjefajai, *Mezőgazda Kiadó*, Budapest
10. Béky A. (1987). A tölgyhervadás-folyamat vizsgálatának tapasztalatai a hosszú lejáratú kocsánytalan tölgy fatermési kísérleti területeken, *Erdészeti Kutatások* **79**, pp. 241-242.
11. Béky, A.; Fodor, S.; Hargitai, L.; Lengyel, Gy.; Marosvölgyi, B.; Márkus, L.; Ifj. Solymos, R.; Szappanos, A.; Széll, L.; Tóth, K. (1989). A tölgy termesztése és hasznosítása, *Mezőgazdasági Kiadó*, Budapest, pp. 204-228.
12. Billings, R.F. (2000). State forest health programs: a survey of state foresters. *Journal of Forestry* **98**, pp. 20–25
13. Billings, R.F. (2008). The Texas cooperative oak wilt suppression project: lessons learned in the first twenty years. In: Billings, R.F., Appel, D.N. (Eds.), *Proceedings of the Second National Oak Wilt Symposium*, Austin, pp. 225–236
14. Brockman, C. F. (1996). Trees of North America, *Golden Field Guide St. Martin's Press*, pp. 120-137
15. Budó I. (1972). Kísérleti fizika I. *Tankönyvkiadó*, Budapest
16. Cadahía E.; Muñoz L.; Fernández de Simón B.; García-Vallejo M. C. (2001a). Changes in low molecular weight phenolic compounds in Spanish, French and American oak Woods during natural seasoning and toasting. *J. Agric Food Chem.* **49**, 1790–1798.

17. Cadahía E; Varea S.; Muñoz L.; Fernández de Simón B.; García-Vallejo M. C. (2001b). Evolution of ellagitannins in Spanish, French and American oakwoods during natural seasoning and toasting. *J. Agric. Food Chem.* **49**, 3677–3684
18. Caius Plinius Secundus Maior (Kr. u. 77). *Naturalis Historiae*, Roma
19. Chatonnet P., (1995). Le séchage et la maturation des bois en tonnellerie. *Rev. Fr. Oenol.* **35** (151). pPp. 33-38
20. Chatonnet P.; Boidron J.-N.; Dubordieu D.; Pons M. (1994b). Evolution des composés polyphénoliques du bois de chêne au cours de son séchage. Premiers résultats. *J. int. Sci. Vigne Vin* **28** (4), pp. 359-380.
21. Chatonnet P.; Boidron J.-N.; Dubordieu D.; Pons M., (1994a). Evolution des composés polyphénoliques du bois de chêne au cours de son séchage. Premiers résultats. *J. int. Sci. Vigne Vin* **28** (4), pp. 337-357.
22. Chatonnet P.; Dubordieu D.; (1998). Identification of substances responsible for the saw-dust aroma in oak wood
23. Chui, Y.H.; Smith, I. (1990): Influence of Rotary Inertia Shear Deformation and Support Condition on Natural Frequencies of Wooden Beams. *Wood Science and Technology*, (24) pp. 233-245
24. Divós F.; Dániel, I. ; Hodász, E.; Járasi, J. (1994b). Experimental Investigation of Thirteen Strength Predictor Parameters of Coniferous Wood, *Proceedings, First European Symposium on Nondestructive Evaluation of Wood*, Sopron, pp. 86
25. Divós F.; Mészáros K. (1994a). Root Decay by Stress Wave Technique, *Proc. of the First European Symposium on Nondestructive Evaluation of Wood*, Sopron, pp. 524.
26. Divós F.; Mészáros K. (1995). Új roncsolásmentes favizsgáló módszer, *Erdészeti és Faipari Tud. Közl.*, Sopron
27. Divós, F. (1993). Fenyő faanyagok roncsolásmentes vizsgálata rezgéselemzés, csavarállóság és γ -sugárzás segítségével, Kandidátusi értekezés
28. Eggers, J.; Juzwik, J.; Bernick, S.; Mordaunt, L. (2005). Evaluation of propiconazole operational treatments of oaks for wilt control. *Research Note NC-390 of the USDA Forest Service*. North Central Research Station, St. Paul, MN.
29. Erdőbénye története, (<http://www.erdobenye.hu/>)
30. Evans, P. D.; Michell, A. J.; Schmalzl, K. J. (1992). Studies of the degradation and protection of wood surfaces, *Wood Science and Technology* **26**(2), pp. 151–163.
31. FAO 2010 Forestry Statistics today for tomorrow, Roma
32. Fehér, Cs.; Horváth, M.; Taschner, R. (2002). Koncertminőségű xilofon készítése, TDK-dolgozat, NyME Sopron.

33. Führer, E. (1989): Kocsánytalan tölgyes állományok megbetegedése és az időjárás közötti összefüggés elemzése. *Az Erdő* **38** (7), pp.296-296.
34. Galligan, W. L.; Pellerin, R. F. (1964). Nondestructive Testing of Structural Lumber, *Materials Evaluation*, **22** (4).
35. Galligan, W. L.; Pellerin, R. F. (1967). Dynamic Tests for Nondestructive Analysis of Lumber Quality , *Defense Technical Information Center, Suite*, pp. 386
36. Gay, P. (2001). L'Atlas du bois, *Edition de Monza*, Paris, pp.465
37. Gencsi, L.; Vancsura, R. (1992). Dendrológia, *Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó*, Budapest
38. Gregus, P. (1959): Holzanatomie der europäischen laubhölzer und straucher, *Akadémiai Kiadó*, Budapest
39. Gu, L. W.; Kelm, M. A. (2003). Screening of foods containing proanthocyanidins and their structur l characterization using LC-MS/MS and thiolytic degradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **51**(25) pp. 7513-7521
40. Gu, L. W.; Kelm, M. A. (2004). Concentrations of proanthocyanidins in common foods and estimations of normal consumption. *Journal of Nutrition* **134**(3) pp. 613-617.
41. Henry, B.W.; Moses, C.S.; Richards, C.A.; Riker, A.J. (1944). Oak wilt: its significance, symptoms, and cause. *Phytopathology* **34**, pp. 636–647
42. Hon, D. N.-S. (1981a). Photochemical degradation of lignocellulosic materials. *Developments in Polymer Degradation–3*. Essex: Applied Science Ltd. Chapter **8**, pp. 229–281.
43. Hon, D. N.-S. (1981b). Weathering of wood in structural use. *Environmental Degradation of Engineering Materials in Aggressive Environments*. Proceedings of Second International Conference on Environmental Degradation of Engineering Materials. September 21–23, 1981, Blacksburg, VA.
44. Jaccard P. (1936). Mikroskopische Holzstruktur und Holzbestimmung, pp.41-54; 65-82
45. Juzwik, J.; Harrington, T. C.; MacDonald, W. L.; Appel, D. N. (2008). The origin of *Ceratocystis fagacearum*, the oak wilt fungus. *Annual Review of Phytopathology* **46**, pp. 13–26
46. Kállay, M.; Eperjesi, I.; Récsy, A.; Magyar, Ildikó (1998). Borászat, *Mezőgazda Kiadó*, Budapest
47. Kamoun, D.; Merlin, A.; Deglise, X.; Urizar, S.H.; Fernandez, A. M. (1999). Electron paramagnetic resonance spectroscopy study of photodegradation of lignins extracted and isolated from *Pinus radiata* wood. *Annals of Forest Sci.* **56**(7), pp. 563–578.
48. Keresztesi, B. (1967). A tölgyek, Akadémiai Kiadó Budapest
49. Kollmann, F. (1941). Die Esche und ihr Holz, Berlin

50. Kovács I. (1979). Faanyagismerettan, *Mezőgazdasági Kiadó*, Budapest
51. Kovács, I. (1979). Faanyagismerettan, *Mezőgazdasági Kiadó* Budapest pp. 21-336.
52. Kürschner, K. (1962). Chemie des Holzes, *VEB Deutscher V. der Wissenschaften*, Berlin
53. Little, E. L. (1980). Field Guide to Trees, *National Audubon Society* pp.328-411
54. Marra, G. G.; Pellerin, R. F.; Galligan, W. L. (1966). Nondestructive determination of wood strength and elasticity by vibration, *Holz als Roh- und Werkstoff*, (24), pp 460-466
55. Mattech, C.; Breloer, H. (1993). Handbuch der Schadenskunde von Baumen, *Rombach Verlag* Freiburg
56. Matthews, B.; Zombori, B.; Divós, F. (1994). The effect of moisture content and temperature on the stress-wave parameters, *Proceedings, First European Symposium on Nondestructive Evaluation of Wood, Sopron, 1994*
57. Molnár, S. (1999). Faanyagismeret, *Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó*, Budapest
58. Molnár, S. (2004). Faanyagismeret, *Szaktudás Kiadó*, Budapest
59. Molnár, S. (2006). Fahibák, fakárosítások, Sopron, (online verzió: <http://fahiba.fmk.nyme.hu>)
60. Molnár, S.; Bariska, M. (2002). Magyarország ipari fája, *Szaktudás Kiadó Ház*, Budapest, pp. 7.,
61. Molnár, S.; Peszlen, I.; Paukó, A. (2007). Faanatómia, *Szaktudás Kiadó Ház*, Budapest
62. Möller J. (1876). Holzanatomie., pp. 43-123
63. Müller N. J. C. (1888). Atlas der Holzstruktur
64. Németh, K. (1989). A faanyag abiotikus degradációja, *Akadémiai doktori értekezés*, Sopron
65. Németh, K. (1989). A faanyag fotodegradációja, *Faipar* **39**(11), pp. 330-332.
66. Németh, K. (1997). Faanyagkémia *Szaktudás Kiadó Ház Zrt.*, Budapest, pp. 21-123
67. Németh, K. (1998). A faanyag degradációja, *Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó*, pp. 9-73
68. Niemz, P. (1993). Physik des Holzes und Holzwerkstoffe, *DRW Verlag*, pp. 134-180
69. Nollet, L. M. L.; Toldrá, F. (2012). Handbook of Analysis of Active Compounds in Functional Foods, *CRC Press* pp. 348
70. Nördlinger H. (1881). Anatomische Merkmale der wichtigsten Wald- und Gartenholzarten

71. Nyikitin, N. I. (1959). A fa kémiája, *Akadémiai Kiadó*, Budapest
72. Orbay, L. (1990). A többváltozós regressziószámítások alapjai és fagazdasági alkalmazása, Sopron.
73. Österreichische Holzhandelsusancen 1973 (Auflage 1985)
74. Paukó, A. (1997). Az akác folyadékáteresztő képességének vizsgálata, *Faipar* 3-4:24
75. Polubojarinov, O. J.; (1981). Ocenka kacsesztva dreveszinü v naszazsdemii. Szentpétervár
76. Pozgaj, A.; Chovanec, D.; Kurjatko, S.; Babiak, M. (1997). Struktúra a vlastnosti drewe, *Priroda*, Bratislava, pp. 486
77. Rayleigh, L. (1945). Theory of Sound – 2nd edition vol. 1, *Macmillan*, New York
78. Sanio, C. (1863). Vergleichende Untersuchungen über die Elementarorgane des Holzkorpers. *Bot. Zeitung* 21: 113-118.
79. Schoch, W.; Heller, I.; Schweingruber, F. H.; Kienast, F. (2004). Wood anatomy of central European Species. Online version: www.woodanatomy.ch
80. Siau, J. F. (1984). Transport Processes in Wood, *Springer Verlag*, Berlin-Heidelberg
81. Singleton, V. L.; (1995) Maturation of wines and spirits: comparisons, facts, and hypotheses, *American Journal of Enology and Viticulture* **46**, pp. 98-112
82. Somogyi, Z.; Standovár, T. (1995). Kocsánytalan tölgyek egészségi állapota, növekedése és a termőhelyi viszonyok közötti összefüggések vizsgálata egy erdőrészletben, *Az erdők egészségi állapotának változása, MTA Erdészeti Bizottság*, Budapest, pp. 68-76
83. Steinhilber, F.; Kässner, B. (1909) Das Sägewerk und seine Nebenbetriebe: praktisches Lehr- und Hilfsbuch für Sägewerksunternehmer, *Betriebsbeamte und Holzhandlungen*, Bassermann pp.275
84. Szalai, J. (1994). A faanyag és faalapú anyagok anizotróp rugalmasság- és szilárdságtana; I. rész: A mechanikai tulajdonságok anizotrópiája, Sopron
85. Takáts, P. (2000). Szárítás és gőzölés (Egyetemi jegyzet) Sopron, pp. 21-51
86. Taschner, R. (2005). Akác faanyag akusztikai vizsgálata, (Diplomamunka), Sopron
87. Trendelenburg, R.; Mayer-Wagelin, H. (1955). Das Holz als Rohstoff, *Carl Hanser Verlag*, München
88. USDA FS (United States Department of Agriculture Forest Service) (2005) Oak wilt distribution map. (http://www.na.fs.fed.us/fhp/ow/maps/ow_dist_fs.shtml)
89. Vihrov, V. E. (1954). Stroenie i fiziko-mehaniqueskie svoistva drevesiny duba, Institut Lesa, Akademija Nauk, Moscow., *Roubles* 14(25), pp. 9

90. Vincze, I. (1975). Matematikai statisztika ipari alkalmazásokkal, Budapest, pp. 110-212.
91. Vivas N.; Bourgeois G. (1997). Aromes etprécurseurs d'aromes du bois de chéne. *Analisis Magazine* **25** (6), pp. 19-23
92. Wagenführ, R. (1996). Holzatlas, *Fachbuch Verlag*, Leipzig, pp. 147-155
93. Warder, J.A. (1881). Forests and forestry in Wisconsin. *Wisconsin State Horticultural Society Transactions* **11**, pp. 143
94. Weaver, W.; Timoshenko, S.P.; Young, D.H.: Vibration Problems in Engineering, Fifth edition, John Wiley & Sons, 1990
95. Williams, R. S.; Feist, W. C. (2001). Duration of wood preweathering: effect on the service life of subsequently applied paint. *J. Coatings Tech.* **73**(930), pp. 65–72.
96. Williams, R. S.; Knaebe, M. T.; Evans, J.W.; Feist, W. C. (2001c). Erosion rates of wood during natural weathering: Part III. Effect of exposure angle on erosion rate, *Wood and Fiber Sci.* **33**(1), pp. 50–57.
97. Williams, R. S.; Knaebe, M. T.; Feist, W. C. (2001b). Erosion rates of wood during natural weathering: Part II. Earlywood and latewood erosion rates, *Wood and Fiber Sci.* **33**(1), pp. 43–49.
98. Williams, R. S.; Knaebe, M. T.; Sotos, P. G.; Feist, W. C. (2001a). Erosion rates of wood during natural weathering: Part I. Effect of grain angle and surface texture, *Wood and Fiber Sci.* **33**(1), pp. 31 -

8 A témában megjelent tudományos publikációk

Idegen nyelvű lektorált folyóiratban megjelent szakcikkek

Divós, F.; Taschner, R. (2006). Anwendungsmöglichkeiten des Robinienholzes (*Robinia pseudoacacia* L.) beim Xylophon- und Marimbabau. *Holztechnologie*, 1/2006, pp.44-47.

Fehér, S.; Komán, Sz.; Taschner, R. (2013). Effect of knots on the bending strength and the modulus of elasticity of Wood. *Wood research*, **Megjelenés alatt!**

Idegen nyelvű előadások és nyomtatott konferencia kiadványban megjelent szakcikkek

Fehér, S.; Molnár, S.; Komán, Sz.; Ábrahám, J.; Taschner, R. (2006). The effect of knots on the strength and modulus of elasticity of Scot pine and poplar hybrids. *Non-destructive evaluation for wood and woody materials for development new functional wood-based materials, Proceedings of JSPS Japan and Hungary Research Cooperative Program/Joint Seminar, Akita 2006.10.16-19.* (Kiadvány)

The 56th Annual Meeting of the Japan Wood Research, Akita. 2006.08.08-10.

Fehér, S.; Komán, Sz.; Taschner, R.; Börcsök, Z. (2012). Increasing the value of hardwood veneers by heating treatment. „*Hardwood Science and Technology*” - *The 5th Conference on Hardwood Research and Utilisation in Europe*. Sopron, 2012.09.10-11., Session I., pp. 125-134.

Molnár, A.; Horváth, N.; Taschner, R. (2012). The effect of dry heat treatment on physical properties of *Acacia mangium* and *Acacia auriculiformis* from Vietnam. „*Hardwood Science and Technology*” - *The 5th Conference on Hardwood Research and Utilisation in Europe*. Sopron, 2012.09.10-11., Session II., pp. 370-382.

Magyar nyelvű előadások és nyomtatott konferencia kiadványban megjelent szakcikkek

Taschner, R.; Szeles, P.; Komán, Sz.; Fehér, S. (2013). Hazai kocsánytalan tölgy állományok faanyag-minőségi kérdései. *AEE konferencia - Kutatói nap. Megjelenés alatt!*

Idegen nyelvű elektronikus kiadványban megjelent kivonatok és cikkek

Fehér, S.; Nagy, B.; Komán, Sz.; Taschner, R.; Börcsök, Z. (2012). Increasing the value of hardwood veneers by heating treatment. *International Scientific Conference on Sustainable Development & Ecological Footprint, Technical Innovations for Regional Economic Development*. Sopron, 2012.03.26-27.

Magyar nyelvű folyóiratban megjelent szakcikkek

Taschner, R. Komán, Sz.; (2013). Kiemelkedő minőségű kocsánytalan tölgy (*Q. petraea*) állományok faanyagtudományi vizsgálata. *Faipar*, **52** (4), pp. 19-24.

Taschner, R. (2004). A kettős hangzás előrejelzése és vizsgálata xylofon készítésekor. *Faipar*, **52** (4), pp. 19-24.

Fehér, S.; Csupor, K.; Komán, Sz.; Taschner, R. (2010). Faanyagok a vasút szolgálatában. *Sínek világa*, **52** (2), pp. 12-15.

Poszter

Taschner, R.; Szeles, P.; Komán, Sz.; Feher, S. (2013). Hazai kocsánytalan tölgy állományok faanyag-minőségi kérdései. *AEE konferencia-Kutatói nap 2013*. Lakitelek, Nép főiskola 2013.11.05.

Fehér, S.; Nagy, B.; Komán, Sz.; Taschner, R.; Börcsök, Z. (2012). Changing of veneers' color heating treatment, (V/16.). *International Scientific Conference on Sustainable Development & Ecological Footprint, Technical Innovations for Regional Economic Development*. Sopron, 2012.03.26-27.

Fehér, S.; Komán, Sz.; Taschner, R.; Börcsök, Z. (2012).). Increasing the value of hardwood veneers by heating treatment. *International Scientific Conference on Sustainable Development & Ecological Footprint, Technical Innovations for Regional Economic Development*. Sopron, 2012.03.26-27.

Könyvrárban el nem helyezett kutatási zárójelentések

Heitz: 2008; 2009; 2010

Trust: 2008; 2009; 2010; 2013 (GOP-1.1.1-09/1-2010-0022)

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik tanulmányaim során támogattak. Elsősorban szüleimnek az anyagi és erkölcsi támogatásért. Feleségemnek, Dórinak és Emma lányomnak pedig a zavartalan, munkával tölthető estékért.

Köszönetemet fejezem ki témavezetőmnek, Fehér Sándor docens úrnak, illetve mentoromnak, Molnár Sándor professzor úrnak, kik tudományos-szakmai munkámat barátként irányították és segítették. Hálával tartozom továbbá a Faanyagtudományi Intézet minden dolgozójának, a kedves kollégáknak, a jó hangulatban és gyorsan eltelt egyetemen töltött évekért.

MELLÉKLETEK JEGYZÉKE

I. sz. Melléklet,	1-5. táblázatok:	<i>Mintavételi nedvességtartalmak</i>
II. sz. Melléklet,	1-3. táblázatok:	<i>Normál klímán mért nettó nedvességtartalmak</i>
III. sz. Melléklet,	1-3. táblázatok:	<i>Abszolút száraz állapotban mért sűrűségek</i>
IV. sz. Melléklet,	1-3. táblázatok:	<i>12% nettó nedvességtartalom mellett mért sűrűségek</i>
V. sz. Melléklet,	1-3. táblázatok:	<i>Húrirányú dagadási értékek</i>
VI. sz. Melléklet,	1-3. táblázatok:	<i>Húrirányú dagadási együtthatók</i>
VII. sz. Melléklet,	1-3. táblázatok:	<i>Sugárirányú dagadási értékek</i>
VIII. sz. Melléklet,	1-3. táblázatok:	<i>Sugárirányú dagadási együtthatók</i>
IX. sz. Melléklet,	1-3. táblázatok:	<i>Dagadási anizotrópia</i>
X. sz. Melléklet,	1-3. táblázatok:	<i>Átlagos évgyűrűsűrűség</i>
XI. sz. Melléklet,	1-3. táblázatok:	<i>Átlagos késői pászta arány</i>
XII. sz. Melléklet,	1-3. táblázatok:	<i>Nyomószilárdsági eredmények</i>
XIII. sz. Melléklet,	1-3. táblázatok:	<i>Hajlítószilárdsági eredmények</i>
XIV. sz. Melléklet,	1-3. táblázatok:	<i>Hajlító-rugalmassági modulusz (MOE) értékek</i>
XV. sz. Melléklet,	1-3. táblázatok:	<i>Akusztikailag meghatározott MOE értékek</i>
XVI. sz. Melléklet	1-2. táblázatok	<i>Fafaji különbségesség matematikai statisztikai vizsgálata</i>
XVII sz. Melléklet	1-10. táblázatok	<i>Az eredmények származás szerinti mat. statisztikai vizsgálata</i>
XVIII. sz. Melléklet	1-7. táblázatok	<i>Az eredmények rakatszintek szerinti mat. statisztikai vizsgálata</i>
XIX . sz. Melléklet	1. táblázat.	<i>Az eredmények érlelési idő szerinti mat. statisztikai vizsgálata</i>