

SZAKDOLGOZAT

Lendvai Ádám

SOPRON

2022

Soproni Egyetem
Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar
Faipari és Műszaki Intézet

**Mezei szil anatómiai elemzése és az eredmények összevetése egyes
fizikai-mechanikai jellemzőkkel**

Témavezetők:

Dr. Báder Mátyás

laboráns

Prof. Dr. Németh Róbert

egyetemi tanár

A dolgozat készítője:

Lendvai Ádám

IV. évf. faipari mérnök

BSc hallgató



NYILATKOZAT

Alulírott (név) **Lendvai Ádám** (Neptun kód: **HV5ZQI**) jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a **Mezei szil anatómiai elemzése és az eredmények összevetése egyes fizikai- és mechanikai jellemzőkkel** című (megfelelő rész aláhúzendó)

házi dolgozat;

diplomadolgozat;

szakdolgozat/diplomamunka

(a továbbiakban: dolgozat) **önálló munkám**, a dolgozat készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. tv. szabályait, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.

Hivatkozások és idézések szabályai:

Az 1999. évi LXXVI. tv. a szerzői jogról 34. § (1) és 36. § (1) első két mondata.)

Kijelentem továbbá, hogy a dolgozat készítése során az önálló munka kitétel tekintetében a konzulenszt illetve a feladatot kiadó oktatót **nem tévesztettem meg.**

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy a dolgozatot **nem magam készítettem**, vagy a dolgozattal kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Soproni Egyetem **megtagadja a dolgozat befogadását és ellenem fegyelmi eljárást indíthat.**

A dolgozat befogadásának megtagadása és a fegyelmi eljárás indítása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Sopron, 2022.12.01

.....

Lendvai Ádám hallgató



SZAKDOLGOZAT FELADAT

Szakdolgozatot készítő neve:	Lendvai Ádám faipari mérnök BSc hallgató
A szakdolgozatot készítő Neptun kódja:	HV5ZQI
Szakdolgozat címe:	Mezei szil anatómiai elemzése és az eredmények összevetése egyes fizikai-mechanikai jellemzőkkel
Intézeti témavezető:	Dr. Báder Mátyás laboráns
Intézeti konzulens(ek):	Prof. Dr. Németh Róbert egyetemi tanár
A dolgozat kódja	FMK-FEMI-10-2022-SZ

Elvégzendő feladatok

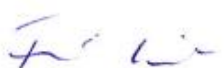
1. Jelölt végezze el a témájához kapcsolódó szakirodalom áttekintését és ismertetését, fogalmazza meg munkájának célját.
2. A rendelkezésre álló élőnedves, fagyasztott mezei szil érettfá mintáknak térképezze fel a fontosabb anatómiai jegyeit. Normál körülmények közti kondicionálást követően (20 °C / 65%) végezzen párafelvétel-, rosttelítettség-, zsugorodás-dagadás-, hajlító- és nyomóvizsgálatot.
3. Ismertesse a vizsgált anyagokat, az elvégzett vizsgálatokhoz felhasznált eszközöket és eljárásokat, a vizsgálati körülményeket.
4. Jelölt foglalja össze a vizsgálati eredményeket (átlagok és szórások), majd hasonlítsa össze egymással és a rendelkezésre álló irodalmi adatokkal. Az anatómiai eredményeket hozza kapcsolatba a hajlító- és nyomóvizsgálati eredményekkel (szilárdság és modulus) és a fa-víz kapcsolati jellemzőkkel. Értékelje őket, vonjon le következtetéseket, adjon magyarázatokat, tegyen javaslatokat.

Beadási határidő: 2022. december 2. 12:00 óra

Sopron, 2022.09.23.


Prof. Dr. Magoss Endre
dékán




Dr. Fehér Sándor
intézetigazgató

Tartalom

1. Bevezetés, cél megfogalmazása	2
2. Anyagok és módszerek	8
2.1. Próbatestek kialakítása	8
2.2. Rosttelítettségi vizsgálat.....	10
2.3. Párafelvételi vizsgálat	12
2.4. Zsugorodás-dagadás vizsgálat.....	15
2.5. Évgyűrűszélesség vizsgálat.....	16
2.6. Korai pászta edényátmérőjének vizsgálata	17
2.7. Késői pászta edényeinek vizsgálata	18
2.8. Hajlítószilárdság vizsgálat	18
2.9. Nyomószilárdság vizsgálat.....	20
3. Eredmények	22
3.1. Rosttelítettség eredmények	22
3.2. Párafelvétel eredmények	23
3.3. Zsugorodás-dagadás eredmények	24
3.4. Évgyűrűszélesség-vizsgálat eredmények	26
3.5. Korai pászta edényátmérőjének vizsgálata	28
3.6. Késői pászta edényeinek vizsgálata	28
3.7. Hajlítószilárdság eredmények	31
3.8. Nyomószilárdsági eredmények	34
Összegzés	37
Köszönetnyilvánítás	38
Források	39

1. Bevezetés, cél megfogalmazása

A fa az egyik legsokoldalúbb természetes alapanyag. A faanyagok sok természeti hatásnak vannak kitéve még élő állapotban is, mint például gombák, rovarok, eső stb. Ezek nagy mértékben ronthatják a fa mechanikai tulajdonságát, ami nem kedvező a további felhasználásban. A fa inhomogén és anizotróp, sejtes felépítésétől kifolyólag porózus anyag. A szilárd sejtfaikon kívül megtalálhatók még sejtüregek, sejtek közötti üregek, illetve sejtfaik üregei is. A fának azt a tulajdonságát, hogy bizonyos egyensúlyi állapot eléréséig a levegőből vízpárát képes felvenni, illetve leadni, higroszkóposságnak (nedvszívó képességnek) nevezzük. A rosttelítettségi állapot felett cseppfolyós halmazállapotú vizet képes magában tartani, valamint száradáskor azt leadni. A fából készült termékek mindig tartalmaznak bizonyos mennyiségű nedvességet. Tehát a fa egy olyan anyag, amelyben víz és levegő általában egyszerre megtalálható. A nedvesség kötött víz és szabad víz formában fordul elő, amik együttesen határozzák meg a faanyag mindenkori nedvességtartalmát. A kötött víz a sejtfaikban található vízpára halmazállapotban, mivel a levegőből felvett nedvességről van szó. Rosttelítettségi szint alatt (jellemzően 0-30% között) csak kötött víz található a fában. A levegő páratartalmának, nyomásának és hőmérsékletének változásának függvényében a kötött víztartalom is változik. A rosttelítettségi pont a kötött víz és szabad víz határán helyezkedik el, átlagértéke 30%. Ekkor a szabad víz már nem található a sejtüregekben, de a sejtfaik maximálisan telítettek a kötött vízzel. Természetes szárítással ez az állapot viszonylag gyorsan elérhető. Ha a levegő páratartalma 100%, akkor a faanyag nedvességtartalma nem csökken tovább, beáll a rosttelítettségi nedvességtartalomra. Amennyiben a levegő páratartalma 100% alatti, úgy a faanyag nedvesség tartalma is csökken. A rosttelítettségi határ meghatározása azért fontos, mert innen kezdődik a faanyag zsugorodása, illetve dagadása. Mennyiségének változásától függően a faanyag dagad, ha növekszik és zsugorodik, ha csökken. Emellett a kötött víz mennyisége hatással van a faanyag tömegére és sűrűségére, illetve a műszaki tulajdonságaira (mechanikai, fizikai, megmunkálhatóság, ragaszthatóság). Ezt a határt a hőmérséklet befolyásolni tudja, mert minél magasabb a hőmérséklet, annál kevesebb vizet tudnak megkötni a sejtfaik. Ezért a rosttelítettségi vizsgálatot mindig 20 °C hőmérsékleten szokták vizsgálni (Molnár 1999). Ezzel ellentétben a szabad víz a sejtüregekben található meg. A fa kidöntése után a szabad víz távozik először, amit viszonylag könnyen elveszít. A szabad

víz nincs hatással a faanyag méretváltozására, viszont a tömegére és sűrűségére igen. A fa szilárdsági tulajdonságait nem változtatja, viszont a keménységét, kopásállóságát, hő- és hangszigetelő képességét rontja és az elektromos kapacitást is befolyásolja (Veres 2013).

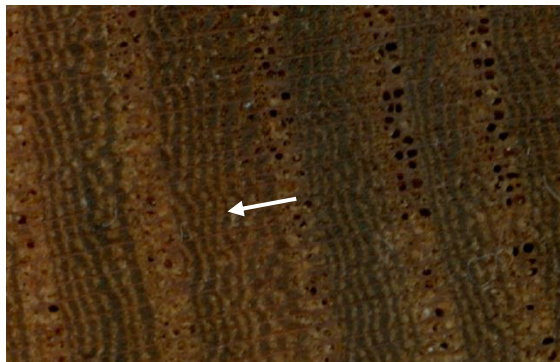
A fa nedvességtartalmának növekedésével egészen a rosttelítettségi határig a mechanikai tulajdonságai jellemzően csökkennek és ezt követően nem változnak. Ezért fontos tudni az egyes fafajok rosttelítettségi határait. Az egyes vizsgálatok között előfordulnak jelentős különbségek, amit a faanyag inhomogenitása és a mérési módszerek közötti eltérés okoz. A rosttelítettségi érték nem függ a hőmérséklettől, mivel a kötött és szabad víz a sejtek falaiban található maximális vízmennyiséggel jellemezhető. Ettől eltérő fogalmat fejez ki a higroszkóposági határ, amely a száraz faanyagban a légnedvességből maximális vízfelvételét (adszorpcióját) mutatja az adott hőmérsékleten. Ez az az állapot, amikor a sejtek üregeiben még nincs víz, a sejtfa pedig már telített és nem tud több vizet adszorbeálni. A rosttelítettségi határ általánosságban 30%, de különböző fafajoknál jelentősen eltérhet (Molnár 1999).

A faanyagban a normál felhasználás során, felhasználási körülményeitől függetlenül, mindig található valamennyi kötött víz. A hétköznapi gyakorlatban alkalmazott különféle fatermékekben a nedvesség döntő része kötött formában fordul elő. A kötött víz tulajdonságai az alábbiak: a sejtfaokban szorosan kötődik a cellulóz molekulák alkotta micellák felületéhez, eltávolítása így nehezebben történik, mint a szabad vízé. Teljes felszámolása csak mesterséges úton, 100 °C feletti hőmérsékleten lehetséges. Szabad víz csak annyi van a fában, amennyi a sejtüregekben található melyet a levegő páratartalmából vesz fel (Tudásbázis 2021).

A zsugorodás és dagadás egy természetes jelenség faanyag esetében, amely a benne található kötött vízmennyiség változásának az okozata. A levegő relatív páratartalmának és a hőmérséklet függvényében a kötött víz mennyisége is változni fog a faanyagban a rosttelítettségi határ alatt. Ha a kötött víz mennyisége növekszik, a sejtfaok távolodnak egymástól, miáltal a sejtfaok vastagodnak, így a faanyag dagadni fog. A sejtfaok csak addig dagadnak, amíg el nem érik a maximális telítettséget. Ez általában 30% nedvességtartalomnál következik be. Ha a kötött víz mennyisége csökken, akkor a sejtfaok közelednek egymáshoz, miáltal a sejtfaok vékonyodnak. Ekkor következik be a zsugorodás a faanyagban. Mivel a faanyag inhomogén és anizotróp anyag, ezért három irányban következik be a méretváltozás. Azaz a faanyagra jellemző három anatómiai irány zsugorodás-dagadás szempontjából is különválasztható. A fafajonként eltérő

értékek ellenére elmondható, hogy a legnagyobb mértékű dimenzióváltozás a tangenciális irányon figyelhető meg, ezt követi a sugár-, majd a rostirány. Rostirányban a legkisebb (0,1% -0,9% között), sugárirányban már nagyobb a méretváltozás (2,4%-7% között). Húrirányban a legnagyobb a méretváltozás (4,6%-12% között). A térfogati méretváltozás értéke 8%-19% között van (Tudásbázis 2022a). A faanyag zsugorodás-dagadás paramétereinek ismerete kiemelten fontos a szárítás technológiája, valamint a felhasználás szempontjából (Rónyai 2021).

Emellett a mezei szil a lombos fafajokon belül a gyűrűs likacsúak közé sorolható. Edényei a késői pásztájában átlagosan $35 \mu\text{m}$, korai pásztában pedig $150 \mu\text{m}$ átmérőjűek. A késői pásztában az edények hullámvonalban jelennek meg, amelyek néhány helyen megszakadnak (1. ábra) (Molnár 2016). A korai pásztában az edények üregei jól láthatóak és jellemzően nagyok. Az edények méretei és mennyisége hatással van a műszaki tulajdonságra. A gyűrűslikacsú fafajoknál a kisebb faanyagmennyiség miatt a korai pászta lényegesen gyengébb, mint a sokkal sűrűbb késői pászta, ezért gyakran repedések is megjelenhetnek a megmunkáláskor (Molnár 1999).



1. ábra Edények hullámos elhelyezkedése a késői pásztában. A nyíl egy tipikus edényhullám-sort jelöl

A munkám célja az volt, hogy a mezei szilnek az évgűrű elemzése után összefüggést találjak a különböző mechanikai és fizikai tulajdonságaival. Továbbá összefüggéseket találni a hullámvonalba rendeződött késői pászta-edények és a faanyag fizikai-mechanikai tulajdonságai között. Egyúttal friss, jól dokumentált, alapvető ismeretanyagot nyújtani a mezei szil egyes tulajdonságaival kapcsolatban.

Mezei szil (*Ulmus glabra*)

A szilék családjában körülbelül 40 faj ismert, de legnagyobb faipari jelentősége köztük a mezei szilnek (2. ábra) van, de őshonos a vénic szil (*Ulmus laevis*) és a hegyi szil (*Ulmus glabra*) is. Hazánkban a „szilvész” miatt csökkent az előfordulás, így az országunk erdősültségének 0,6-0,7%-át teszi ki (ezért a felhasználásuk háttérbe szorult), ami az iparnak nem kedvező, mivel fája nagyon értékes. Jellemzően sík- és dombvidéken lelhető fel leginkább, a pangó vizű területeket nem kedveli. Fája melegkedvelő és jó fagyűrő is (Molnár 1999).



2 ábra Mezei szil (forrás: Wikipedia 2021)

Elterjedése:

Sík- és dombvidéki faj, ami a középhegységekben található meg kb. 600 m magasan. Jellemzően a tölgyekkel és kőrisekkel szeret egy állományban lenni az úgynevezett keményfás ligeterdőkben. A mezei szil Európában őshonos. Előfordul a Kárpát medencében, Földközi-tenger szigetein, Kis-Ázsiában, Észak-Afrikában, Ázsiában is (Bartha 2016)

Makroszkópos jellemzők:

Kérgé vastag és rövid, valamint mély barázdákkal repedezett. Szövetszerkezete legnagyobb mértékben a kőrisére hasonlít. Levéllemeze kerekded, aszimmetrikus, csipkézett szélű. Szíjácsa keskeny, sárgásfehér, amely élesen elkülönül a sötét vörösesbarna gesztől. Gyűrűs likacsú faj, a korai pásztában a vékony falú edények

nagyok, melyek szabad szemmel is jól láthatóak. A késői pásztában az edénysávok érintő irányú szinuszos hullámként jelennek meg a bütümentszeten, melyek szabad szemmel szintén jól láthatók. Ez a szileknek az egyik ismertető jele. Bélsugarai sötétebbek az alapszövetnél, a sugármetszeten jól kivehetőek (Molnár 1999).

Mikroszkópos jellemzői:

Az edények a korai pásztában nagyobbak (150 μm átmérő), mint a késői pásztában (35 μm átmérő). A késői pászta edényei 2-4 sejtsor szélességben hosszú hullámvonalba rendeződnek, melyek néhol megszakadnak. A rostparenchimák vékony falúak, az évgűrű határnál és az edények körül helyezkednek el, mennyiségük kb. 6%. Az edények belső falán spirális vastagodás látható. Az alapszövetet 1,2 μm vastag falú farostok alkotják, mely a faanyag ~51%-át teszi ki. A homogén bélsugarak 3-6 sejtsor szélesek és 15-50 sejtsor magasak és a faanyag kb. 14%-át adják (Németh és társai. 2016).

Műszaki tulajdonságok:

A hibamentes szilfa műszaki tulajdonságaiban hasonlít a tölgyhöz. A fája közepes sűrűségű (1. táblázat), mely abszolút szárazon 680 kg/m^3 . Kemény és szilárd faanyag. Rendkívül repedékeny, ezért nagyon kíméletes szárítást igényel. Kemény, rugalmas és nehezen hasítható, nehezen szegelhethető és megmunkálható (gyakori a szálkiszakadás) fafaj. Gőzölés után jól hajlítható és esztergálható. Emellett nehezen telíthető és fényezhető, de jól ragasztható (Molnár 1999).

1. táblázat Szilfa műszaki tulajdonságai (forrás: Molnár 1999)

Sűrűség	ρ_0	440-820 kg/m ³
	ρ_{12}	480-860 kg/m ³
	ρ_{nedv}	750-1050 kg/m ³
Zsugorodás	Húr	6,9-8,3%
	Sugár	4,6-4,8%
	Rost	0,3%
Rugalmassági modulusz		5,9-16,0 GPa
Keménység	bütü	64 Mpa
	oldal	30 Mpa

Felhasználása:

Nagy a felhasználási területe, mivel készülhetnek belőle bútorok, sportszerek, játékok, ragasztott termékek és bútorlécek. Emellett a járműiparban, parkettagyártásban és a furnérgyártásban kap szerepet, ahol igen keresett fafaj. Mivel a szil jobban telíthető a tölgyeknél ezért előszeretettel alkalmazzák kerti bútorokhoz. A szilek járvány miatti jelentő kipusztulása ezeknek az faárúknak a mennyiségi csökkenéséhez, gyakorlatilag eltűnéséhez vezetett (Molnár 1999). A későbbiekben azonban lehetséges, hogy idővel ismét elterjed Európában a szil fafaj.

Munkám során mezei szil minták anatómiai tulajdonságokat vizsgáltam, például a pásztaszélességeket, vagy az edényhullámok méretét. Ezeket összevettem az évgyűrűszélességekkel, valamint a faanyag fizikai és mechanikai tulajdonságaival.

2. Anyagok és módszerek

2.1. Próbatetek kialakítása

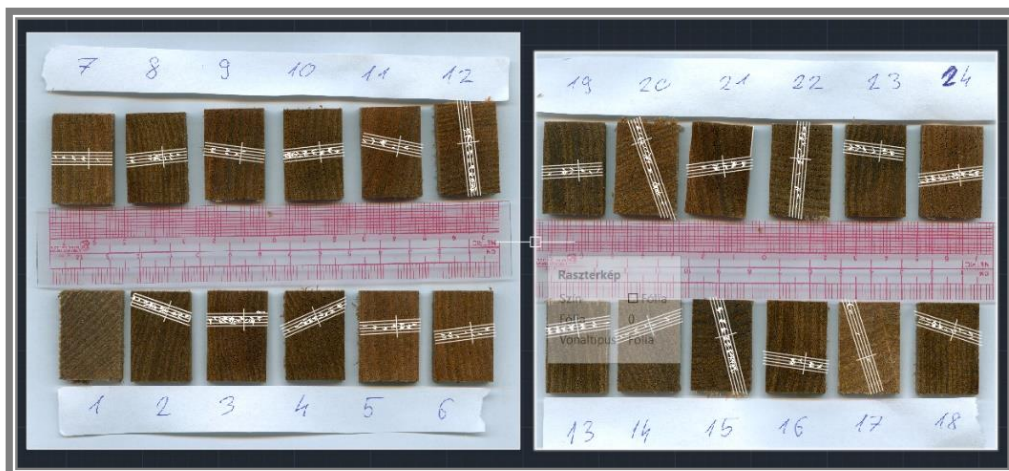
Mintáimat 5 db 19,5×29×200 mm-es (húr × sugár × rostirány; $h \times s \times r$) hasázból alakítottuk ki egy modellező körfűrész segítségével, 20 °C hőmérsékleten és 65% páratartalom kondicionált mezei szil (*Ulmus glabra*) faanyagból. Először a hasábok bütüin egy tisztító vágást végeztünk, majd a két végéből vágtuk le a rosttelítettséget, illetve a párafelvétel vizsgálatához szükséges próbateteket. A rosttelítettséget próbateteinek méretei 19,5×29×3 mm ($h \times s \times r$), a párafelvételhez pedig 19,5×29×10 mm ($h \times s \times r$) méretű minták készültek. Ezután a megmaradt hasábot úgy alakítottuk tovább, hogy 2 db 11×11 mm ($h \times s \times r$) keresztmetszetű szabályos rúd keletkezzen, majd ezekből vágtuk le a zsugorodás-dagadás vizsgálatához a próbateteket, amelynek méretei 11×11×17 mm ($h \times s \times r$). Így ezekhez a vizsgálatokhoz 20 db próbatest lett készítve. Majd az évgűrű elemzéshez szükséges próbateteket 24 db élőnedves mintából alakítottuk ki szintén modellező körfűrész segítségével. Méretük 19,5×29×5 mm ($h \times s \times r$) (3. ábra). Tisztító vágás nem volt szükséges, mivel a próbatetek frissen fűrészelt felét vizsgáltuk. Majd ezeket a próbateteket beszkeneltük egy HP Scanjet G4050 típusú szkennelvel (4. ábra). Ezután a szkennelt képeket AutoCad szoftverbe illesztettük (5. ábra) és a mintákkal együtt beszkeneltük vonalzó segítségével méretarányosan be tudtuk állítani a képeket, hogy pontos adatokat tudjuk mérni. Sajnos a 24 hasázból egy nem volt vizsgálatra alkalmas, mert a fűrész annyira roncsolta a bütü felületét, hogy az edények eltömődtek. Később a 19,5×29×195 mm-es ($h \times s \times r$) hasábokat tovább szeltük 19,5×29×90 mm-es méretűre, amikből 4×4×90 mm ($h \times s \times r$) méretű hasábok készültek (6. ábra) a hajlító- és nyomóvizsgálatokhoz. A kapott hasábok végeiből levágtunk 6 mm-t, így kaptunk 4×4×6 mm-es ($h \times s \times r$) próbateteket a nyomó vizsgálatához (7. ábra). A maradék minták lettek a hajlítóvizsgálati próbatetek ($h \times s \times r$).



3. ábra 19,5×29×5 mm-es ($h \times s \times r$) próbatestek



4. ábra HP Scanjet G4050 típusú szkennelő



5. ábra AutoCAD-be helyezett szkennelt képek



6. ábra 4×4×90 mm-es ($h \times s \times r$) hajlítószilárdság és nyomószilárdság próbatest, szétfűrészelés előtt



7. ábra 4×4×6 mm-es ($h \times s \times r$) nyomóvizsgálati próbatest

2.2. Rosttelítettségi vizsgálat

A vizsgálat során a 19,5x29x3 mm-es ($h \times s \times r$) próbatesteket (8. ábra) behelyeztük a Memmert 100-800 szárítószekrénybe (9. ábra), ahol 103 ± 2 °C-on abszolút szárazra szárítottuk. Ezt követően lemértük a tömegüket 0,001 g pontossággal, majd behelyeztük őket az exsikkátorba (10. ábra), ami a klímahelyiségben volt elhelyezve állandó 20 °C hőmérsékleten, amíg el nem érték a minták a rosttelítettségi határt, ami után újra lemértük a tömegüket. Az exsikkátor telített CuSO_4 -só (rézgálic) oldatot tartalmazott, ami $97,6 \pm 0,5\%$ páratartalmat biztosít. Ez után meg tudtuk állapítani a nedvességtartalom változásából a rosttelítettségi nedvességtartalmat. A rosttelítettségi állapotot az (1) képlettel számoltunk.

$$u_{Rh} = \frac{m_n - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad (1)$$

ahol:

- m_n az exszikkátorból kieszedett próbatest tömege
- m_0 az abszolút száraz próbatest tömege.



8. ábra 19,5×29×3 mm-es ($h \times s \times r$) próbatest



9. ábra Szárítószekrény



10. ábra Exszikkátorban lévő próbatestek

2.3. Párafelvételi vizsgálat

A levegő paramétere (páratartalom, hőmérséklet) hatással vannak a faanyag nedvességtartalmára. A faanyag nedvesség tartalma minden esetben igyekszik egyensúlyba kerülni a levegő nedvesség tartalmával. Ezt nevezzük higroszkópos egyensúlyi állapotnak. Az egyensúlyi állapot beállta után a faanyagban nem változik a nedvességtartalom, amíg a levegő nedvességtartalma és egyéb paramétere állandók. Gyakorlatban a levegő nedvességtartalma gyakran változik, így a faanyag nedvességtartalma is változni fog. Ezért a vizsgálatoknál mindig 20 °C és 65% levegő nedvességtartalom mellett határozzák meg a párafelvétel értékét (Molnár 1999).

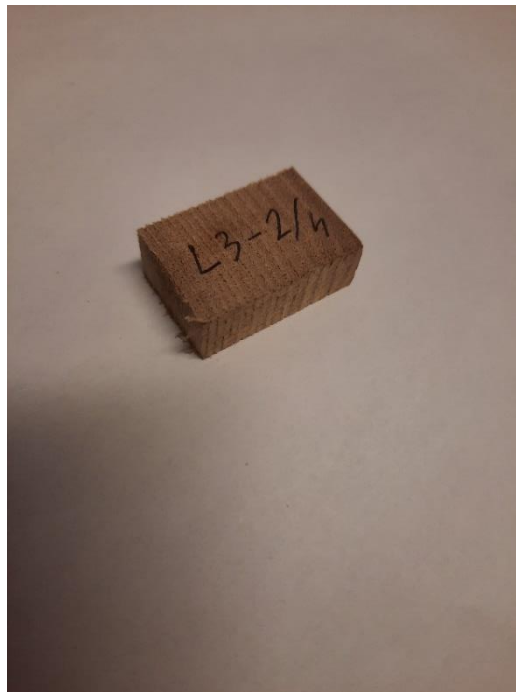
A vizsgált próbatestek 19,5×29×10 mm ($h \times s \times r$) (11. ábra) befoglaló méretűek voltak. Először szárítószekrénybe helyeztük őket és 103±2 °C-on abszolút szárazra szárítottuk. Miután leszáradt megmértük a tömegüket 0,001 g pontossággal egy Precisa XT 1220M-FR típusú mérleggel (12. ábra), majd ezután a Memmert HPP260-as klímasekrénybe (13. ábra) helyeztük, ahol állandó klímán tartottuk (T=20 °C, φ=65%). Adott időközönként (0,5, 1, 1,5, 2, 3, 4, 6, 8, 11, 24, 48 óra, stb.) visszamértük a próbatestek tömegét.

Így megkaptuk a nedvességtartalom alakulását az idő függvényében, az egyensúlyi nedvesség beálltaig a (2) képlettel.

$$U_T = \frac{m_T - m_0}{m_0} \cdot 100[\%] \quad (2)$$

ahol:

- U_T : adott időponthoz tartozó nedvességtartalom [%]
- m_T : adott időponthoz tartozó tömeg [g]



11. ábra 19,5×29×10 mm-es ($h \times s \times r$) párafelvételi próbatest



12. ábra Digitális mérleg



13. ábra Klímaszekrény

2.4. Zsugorodás-dagadás vizsgálat

A vizsgálathoz $11 \times 11 \times 17$ mm-es ($h \times s \times r$) (14. ábra) befoglaló méretű próbatesteket alakítottunk ki. Klímaszekrénybe helyeztük, majd az egyensúlyi nedvességtartalom beállta után megmértük húr-, sugár- és rostirányban a méreteit a Helios 2300409 digitális mérőórával (15. ábra), illetve a tömegét 0,001 pontossággal. Szárítószekrénybe helyeztük, ahol $103\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on száradt le abszolút szárazra, ezután ismét lemértük a paramétereit, illetve a tömegét. A következőkben víz alá helyeztük a próba testeket, ahol telített állapotot ért el és ezután újabb mérések következtek. Ezt a folyamatot kétszer ismételtük meg és az adatokból megkaptuk a zsugorodási és dagadási együtthatók értékeit.



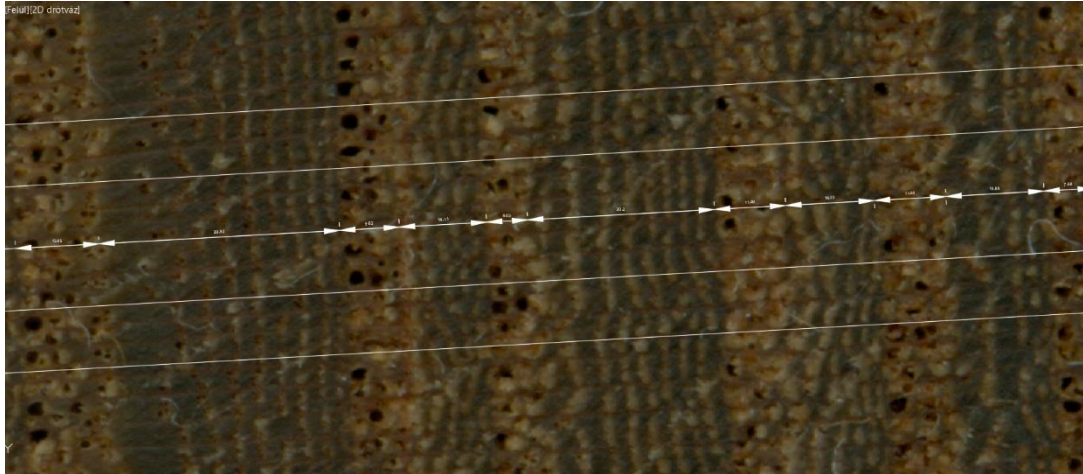
14. ábra $11 \times 11 \times 17$ mm-es ($h \times s \times r$) zsugorodás-dagadás próbatest



15. ábra Digitális mérőóra

2.5. Évgyűrűszélesség vizsgálat

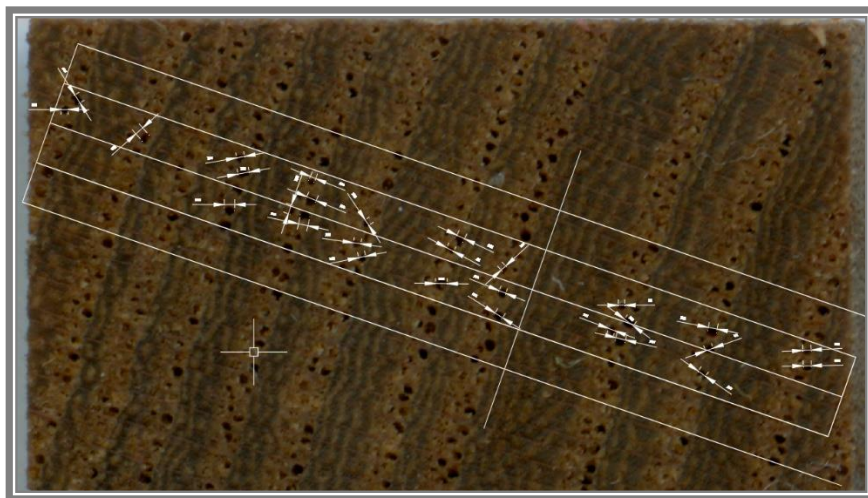
Ebben a vizsgálatban a késői pászta és a korai pásztaszélességet mértük le egy előre meghatározott, sugárirányú egyenes mentén (16. ábra). Mivel a korai pásztaszélességek közel azonosak voltak, így a későbbiekben csak a késői pásztával foglalkoztunk. Az eredményeket három csoportra osztottuk. A csoportok az 1 mm alatti, az 1 és 2 mm közötti és a 2 mm feletti pásztaszélességeket tartalmazták. Ezekből az adatokból átlagot és szórást számoltunk.



16. ábra Pásztaszélesség vizsgálata

2.6. Korai pászta edényátmérőjének vizsgálata

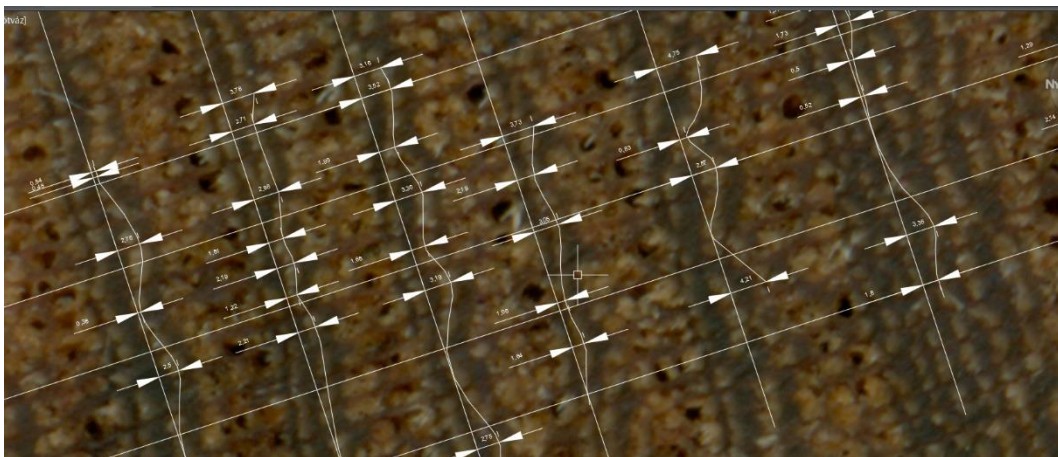
Itt a korai pászta edényeinek az átmérőjét vizsgáltuk (17. ábra) olyan módon, hogy a próbatestnek egy 4 mm széles sugárirányú sávján belül minden évgyűrűben megmértük az edények átmérőit, majd átlagot és szórást számoltunk. Sajnálatos módon a mintatest körfűrészgépes kialakítása miatt nem volt minden edény egyértelműen mérhető és azonosítható a korai pásztában. Három csoportra osztottuk az edényátmérőket évgyűrűszélesség szerint, így alakultak ki a csoportok. 0,721 mm alatt, 0,721-1,232 mm között és 1,232 mm feletti értékek szerint osztályoztuk az adatokat. Ezeket úgy kaptuk meg, hogy a teljes átlagnak vettük a 75%-át és a 125%-át. Így tudtuk legcélszerűbben megvizsgálni, hogyan változik az edényátmérő az évgyűrűszélesség függvényében.



17. ábra Edényátmérő vizsgálat

2.7. Késői pászta edényeinek vizsgálata

A késői pászta edényei hullámvonalakba rendeződnek, amik néhol megszakadnak. Ebben a vizsgálatban az edények amplitúdóit, vagyis az edénysor-hullámok magasságait vizsgáltuk. Az előre meghatározott 4 mm széles sugárirányú sáv mentén AutoCAD-ben kijelöltünk minden pásztában egy hullámos edénysort, ami lehetőség szerint nem szakad meg a kijelölt területen és jól reprezentálja a pászta többi edénysorának tulajdonságait. Az előre megadott 4 mm-es sáv oldalára merőlegesen vetítettünk fel egy egyenest (8. ábra), ami így egy tökéletesen húrirányú segédvonal lett. A vetített egyenest az edényhullám legmagasabb pontjához illesztettük és ahhoz viszonyítva mértük le az amplitúdókat. Ezekből ismét átlagot és szórást számítottunk, majd az összes amplitúdó átlagának vettük a 75%-át, illetve a 125%-át és így az eredményeket itt is három csoportba osztályoztuk.



18. ábra Amplitúdó vizsgálat

2.8. Hajlítószilárdság vizsgálat

A vizsgálathoz a $4 \times 4 \times 90$ mm-es ($h \times s \times r$) próbatesteket használtunk. A próbatesteket az Instron 4208-as gépen (19. ábra) hajlítottuk. A gépet úgy állítottuk be, hogy a két alátámasztás 70 mm-re helyezkedjen el egymástól úgy, hogy a nyomógörgő közepén nyomja a próbatestet. Vizsgálat előtt be kellett állítani a gépet, hogy állandó terhelési sebességgel terheljük a próbatestet. A sebesség 4,0 mm/min-es volt, hogy a vizsgálati idő $1,0 \pm 0,5$ perc legyen. Ezután lemértük a próbatestetek méreteit, amit rögzítettünk a gépbe

ezután behelyeztük úgy, hogy álló évgyűrűsen nyomja a gép a próbatestet (20. ábra). Majd addig végeztük a tesztet, amíg a mintának elértük a maximális hajlítóerejét és eltört. Ezt 115 mintán hajtottuk végre. A faanyag hajlítószilárdságát 20 °C és 65% nedvességtartalom mellett kondicionált állapotú mintákon mérjük, majd számoljuk ki a következő (3) képlettel.

$$\sigma_W = \frac{3 \cdot P_{max} \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (3)$$

ahol:

- P_{max} : a törőerő [N]
- l : alátámasztási távolság [mm]
- h : a próbatest magassága [mm]
- b : a próbatest szélessége [mm]



19. ábra INSTRON 4208



20. ábra A gépbe helyezett próbatest

2.9 Nyomószilárdság vizsgálat

A vizsgálathoz a 4×4×6 mm-es ($h \times s \times r$) méretű próbatestet használtuk. A mintákat szintén az INSTRON 4208-as gépen nyomtuk össze állandó terhelési sebességgel. A próbatesteket 0,3 mm/min-es sebességgel nyomtuk össze két nyomófej között (21. ábra). A sebességet azért 0,3 mm/min volt, hogy a vizsgálat 1 ± 05 perc legyen. Fontos volt, hogy a próbatestek a nyomópofák közepén helyezkedjenek el, hogy ne külponosan nyomja össze a készülék. Emellett ezeket rostirányba nyomtuk össze. A mintákat addig nyomtuk, amíg nem értük el a legnagyobb terhelési erőt. Ezt a vizsgálatot is 115 alkalommal ismételtük meg, ami a 23 db hasából 5-5 mintát jelent. A próbatesteket keresztmetszetük pontos lemérése után tettük a gépbe. Ezeket a méreteket a vizsgálat megkezdése előtt beírtuk a gépbe, majd a vizsgálat befejezésével a gép megadta a nyomószilárdság (σ_w) értékét, melyet a következő képlettel (4) számolt ki.

$$\sigma_w = \frac{P_{max}}{a \cdot b} \quad (2)$$

ahol:

- P_{max} : a legnagyobb terhelés [N]
- a, b : a próbatest keresztmetszeti méretei [mm]

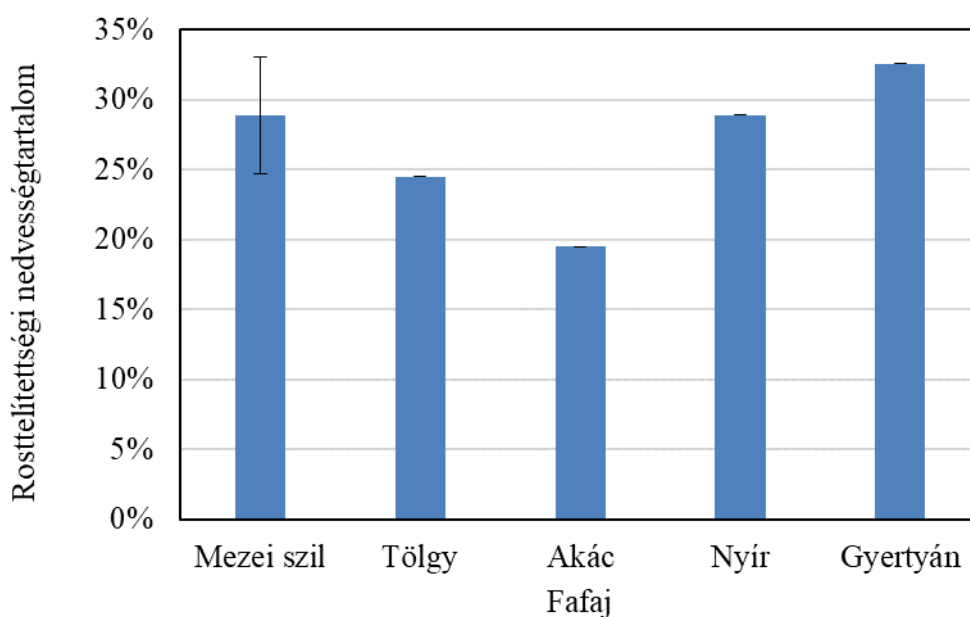


21. ábra 4×4×6 mm-es próbatest nyomóvizsgálata

3. Eredmények

3.1. Rosttelítettség eredmények

A mezei szilnek a rosttelítettségi határa a vizsgálat alapján 28,9%, ami reális eredménynek tűnik a szakirodalom alapján: ezt az adatot összehasonlítottuk más fajoknak a rosttelítettségi határaival is (22. ábra).

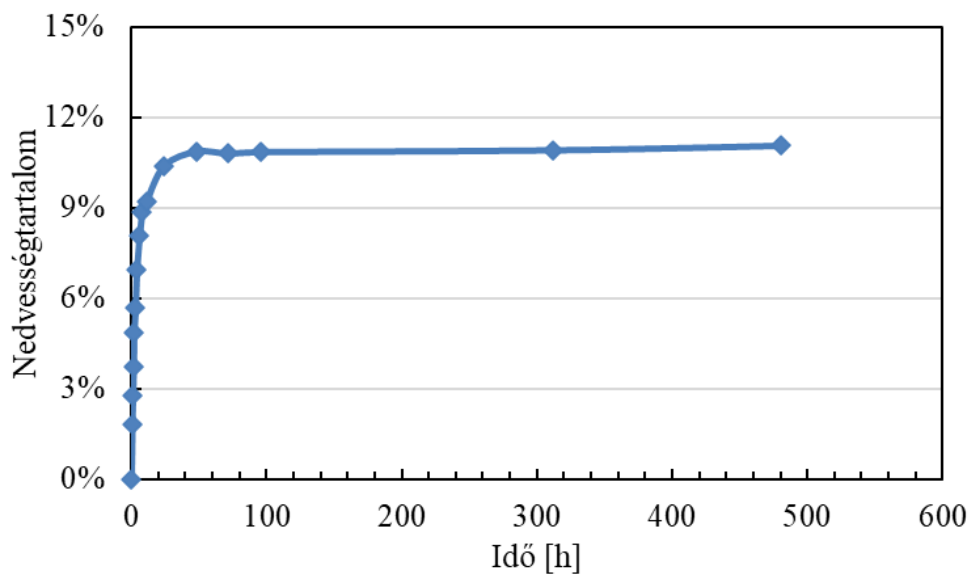


22. ábra Rosttelítettségi határok összehasonlítása

A rosttelítettségi határ átlag értéke 30%, de ez különböző fajoknál akár jelentős mértékben eltérhet. Ez függ a faj sűrűségétől, szöveti szerkezetétől, a sejtfal vastagságától és a kémiai összetevőktől. Befolyásolja még a hőmérséklet is, mivel, ha növekszik, akkor a sejtfalak kevesebb nedvességet tudnak felvenni. Ebből kifolyólag az értékeket 20 °C-on szokták megadni. Ahogy látható a színes gesztű fák határai alacsonyabbak, mert a gesztésítő anyagok beépülnek a sejtfalba és elfoglalják azokat a részeket, ahova a kötött víz kerülne (Veres 2013).

3.2. Párafelvétel eredmények

A fa-víz kapcsolatok vizsgálata során a hangsúlyt a dagadási jellemzők és az egyensúlyi nedvességtartalom változásának meghatározása mellett a vízfelvétel sebességének alakulására helyeztük. A felhasználás során azonban gyakran az is fontos, hogy a vízfelvétel, és az ezzel együtt járó méretváltozás milyen gyorsan megy végbe. Ugyanis kis időközönként változó klimatikus viszonyok között a zsugorodás teljes mértékének csökkenéséből származó előny elveszhet, amennyiben a vízfelvétel sebessége nő (Bak 2012). Vizsgálat célja meghatározni, hogy a mezei szil milyen hamar éri el az egyensúlyi nedvességtartalmat (23. ábra).

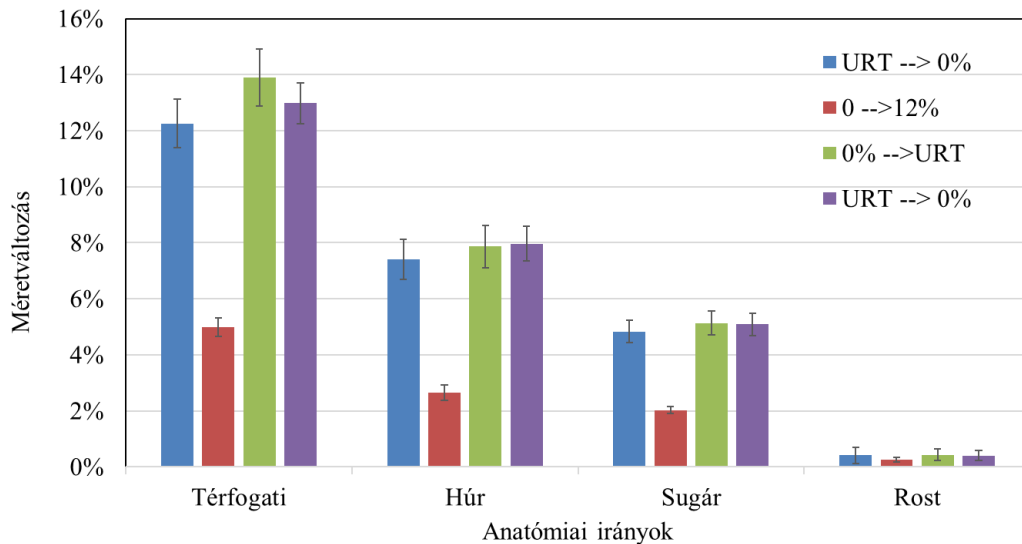


23. ábra Egyensúlyi fanedvesség beállta az idő függvényében

A grafikonon megfigyelhető az egyensúlyi fanedvesség beállta az idő függvényében. Jól látható, hogy a 24 órás mérésig a próbatestek rohamosan vették fel a párárt a levegőből, és utána csökkent a párafelvétel sebessége. Ez a nedvességtartalom hozzávetőleg 10,4%. Az egyensúlyi fanedvességet a 48 órás mérésnél érték el a próba testek, mely 11% volt.

3.3. Zsugorodás-dagadás eredmények

A mezei szil próbatestek zsugorodásra-dagadásra való hajlamát a 24. ábra diagramja szemlélteti.



24. ábra Különböző anatómiai irányokban mért méretváltozás a nedvességtartalom változásának függvényében. Rövidítések: URT – rosttelítettségi nedvességtartalom

A legkisebb dimenzióváltozás rostirányban (L) tapasztalható, ezt követi a sugárirány (R), majd a húrirány (T). A legnagyobb érték minden esetben a térfogati (V) zsugorodás-dagadásnál figyelhető meg, hiszen az összes anatómiai irány méretváltozását magába foglalja. Két féle dagadás látható a diagram oszlopai között: (e)--> (f), valamint (e)--> (g). A betűk a kísérlet bizonyos fázisaira utalnak. A vizsgálat során az abszolút száraz állapotúra szárított mintákat (e) normál klímán kondicionáltuk. A normál körülmények között kondicionált állapotot (f) több hét elteltével lehet a mintáknál beállítani. Víz alá helyezve őket folytatódott a vízfelvétel és a dagadás, amely maximumát a telített állapottal érte el (g). Miután elérte a telített állapotot (g), szárítószekrénybe helyeztük 103 °C-ra, amíg ismét el nem érte az abszolút száraz állapotot (h), ami által létrejött a zsugorodás. Általánosságban elmondható, hogy húrirányban 7,9-8,0% a mezei szil minták maximális zsugorodása és dagadása, sugárirányban 5,1%, míg rostirányban mindössze 0,4%. Ezek összességében 13,0-13,9% térfogati méretváltozást eredményeznek melyeket összehasonlítottam más fajokkal is (2. táblázat).

2. táblázat Zsugorodás összehasonlítása más fafajokkal (forrás: Molnár 1999)

Fafaj	Zsugorodási %			
	rost	húr	sugár	térfogati
Mezei szil a mérésnél	0,4	7,9-8,0	5,1	13,0-13,9
Mezei szil a szakirodalomban	0,3	6,9-8,3	4,6-4,8	12,4
Akác	0,4	5,8	3,9	10,1
Bükk	0,3	5,8	11,8	17,9
Magas kőris	0,2	8,0	5,0	13,2
Nyír	0,6	7,8	5,3	13,7
Dió	0,5	7,5	5,4	13,4
Kocsányos tölgy	0,4	7,8	4,0	12,2
Gyertyán	0,5	11,5	6,8	18,8
Éger	0,5	9,3	4,4	14,2

A 2. táblázatban a zsugorodás-dagadás méretváltozásáról és annak arányairól látunk információkat. Az általunk mért eredmények jól korrelálnak a szakirodalmi adatokkal. Viszont ezek az adatok önmagukban nem használhatók gyakorlati nedvességi értékekhez kapcsolódó méretváltozások számolására. Ezért meghatároztuk a zsugorodási és dagadási együtthatókat (3. táblázat), amelyek 1% nedvességváltozásra eső méretváltozást mutatnak be az abszolút száraz és a rosttelítettségi határ közötti nedvességtartományban.

3. táblázat Zsugorodás és dagadási együtthatók

	Térfogati	Húr	Sugár	Rost
Zsugorodási együttható	0,46%	0,26%	0,17%	0,01%
Dagadási együttható	0,43%	0,27%	0,17%	0,01%

A 3. táblázatban jól látni, hogy a legkisebb méretváltozás rostirányban van (0,01%), mivel a faanyag rostirányban elhanyagolható méretváltozást produkál. A sugárirányú együttható majdnem hússzorosa (0,17%) a rostirányúnak és a húrirányú kétszer nagyobb (0,26% és 0,27%), mint a sugárirányú együtthatóé. Ezek az értékek a szakirodalmi adatoknak teljes mértékben megfelelnek. Ezeket az értékeket összehasonlítottuk más fafajok zsugorodási és dagadási együtthatóival (4. táblázat).

4. táblázat Zsugorodási és dagadási együtthatók összehasonlítása más fafajokkal

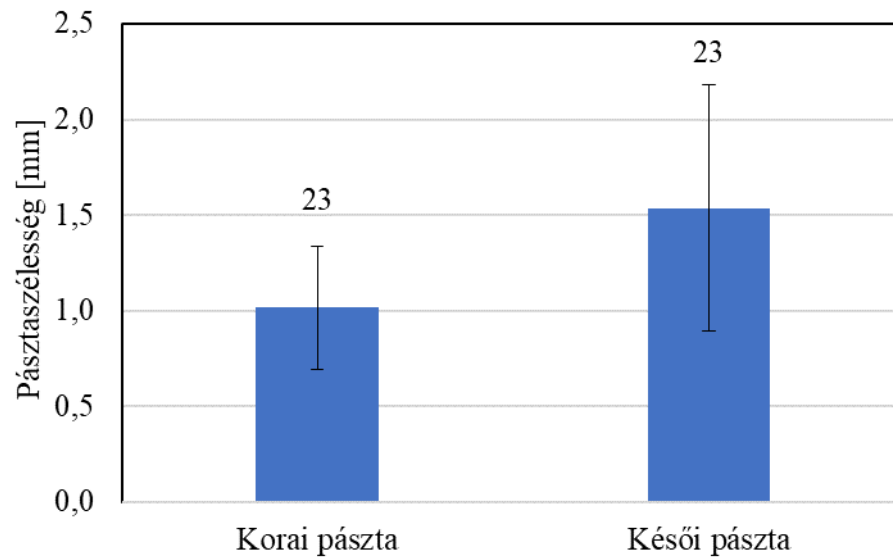
Fafaj	Zsugorodási együtthatók			Dagadási együtthatók		
	sugár	húr	térfogati	sugár	húr	térfogati
Mezei szil a mérésnél	0,17%	0,26%	0,46%	0,17%	0,27%	0,43%
Bükk	0,17%	0,32%	0,47%	0,18%	0,35%	0,55%
Kóris	0,18%	0,28%	0,45%	0,19%	0,31%	0,52%
Nyír	0,26%	0,31%	0,54%	0,28%	0,34%	0,64%
Tölgy	0,18%	0,27%	0,43%	0,19%	0,29%	0,50%
Juhar	0,19%	0,29%	0,46%	0,20%	0,32%	0,54%
Vörösfenyő	0,19%	0,35%	0,52%	0,20%	0,39%	0,61%
Lucfenyő	0,14%	0,25%	0,38%	0,15%	0,28%	0,45%
Nyár	0,14%	0,28%	0,41%	0,15%	0,30%	0,47%

A 4. táblázatban kitűnően látszik, hogy a mezei szil eredményei a többi lombos fafaj zsugorodási és dagadási együtthatóihoz képest átlagosnak mondhatók. Ezen kívül még az is látható, hogy a lazább szerkezetű faanyagok kevésbé zsugorodnak és dagadnak, mint a sűrűbb szerkezetű faanyagok. Ezért van az, hogy amíg a nyárfa térfogati zsugorodási együtthatója 0,41% és dagadási együtthatója 0,47% addig a nyírnek a térfogati zsugorodási együtthatója 0,54%, dagadási együtthatója pedig 0,64%.

3.4. Évgyűrűszélesség-vizsgálat eredmények

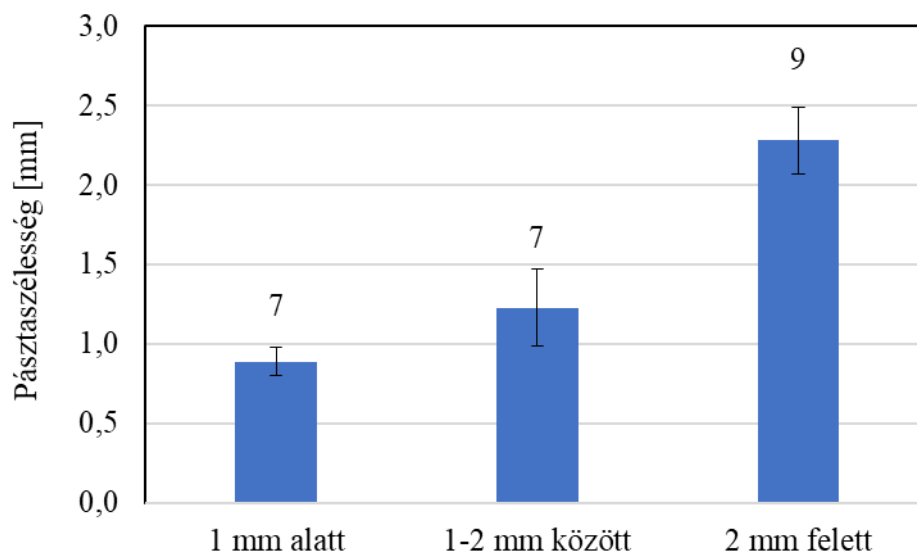
Először korai pászta és a késői pászta szélességeit vetettük össze (25. ábra). Itt jól látható, hogy az egyes évgyűrűkben átlagosan milyen szélességűek a pászták és az is jól megfigyelhető, hogy a késői pásztába nagyobb volt a szórás, mint a koraiban, mivel a korai pásztában közel hasonló értékeket mértünk. Vagyis a vizsgált minták jelentősen eltérő évgyűrűszélességei nagyrészt a késői pászta változékonyságának tudható be. Ezután összehasonlítottam a késői pásztában az 1 mm alatt az 1-2 mm között és 2 mm felett található eredményeknek az átlagait. Itt jól megfigyelhető, hogy a késői pásztában mennyire eltérő eredményeket kaptunk (0,765 mm és 2,776 mm között)

(26. ábra). Elmondható, hogy a próbatetek közel felében 2 mm feletti évgyűrűszélességet mértünk.



25. ábra Késői- és korai pászta átlagos szélességének összehasonlítása. Az oszlopdiagramok felett a darabszám látható.

A korai pászta szélességének átlagértéke 1,018 mm volt melynek a relatív szórása 31,6% volt, míg a késői pásztának 1,537 mm volt a szélessége 41,7% rel. szórással a 23 db próbatestből. A korai pásztában mért pásztaszélesség 0,747 mm és 1,153 mm között változott, de volt egy kivétel, melynek értéke 2,390 mm volt.

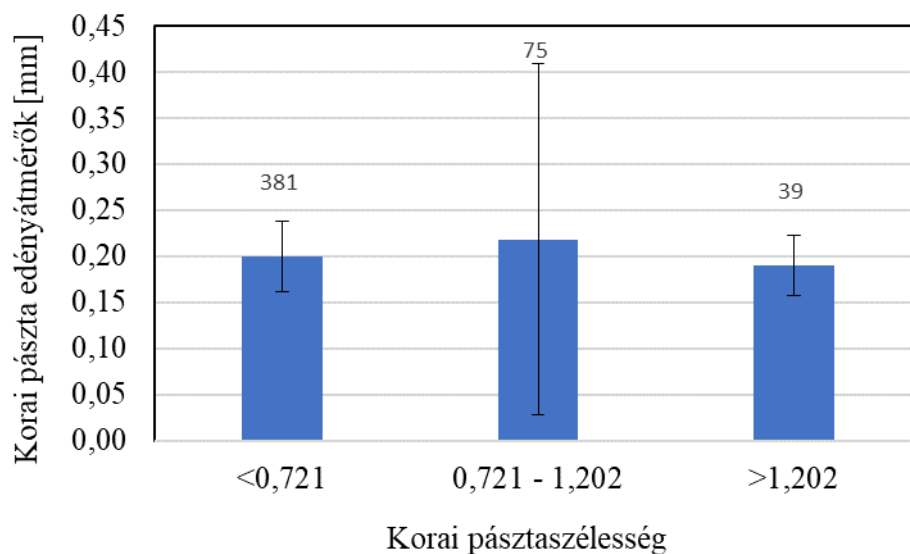


26. ábra Késői pászták szélességi eredményei. Az oszlopdiagramok felett a darabszám látható.

Az 1 mm alatti pásztaszélességű próbatestek pásztaszélességének átlagértéke 0,889 mm volt, melynek a relatív szórása 9,7% volt. Az 1-2 mm közötti pásztaszélességű próbatestek átlagszélessége 1,227 mm volt 19,7% relatív szórással. A 2 mm feletti próbatest átlagos pásztaszélesség értéke 2,282 mm, melynek relatív szórása 9,2%.

3.5. Korai pászta edényátmérőjének vizsgálata

A korai pászta edényeinek átmérőit úgy osztottuk három csoportra, hogy figyelembe vettük a korai pásztának a szélességét. Ezeknek a csoportoknak vettük az átlagát, illetve szórását. Ezekből az átlagokból készítettünk egy diagramot (27. ábra). Jól megfigyelhető, hogy közel azonos edényátmérők találhatók a korai pászta különböző szélességeitől függetlenül. Itt az összes eredmény átmérőjének átlaga 0,202 mm volt 0,045 mm-es szórással.

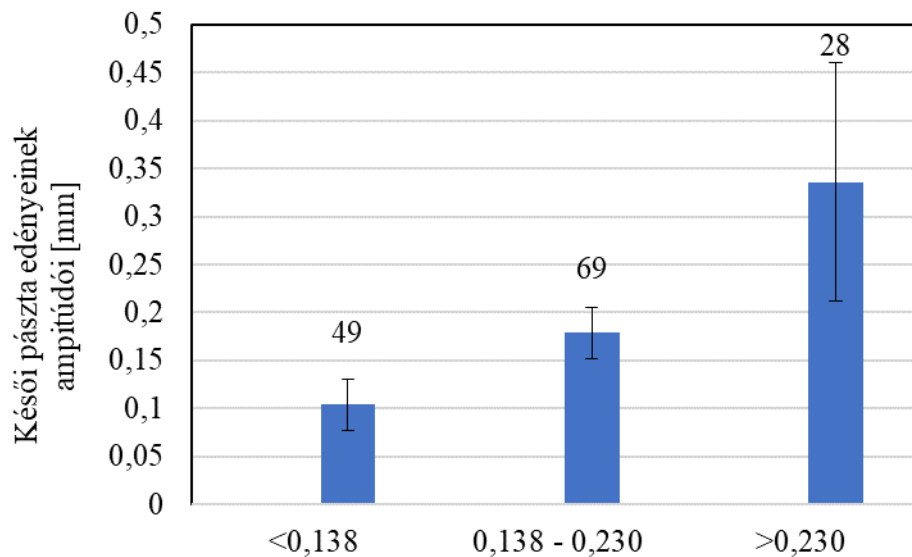


27. ábra Korai pászta edényátmérői a pásztaszélesség függvényében. Az oszlopdiagramok felett a darabszám látható.

3.6. Késői pászta edényeinek vizsgálata

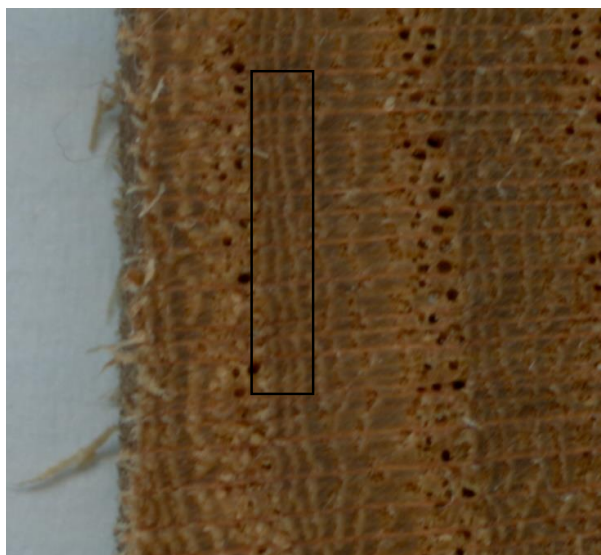
Ebben a vizsgálatban a késői pászta edénysorainak lemért amplitúdóit három csoportra osztottuk, majd a besorolt eredményeknek vettük az átlagát és szórását, amikből

diagramot készítettünk (28. ábra). Jól megfigyelhető, hogy az egészen kicsitől az egész nagy amplitúdóig találhatók edényhullámok. Az eredmények közel fele 0,138 és 0,230 mm között van. A harmadik oszlopnál azért nagy a szórás, mert nagyon magas eredmények is előfordultak.



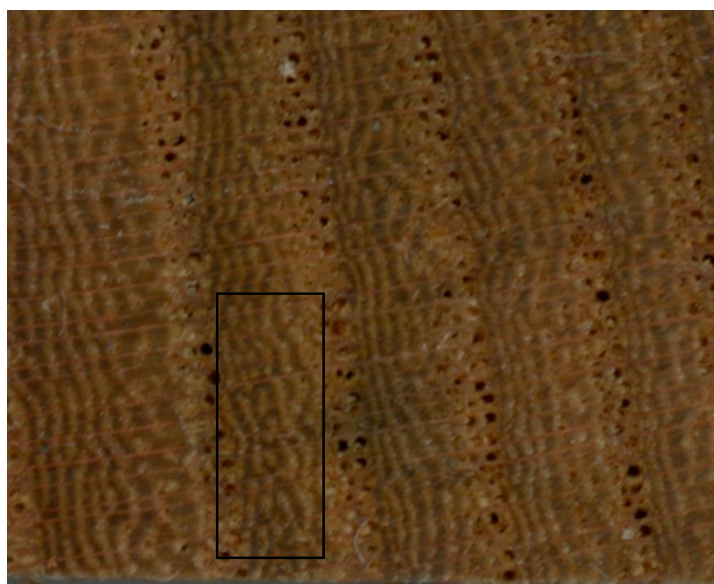
28. ábra Késői pászták edénysor-amplitúdóinak összehasonlítása a pászták szélességével. Az oszlopdiaagramok felett a darabszám látható.

A késői pásztákban megfigyelhető egyenes- és hullámvonalba rendeződött edénysor is. Az egyenes vonalba rendeződött edények (29. ábra) amplitúdója átlagban 0,104 mm volt, ami nullához nagyon közeli érték az évgyűrű kör alakja miatt a vizsgált minták évgyűrűszakaszában adódó ívet is figyelembe véve, vagyis szinte egyenes. A legkisebb mért amplitúdó méret 0,066 mm volt.



29. ábra Késői pászta edényeinek egyenes vonalú elrendezése

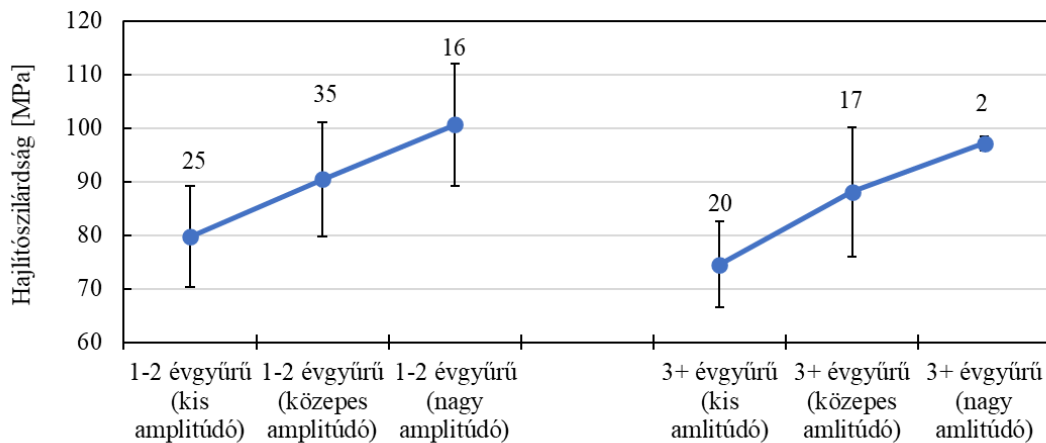
Ezzel ellentétben a késői pásztában vannak hullámvonalba rendeződött edények (30. ábra) amiknek az amplitúdója átlagosan 0,336 mm volt. Ez az érték az egyenesebb hullámvonalba rendeződött edényvonalakhoz képest is látszik, hogy nagyban eltér. Ezek a hullámok akár már szabad szemmel is láthatóak a бүтү felületen. Továbbá egyes edénysor hullámvonalai egészen rövidnek bizonyultak amplitúdótól függetlenül (30. ábra).



30. ábra Késői pászta edényeinek hullámos elrendezkedése

3.7. Hajlítószilárdság eredmények

A próbatest eltörésével meghatározzuk a maximális hajlítóerőt és ez alapján a hajlítófeszültséget (MSZ 6786-5 1976). A statikus hajlítószilárdság alatt a faanyag külső hajlítóerővel szemben kifejtett ellenállást értjük. A próbatesteket először besoroltuk 1-2 évgyűrű és 3+ évgyűrű darabszám szerint. Majd ezeket tovább osztottuk három csoportba a kis amplitúdó, közepes amplitúdó és nagy amplitúdó szerint (késői pászta edényhullámai). A kis amplitúdó olyan próbatesteket takar melyben a késői pászta hullámvonalba rendeződött edényeinek amplitúdói kisebbek voltak, mint 0,138 mm. A közepes amplitúdó a 0,138 mm és 0,230 mm közötti értéket jelent, míg a nagy amplitúdó a 0,230 mm feletti amplitúdót jelenti. A csoportokba került eredményeknek vettük az átlagát és szórását, majd ezekből grafikont készítettünk (31. ábra).



31. ábra Hajlítószilárdság eredményei az egyes csoportokba sorolva. A grafikonon a pontok felett a darabszám látható.

A grafikonon jól megfigyelhető, hogy az 1-2 évgyűrűs próbatestek nagyobb erőt bírtak elviselni törésig. Az 1-2 évgyűrűs próbatestek hajlítószilárdsága átlagosan 89,04 MPa volt, relatív szórása 14,5%. A 3+ évgyűrűs próbatestek hajlítószilárdsága átlagosan 81,60 MPa volt, relatív szórása 15,1%. A relatív szórás megmutatja, hogy az átlaghoz képest mekkora a szórása az adatoknak. Emellett az is jól megfigyelhető, hogy az amplitúdó mérete minél nagyobb, annál nagyobb erőt szükséges kifejteni a töréshez. Szintén látható, hogy a faanyagban minél több évgyűrű található egy 4x4 mm-es metszeten, annál

ritkábban fordul elő nagy amplitúdó. A vizsgálat során a 115 db próbatestből csak 2 db volt 3+ évgyűrűs és nagy amplitúdós. A közepes amplitúdójú anyagoknál közel azonos eredményeket kaptunk a 1-2 és a 3+ évgyűrűs csoportokban. Az 1-2 évgyűrűseknél 90,43 MPa, míg a 3+ évgyűrűs anyagoknál 88,09 MPa volt a hajlítoszilárdság. A hajlítoszilárdsági értékeket összehasonlítottuk más fafajokéval is (5. táblázat). Látható még a táblázatban, hogy a 3+ évgyűrűs szélességű minták darabszáma kevesebb (39 db) mint az 1-2 évgyűrűs szélességű (76 db) próbatesteké. Ez azért van, mert a késői pászta szélessége átlagosan 1,537 mm és mivel a próbatestek keresztmetszeti mérete 4x4 mm volt, így legtöbbször csak kettő évgyűrű volt látható. Valamint az is kiderült, hogy az 1-2 évgyűrűs próbatestek eltöréséhez nagyobb erő kellett, mint a 3+ évgyűrűs próbatestekéhez. Ezt az magyarázza, hogy az 1-2 évgyűrűs próbatestek nagy részét széles késői pásztából/pásztákból képezik. Ezzel ellentétben a 3+ évgyűrűs próbatestekben nagyobb részben vannak korai pászták. A késői pászta nagyobb sűrűséggel rendelkezik, mint a korai pászta, mert a korai pásztában nagyobb edényátmérők vannak, mint a későiben. Ezzel magyarázható, hogy az 1-2 évgyűrűs próbatestek töréséhez nagyobb erőre volt szükség.

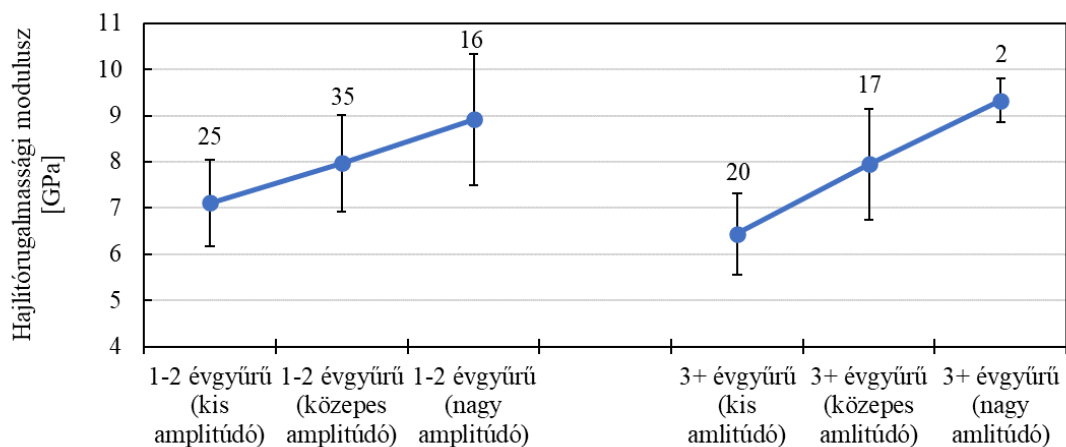
5. táblázat Hajlítoszilárdsági értékek összehasonlítása más fafajokkal (forrás: Tudásbázis 2022b)

Fafaj	Hajlítoszilárdság [MPa]
Általam mért Szil	86,5
Szil	72,5
Lucfenyő	81
Akác	134
Bükk	121
Éger	86
Kőris	149
Nyír	122
Tölgy	82

Látható, hogy a szil a többi faanyag hajlítoszilárdságának értékéhez képest közepes értékkel rendelkezik. Az is megfigyelhető, hogy az irodalomban a szilnek hajlítoszilárdsági értéke 72,5 MPa, az általunk lemért mezei szilnek pedig 86,5 MPa.

Ennek több oka is lehet. Az első, hogy a szilnek különböző fajai vannak, melyeknek változik a hajlítószilárdsági értéke és itt az irodalomban egy nagy átlagérték található. A másik oka az, hogy a vizsgálat során a próbatestek közel háromnegyed része (76 db) 1-2 évgyűrűs volt a 115 db próbatestből. Az 1-2 évgyűrűs próbatesteknek nagy része késői pásztából állt, melynek magasabb a hajlítószilárdsági értéke, mint a korai pásztának.

Emellett lemértük a próbatestek rugalmassági moduluszát. Ha egy faanyagot terhelés alá helyezünk, egy darabig rugalmasan viselkedik, vagyis, ha a terhelés megszűnik akkor a faanyag visszanyeri eredeti alakját. Ezt nevezzük rugalmassági tartománynak, amely szakaszban mérjük a rugalmassági moduluszt. Ha a terhelést tovább fokozzuk, a faanyag maradandó alakváltozást szenved, majd, ha tovább fokozzuk, akkor eltörik. Ezek alapján az előző csoportok rugalmassági moduluszairól készítettünk grafikont (32. ábra).

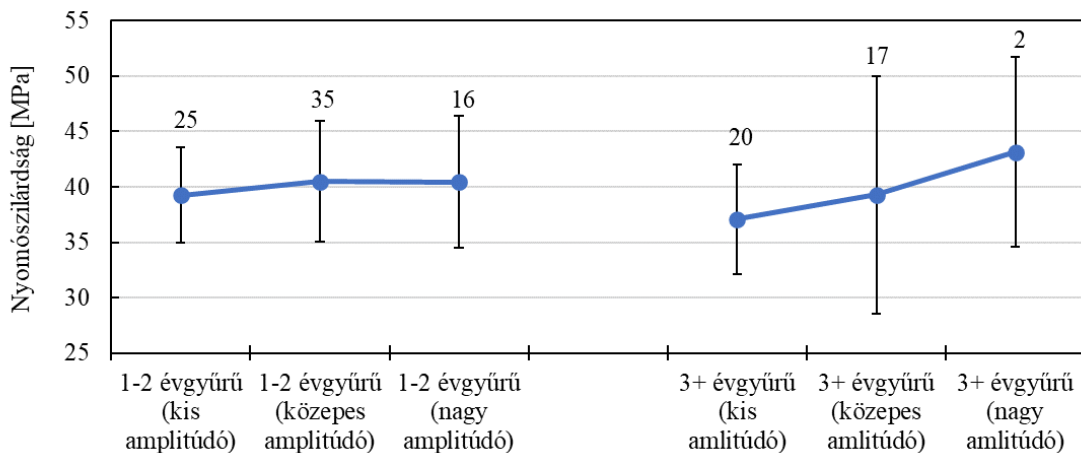


32. ábra Hajlítórugalmasági moduluszának eredményei az egyes csoportokba sorolva. .
A grafikonon a pontok felett a darabszám látható.

A hajlítórugalmasági modulusznál is jól megfigyelhetők a 31. ábra kapcsán leírtak. Míg az 1-2 évgyűrűs próbatesteknél a legkisebb erő 7,12 GPa és a legnagyobb 8,92 GPa volt, addig a 3+ évgyűrűs próbatesteknél 6,44 GPa és 9,33 GPa volt. A grafikonon itt is látható, hogy a közepes amplitúdójú próbatesteknél közel azonos értékeket kaptunk (1-2 évgyűrűs testeknél 7,97 GPa, a 3+ évgyűrűs anyagoknál 7,95 GPa).

3.8. Nyomószilárdsági eredmények

A vizsgálat során a próbatestek tönkremeneteléig elviselt legnagyobb nyomóterhelését határoztuk meg. Vagyis a nyomószilárdság a faanyagnak a nyomóerővel szembeni ellenállása, ahol a próbatestet két egymással szemben ható erővel terheljük. Azt a feszültségi értéket, amelynél az anyag tönkremegy, az anyag nyomószilárdságának nevezzük. A mért eredményeket először besoroltuk 1-2 évgyűrű és 3+ évgyűrű szélesség szerint. Majd ezeket tovább osztottuk három csoportba, melyek a kis amplitúdó, közepes amplitúdó és nagy amplitúdó szerinti csoportosítás volt itt is, hisz a hajlítószilárdsági vizsgálat próbatesteinek a végéből lettek levágva. Majd ezekbe a csoportokba került értékeknek kiszámoltuk az átlagát, illetve a szórását és a kapott eredményekből grafikont készítettünk (33. ábra).



33. ábra Nyomószilárdság eredményei az egyes csoportokba sorolva. A grafikonon a pontok felett a darabszám látható.

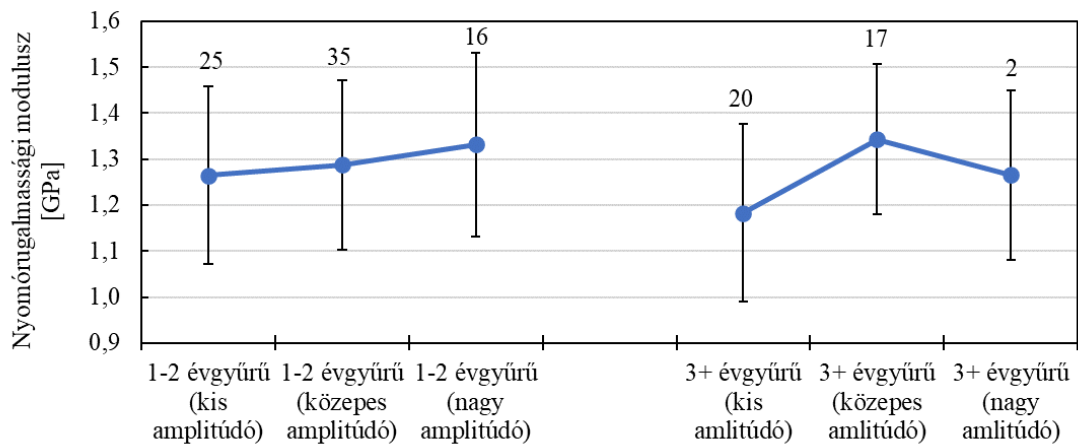
A grafikonon látható, hogy a kis amplitúdójú minták esetén az 1-2 évgyűrűs próbatesteknél 39,26 MPa nyomóerőre volt szükség, míg a 3+ évgyűrűsénél 37,08 MPa erőre volt szükség a minták tönkremeneteléhez. Ugyanígy a nagy amplitúdójú próbatesteknél az 1-2 évgyűrűsök 40,46 MPa, míg a 3+ évgyűrűs 43,15 MPa erőnél mentek tönkre. Elmondható, hogy a legjobban az a próbatest bírta, amelyik több évgyűrűs volt és a pásztnak az amplitúdói nagyok voltak annak ellenére, hogy a vizsgált próbatestek között csak kettő db volt. Ezeket az eredményeket szintén összehasonlítottuk más fafajok értékeivel (6. táblázat).

6. táblázat Nyomószilárdsági értékek összehasonlítása más fafajokkal (forrás: Tudásbázis 2022b)

Fafaj	Nyomószilárdság [MPa]
Általam mért Szil	39,5
Szil	51
Lucfenyő	44,5
Akác	65
Bükk	56
Éger	41,5
Kőris	47
Nyír	46,5
Tölgy	57,5

Megfigyelhető itt is, hogy a szil a többi faanyag nyomószilárdsági értékéhez képest közepes értékkel rendelkezik. Az is látható, hogy az irodalomban a szilekhez 51,0 MPa értéket írnak, míg az általunk mért mezei szil nyomószilárdság átlagértéke 39,5 MPa. Ez változhat attól is, hogy az irodalmakban a szilek különböző fajai között nem tesznek különbséget, hanem egy nagy átlagot írnak. Az eredményeknél megfigyelhető volt, hogy az 1-2 évgyűrűs próbatestek nyomószilárdsági átlagértéke 40,08 MPa volt, míg a 3+ évgyűrűs próbatesteknél 38,36 MPa. Ezt újfent az magyarázza, hogy az 1-2 évgyűrűs próbatest nagy része a késői pásztából áll, melynek a sűrűbb szerkezete miatt nagyobb a nyomószilárdsági értéke, mivel a korai pásztában nagy átmérőjű edények találhatóak.

Ezzel együtt lemértük nyomórugalmassági moduluszt, melyről az alábbi csoportosítás szerint grafikont készült (34. ábra).



34. ábra Nyomórugalmassági modulusz eredményei az egyes csoportokba sorolva. A grafikonon a pontok felett a darabszám látható.

Elmondható, hogy legkisebb rugalmassági modulusz a 3+ évgyűrűs, kis amplitúdós próbatesteknél jelentkezett, az érték ott 1,18 GPa volt. A legnagyobb érték a 3+ évgyűrűs, közepes amplitúdós próbatestnél volt (1,34 GPa). Az 1-2 évgyűrűs próbatesteknél közel azonos értékeket kaptunk. A kis amplitúdós faanyaghoz 1,26 GPa, a közepes amplitúdóshoz 1,29 GPa és a nagy amplitúdóshoz 1,33 GPa értéket kaptunk. Ezt látva következtethető, hogy egy próbatestben minél több évgyűrű található, annál nagyobb eltéréseket kapunk, mint az 1-2 évgyűrűsnél, amelyeknél szinte azonosak az értékek.

Összegzés

A vizsgálatok során mezei szil minták anatómiai tulajdonságokat vizsgáltam, például a zsugorodás-dagadását, pásztaszélességeket, vagy az edényhullámok méretét. Ezeket összevettem az évgyűrűszélességekkel, valamint a faanyag fizikai és mechanikai tulajdonságaival.

Először a fa-víz kapcsolatát vizsgáltuk a mezei szilnek; a rosttelítettségi vizsgálatnál reális eredményt kaptunk a 28,9%-os értékkel. A párafelvételi vizsgálatnál is jól látható volt, hogy a fa az első szakaszban gyorsan, míg a második szakaszban lassan veszi fel a levegőből a nedvességet, hogy elérje az egyensúlyi fanedvességi állapotot, amely 48 óra után következett be. A zsugorodás-dagadási vizsgálatnál a szakirodalmakhoz hasonló értékeket kaptunk és jól láthatóak a különböző anatómiai irányok zsugorodási és dagadási különbségei.

A korai pászták szélességei közel azonosak voltak. Ezzel ellentétben a késői pászta szélességeinél már jelentősen eltérő eredményeket is tapasztaltam. Míg a korai pásztában 0,747 mm-től maximum 1,153 mm-ig változtak az eredmények, addig a késői pásztában 0,775 mm-től a 2,776 mm-ig változtak a szélességek. A hullámvonalba rendeződött edényeknél nagyrészt 0,138-0,230 mm közötti amplitúdókat mértem. Nagy amplitúdók kevés esetben fordultak elő, mint például 0,509 mm és 0,686 mm, amik az átlagértékhez képest kiemelkedően nagyok mondhatók. Az edényátmérőknél a korai pásztában a legtöbb eredmény 0,721 mm alatti értéket képvisel.

A hajlítószilárdsági vizsgálatnál az 1-2 évgyűrűs próbatestek nagyobb erőt bírtak (89,04 MPa) mint a 3+ évgyűrűszélességű próbatestek (81,60 MPa). Minél nagyobb az amplitúdó mérete, annál nagyobb erőt szükséges kifejteni a töréshez. A nyomószilárdsági vizsgálatnál a 3+ évgyűrűszélességű próbatestek tönkremeneteléhez kisebb erőre volt szükség (37,08 MPa) mint az 1-2 évgyűrűs próbatesteknél (39,26 MPa). A nagy amplitúdójú próbatesteknél az 1-2 évgyűrűsök 40,46 MPa, míg a 3+ évgyűrűs 43,15 MPa erőnél mentek tönkre.

Az utóbbi két vizsgálatnál el lehet mondani, hogy az 1-2 évgyűrűs próbatesteknek nagyobb volt a hajlító- és nyomószilárdsági értéke, mint a 3+ évgyűrűvel rendelkező próba testeknek. Ezt az magyarázza, hogy a korai pászta sokkal lazább szerkezetű, mint a késői pászta, a nagy átmérőjű edények miatt.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni minden egyes személynek, aki segített abban, hogy elkészülhessem a szakdolgozatom. Külön köszönöm konzulenseimnek Prof. Dr. Németh Róbertnek és Dr. Báder Mátyásnak, aki sokat segítettek a szakdolgozat formázásában és elkészítésében. Köszönöm nekik a vizsgálatoknál nyújtott szakmai segítséget, hogy minél precízebben és pontosabban el tudjam végezni a méréseket.

Nem utolsó sorban szeretném megköszönni a családomnak a lelki támaszt mely segített erőt venni a nehezebb időszakokon is. Illetve szüleimnek, akik szintén lelki és anyagi támogatással támogattak, hogy elérjem az álmaim ezért nagyon hálás vagyok.

Illetve szeretném megköszönni a Soproni Egyetemnek és a tanárainknak a sok szakmai tanítást melyet a jövőben a legjobb tudásom szerint fogok alkalmazni.

Források

- Bak M (2012) Növényi olajokban hőkezelt nyár faanyag tulajdonságainak vizsgálata. PhD Disszertáció, Nyugat-magyarországi Egyetem
- Bartha D (2016 február) Az év fája. A mezei szil (Ulmus minor) botanikai jellemzése. Erdészeti lapok. CLI. évf. 2. szám. 56-58. oldal
- Csapody I (1966) Erdei fák és cserjék. Országos Erdészeti Főigazgatóság, Budapest
- Lugosi A (1976) Faipari kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest
- Molnár S (1999) Faanyag ismeret. Szaktudás Kiadó, Budapest
- Molnár S, Farkas P, Börcsök Z, Zoltán Gy (2016) Földünk ipari fái. Erfaret Kiadó, Sopron
- MSZ 6786-5 1976 Faanyagvizsgálatok. Faanyagok statikus hajlítószilárdságának meghatározása. Magyar Szabványügyi Testület.
- Németh R, Bak M, Börcsök Z (2016 november) Az év fája. A mezei szil faanyagának jellemzői. Erdészeti lapok. CLI. évf. 11. szám. 386-387. oldal
- Rónyai B (2021) Szil faanyag rostirányú tömöríthetőségének és egyes fizikai-mechanikai tulajdonságainak vizsgálata. Szakdolgozat, Soproni Egyetem
- Tudásbázis (2022a) Faanyagok nedvesség okozta méretváltozások (dagadás-zsugorodás). <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/0d0cc85d-f7b5-41fb-aec0-d1b8362c7ebf_e90c4562-46d5-4b3a-a5ed-d640f67b512a_d41d5cfa-b57f-4504-8a56-98d9c893fbc_b_dc8ecf9a-3c3d-492b-974e-8aedb3e5822f_1c5a6977-51ec-49c5-b1a3-680a25c63481_452cc6ac-7ba9-46f2-be26-a456cb716f45_bedfa666-4aab-44ca-b394-fa68e41c86e6> Megtekintve: 2022.11.08.
- Tudásbázis (2022b) Faanyagok szilárdsági jellemzői. <<https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/epiteszet/epitoanyagok/az-altalanos-vizsgalatok-faanyagokra-alkalmazott-valtozatainak-tartalma-modszerei-mente/a-fa-szilardsagi-vizsgalatai-es-nedvessegtartalom-vizsgalata>> Megtekintve: 2021.11.29.
- Tudásbázis (2021) Kötött víz. <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/0d0cc85d-f7b5-41fb-aec0-d1b8362c7ebf_e90c4562-46d5-4b3a-a5ed-d640f67b512a_d41d5cfa-b57f-4504-8a56-98d9c893fbc_b_dc8ecf9a-3c3d-492b-974e-8aedb3e5822f_1c5a6977-51ec-49c5-b1a3-680a25c63481_12664178-15ab-477d-b527-c4f9fba0c37b_48e5cc63-393e-4734-a64f-086f305853c8> Megtekintve: 2021.11.29.
- Veres R (2013) Faipari anyag- és gyártásismeret. Szega Books Kft, Pécs

Wikipedia (2021) Mezei szil. <https://hu.wikipedia.org/wiki/Mezei_szil> Megtekintve:
2022.05.15.