

Paukó Andrea

**Lucfenyő és erdeifenyő ültetvények
faanyagminőségének összehasonlító vizsgálata**

Doktori (Ph.D.) értekezés

Témavezető:
Dr. Peszlen Ilona,
egyetemi tanár

**Nyugat-Magyarországi Egyetem
Sopron**

2003

LUCFENYŐ ÉS ERDEIFENYŐ ÜLTETVÉNYEK FAANYAGMINŐSÉGÉNEK ÖSSZEHASONLÍTÓ
VIZSGÁLATA

Értekezés doktori (Ph.D.) fokozat elnyerése érdekében

*Készült a Nyugat-Magyarországi Egyetem
Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskolája
Faanyagtudomány (F1) programja keretében*

Írta:
Paukó Andrea

Témavezető: **Dr. Peszlen Ilona**

Elfogadásra javaslom igen / nem

.....
aláírás

A jelölt a doktori szigorlaton %-ot ért el,

Sopron,

.....
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom:

Bíráló **Dr.**

igen /nem

.....
aláírás

Bíráló **Dr.**

igen /nem

.....
aláírás

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

Sopron,

.....
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (Ph.D.) oklevél minősítése.....

.....
az EDT elnöke

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS.....	6
2. A KUTATÓMUNKA TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEI	8
3. A KUTATÓMUNKA MÓDSZERE, VIZSGÁLATI ANYAGOK	14
3. 1. KORONG ÁTMÉRŐ ÉS KÜLPONTOSSÁG MÉRÉSE.....	17
3. 2. ÉVGYŰRŰSZÉLESSÉG.....	18
3. 3. TRACHEIDAHOSSZÚSÁG MÉRÉSE	19
3. 4. SEJTFAL-LUMEN ARÁNY MEGHATÁROZÁSA	20
3. 5. MIKROFIBRILLASZÖG MEGHATÁROZÁSA.....	20
3. 6. BÁZISSŰRŰSÉG ÉS TÉRFOGATI ZSUGORODÁS MÉRÉSE	22
3. 7. PERMEABILITÁS (HOSSZIRÁNYÚ) MEGHATÁROZÁSA	22
3. 7. 1. Folyadékáteresztő képesség meghatározása	23
3. 7. 2. Gázáteresztő képesség meghatározása.....	25
3. 8. NYOMÓSZILÁRDSÁG MÉRÉSE	25
3. 9. EREDMÉNYEK ELEMZÉSI MÓDSZERE	26
4. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK	27
4.1. ERDEIFENYŐ (<i>PINUS SYLVESTRIS</i>).....	27
4.1.1. A telepítési hálózat hatása.....	27
4.1.2. A klónhatás (fajtanemesítés) összefüggései.....	29
4.1.3. Klónok hálózaton belüli összehasonlítása	31
4.1.3.1. A 2x2 hálózat	31
4.1.3.2. A 8x2 hálózat	32
4.1.3.3. A 8x6 hálózat	33
4.1.3.4. A 8x16 hálózat	34
4.1.4. A hálózat és a klón hatásának együttes vizsgálata	35
4.1.5. A tulajdonságok változása a törzsfá keresztmetszete mentén (a kor hatása).....	36
4.1.6. A klón és a pozíció hatásának együttes vizsgálata	37
4.1.7. A tulajdonságok változása az évgűrük mentén	37
4.2. LUCFENYŐ (<i>PICEA ABIES</i>)	39
4.2.1. A klónhatás vizsgálat eredménye.....	39
4.2.2. A tulajdonságok változása a törzsfá keresztmetszete mentén	40
4.2.3. A klón és pozíció együttes hatása	42
5. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE.....	43
5.1. ERDEIFENYŐ (<i>PINUS SYLVESTRIS</i>).....	43
5.1.1. Hálózat és a klón hatása	43
5.1.2. A klónok hálózaton belüli összehasonlítása	47
5.1.3. A hálózat és a klón hatás együttes vizsgálata.....	47

5.1.4. A tulajdonságok változása a törzsfa keresztmetszete mentén radiális irányban	50
5.1.5. A klón és a pozíció együttes hatásának vizsgálata	53
5.1.6 A faanyagtulajdonságok közötti összefüggések elemzése	55
5.1.6.1. Hálózatonkénti elemzés.....	55
5.1.6.2. Klónonkénti elemzés.....	56
5.1.7. Erdeifenyő vizsgálatok összefoglalása	59
5.2. LUCFENYŐ (<i>PICEA ABIES</i>)	62
5.2.1. Klón hatása (fajtanemesítés)	62
5.2.2. A tulajdonságok változása a törzsfa keresztmetszete mentén	67
5.2.3 A klón és pozíció együttes hatása	70
5.2.4. A faanyagtulajdonságok közötti összefüggések elemzése	70
5.2.5. Lucfenyő vizsgálatok összefoglalása	75
6. ÚJ MÓDSZERTANI ÉS TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	77
6.1. MÓDSZERTANI, MÉRÉSTECHNIKAI EREDMÉNYEK.....	77
6.2. ÚJ SZAKMAI, TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	77
7. A DOLGOZAT TÉZISEI	79
8. IRODALOMJEGYZÉK	80
9. MELLÉKLETEK.....	86

1. Bevezetés, célkitűzés

Az utóbbi években a környezetvédelem egyik legfontosabb globális kérdése a tartamos erdőgazdálkodás biztosítása és a természetes erdők megőrzése. A fának, mint környezetkímélő nyersanyagnak a minél szélesebb körben történő elterjesztése környezetvédelmi érdek. Ezáltal a faanyag iránt megnövekedett és egyre jobban differenciálódó igények kielégítését a természetszerű erdők mellett a faültetvények alkalmazása teszi csak lehetővé. Ezen ültetvények fokozottabb elterjesztése, mezőgazdaságilag kevésbé hasznosítható területek igénybevételével nagy szerepet játszhatnak a természetes/természetszerű erdők megőrzésében. Faültetvényeknek az olyan ültetett erdőket nevezzük, amelyek erdőtelepítés vagy erdőfelújítás útján keletkeztek, ismert fafajúak, vagy olyan néhány bennszülött fafajokból állnak, melyek egyedülálló és szabályos hálózatban ültették.

A világ és azon belül az európai országok érdeke megegyezik abban, hogy a környezeti károk növekedésével egyre nagyobb hangsúlyt kell fektetni az erdők megőrzésére és az erdővagyon bővítésére. Ennek érdekében az egyes nemzetek, köztük Magyarország is, olyan erdőtelepítési programokat dolgoznak ki, amelyek biztosítják a természeti erőforrásokkal való gazdálkodást, így próbálva meg egyensúlyt teremteni a szükségletek kielégítése és a környezeti értékek megőrzése között. Hazánkban az úgynevezett 'Nemzeti Erdőprogram' (NEP) kidolgozás stádiumában van. Az Európai Unió országaiban kidolgozásra került erdőtelepítési stratégiák okai között első helyen szerepel a mezőgazdasági túltermelés miatti, mezőgazdasági művelés alól kivont területek hasznosítása, ezeken a helyeken erdők telepítése.

Az elmúlt évtizedek erdőtelepítése során már alkalmazták az ültetvényszerű erdőgazdálkodást, főleg a gyorsan növekvő lágymű lombos fafajok ültetésével. A Magyarországon nem őshonos fafajok viszonylag rövid életciklus alatt, megfelelő termőhelyi viszonyok között, nagy fatermést képesek elérni. Főleg az akác és a nemesnyár azok a fafajok amelyeket, többnyire nemesített fajtáit, intenzív módon termesztik. Egyes, elsősorban szélsőségesen száraz termőhelyeken jelentős teret hódított a fenyő is.

Meg kell azonban említeni, hogy az ültetvényes fák növekedési körülményei jelentősen eltérnek a természetes erdőkben tapasztaltaktól. Ezzel összefüggésben a fatest szöveti felépítése jelentős eltéréseket mutat. Nagyobb a juvenilisfa részaránya, szélesebbek az évgyűrűk, kisebb vágáskor miatt is kis részarányú az érett fatest és a faanyag tartóssága is elmarad a természetes erdőkből származó fáétól. Az ültetvények faanyaga azonban nemcsak abban tér el a természetes erdőkétől, hogy viszonylag homogénebb, hanem a minőségét meghatározó anatómiai, kémiai és műszaki tulajdonságokban is. Ezen tulajdonságok megismerése, feltárása egyrészt elengedhetetlen visszacsatolás a nemesítőkhöz és az erdőművelőkhöz, másrészt információt nyújt új feldolgozási technológiák kidolgozásához.

Az erdészeti növény-nemesítés eredményeként a genetikai eredetű változékonyság mérsékelhető, főleg a vegetatív módon szaporítható fafajok esetében. Az egyed vegetatív úton szaporított utódait nevezzük klónnak. A klónokból létrehozott

ültetvényekkel megvalósítható az iparszerű erdőgazdálkodás és a termelt faanyag hatékonyabb feldolgozása.

Magyarország faellátottságát tekintve a gyorsan növekvő fafajok ültetvényeiből kikerülő faanyag minőségének javítása rendkívül fontos. A dolgozat megírására az ösztönzött, hogy az erdőgazdálkodással, fafeldolgozással foglalkozó szakemberek számára információkat adjak az ültetvényes erdőkben származó faanyag tulajdonságairól, valamint összehasonlító vizsgálatokkal rámutassak az egyes fajták (klónok) közötti eltérésekre. Az ültetvényes faanyagok anatómiai és műszaki jellemzői közötti összefüggések vizsgálata segítséget nyújthat a jövőben a fafelhasználás eredményesebb elősegítésében.

Mint a fentiekben említettem az ültetvények telepítése sok esetben hálózatokban történik, ami az erdőtelepítések gépesítésének egyik következménye. A hálózatba telepített fa szöveti szerkezete eltér a természetes vagy természetsszerű erdőben növekvő fa szerkezetétől. Az egyedek ültetési távolságának, vagyis a hálózat nagyságának megválasztása a fa növekedési körülményeinek változtatását teszi lehetővé. A kezdeti szűk hálózatok problémái indokolták az ültetési távolságok növelését, és az ezekből a hálózati kísérletekből származó faanyag vizsgálatát. Dolgozatomban az erdőtelepítéssel foglalkozó szakemberek számára információkat szeretnék adni arra vonatkozóan, hogy mely hálózatokban növekvő faanyagok produkálják a legjobb faanyagtulajdonságokat faipari feldolgozás szempontjából.

A kutatás céljai:

- Az ültetvényes erdőkben termesztett fák faanyagának minőségét meghatározó jellemzők közül néhány makroszkópos szöveti, mikroszkópos szerkezeti, rostmorfológiai és fizikai tulajdonság vizsgálata.
- A nemesítők által létrehozott, vegetatív szaporítású fajták (klónok) faanyagtulajdonságaiban fellelhető különbségek feltárása.
- A különböző hálózatokba telepített törzsek vizsgálata annak érdekében, hogy értékes információkat nyerjek az ipari felhasználás szempontjából arra vonatkozóan, hogy mely telepítési mód a legkedvezőbb.
- A faanyagok telítéséhez, hidrotermikus kezeléséhez elengedhetetlen ismernünk a faanyag áteresztési tulajdonságait. A kutatómunka további célja a fa fizikai tulajdonságai közül a folyadékáteresztő képesség vizsgálata, és ezzel összefüggésben egy fenyőkre vonatkozó új metódus kidolgozása.
- A fenyő faanyagának túlnyomó részét alkotó tracheidák másodlagos sejtfalát alkotó mikrofibrillák lefutási irányát meghatározó módszer, amely kereszteződési mező gödörkenyírlás irányának mérésén alapul, alkalmazása hazai körülmények között, valamint a mérés hatékonyságának megvizsgálása.

2. A kutatómunka tudományos előzményei

A világ erdeinek 67 %-a lombos fafajú, 33 %-a fenyő. Az arány Európában éppen fordított, itt ugyanis az erdőterület több mint 57%-a fenyőerdő és csak közel 43%-a lombos (FAO 1995). Magyarországon található erdőknek csak a 14 %-a fenyőerdő (ÁESZ 2002). A kisebb sűrűségű, de kiváló szilárdsági és rugalmassági tulajdonságokkal rendelkező fenyők hiánya hazánkhoz hasonlóan a Föld számos országában nagy gondot okoz.

A világ fafelhasználása ma is folyamatosan növekszik, az 1970. évi 2,4 milliárd m³-ről 1993. évi 3,33 milliárd m³-re nőtt (MOLNÁR 2001). Mint a bevezetőben már említettem a környezetvédelem és az erdőgazdálkodás egyik legfontosabb kérdése a tartamos erdőgazdálkodás biztosítása és a természetes erdők megőrzése. Emellett a faanyag iránti megnövekedett és egyre jobban differenciálódott igények kielégítése igen nagy gondot okoz. Ezen megnövekedett igények kielégítését a szakszerűen kezelt faültvények teszik lehetővé. Az erdészeti növénynevelés eredményeként a genetikai eredetű változékonyság mérsékelhető, főleg a vegetatív módon szaporítható fafajok esetében (PEZLEN 1999). Az ily módon létrehozott ültvényekkel megvalósítható az iparszerű erdőgazdálkodás és a termelt faanyag hatékonyabb feldolgozása. Egy egyed vegetatív úton szaporított, genetikailag azonos tulajdonságú utódait nevezzük *klónnak*.

Hazánkban a fenyők közül az erdei-, fekete- és lucfenyőnek van gazdasági jelentősége. A hazai viszonyok között termesztett erdeifenyő szilárdsági értékei eltérnek a szakirodalomból ismert adatoktól. Így az itt növő erdeifenyő lazább szöveti szerkezettel rendelkezik. A lucfenyő ellenben kedvező tulajdonságokkal rendelkezik, minősége eléri esetenként meg is haladja az import luc minőségét (ERDÉLYI 1974). Míg hazánkban a nyár és akác fajták (klónok) vizsgálatával számos kutatás foglalkozott addig a fenyők szöveti, szerkezeti és fizikai tulajdonságait illetően hiányosságok fedezhetők fel. A fenyők esetében elvégzett klón vizsgálatok erdészeti oldalról közelítették meg a problémát. Dolgozatomban a fa felhasználásával foglalkozó szakemberek számára szeretnék információkat nyújtani az erdeifenyő és a lucfenyő fajták faanyagtulajdonságairól.

Az **erdeifenyő** földünk egyik legnagyobb alkalmazkodóképességgel rendelkező fafaja. Mivel jól tűri a szélsőséges éghajlati viszonyokat, így a Földközi tengertől az északi sarkkörig, a Brit szigetektől É-Ny Szibériáig mindenhol előfordul. A síkvidéktől kezdve felhatol az Alpokba, a Pireneusokban közel 2000 m magasságig. Hazánkban a Dunántúl egyes tájain és a Sátorhegységben őshonos. Tömeges elterjesztése „Alföldi fásítási program”-hoz kapcsolódott, melynek kertében mintegy 80 ezer hektár erdeifenyő ültetvényt létesítettek az alföldi homoki tájakon. Ma az erdeifenyő legelterjedtebb fenyő fafajunk, területe 140 ezer hektár, amely erdeink 8 %-át jelenti (SZOJÁKNÉ 2000), az éves fakitermelés 400 ezer m³ körüli.

Az erdeifenyő nemzetségnek 120 faja ismert, ezek közül kiemelkedő jelentőségű a közönséges erdeifenyő (*Pinus sylvestris*). Igen nagy termetű fájának ágain túli párosan helyezkednek el, 4-7 cm hosszúak, csavartak (GENCSI-VANCSURA 1992). Törzse általában egyenes, hengeres. Az ágak szabályos örvet képeznek, az örvéknél a törzs megvastagszik. A kéreg sárgás-vörös színű kártyás pikkelyekben leváló. Színes gesztű

fájában a szijács az átmérő 1/3 részét foglalja el. A geszten belül a bélkörüli juvenilisfa 12-15 szélesebb évgyűrűt foglal magába. Az évgyűrűk szélessége az éghajlati viszonyoktól függően igen változó (MOLNÁR 1995/1).

Az erdeifenyő fatestét alkotó tracheidák méreteiket tekintve eltérőek a kései és a korai pásztaban. A kései tracheidák, melyek a kései pásztaban helyezkednek el $13\mu\text{m}$ falvastagságúak, míg a korai pásztaban lévő korai tracheidák sejtfa 6,7 μm körüliek (BABOS-FILÓ-SOMKUTI 1979). Falvastagságuk mellett hosszuk is eltérő a különböző pásztaban lévő tracheidáknak, a kései 3,1-4,5 mm-es tracheidákhoz képest a korai tracheidák rövidebbek, 1,8 –3,1 mm-esek.

Az erdeifenyő felhasználása igen széleskörű. Szép rajzolata, kedvező színe miatt a bútorgyártás és belsőépítészet kedvelt fája. Kültéri létesítmények készítésére is használják, zsinolyt, árbocot és vitorlarudat is készítenek fájából. Talpfaként telített formában 20-40 évig is eltartható. Fontos bányafa és mint oszlopfa is kedvelt. Előszeretettel használják tartószerkezetek és ácsszerkezetek készítésére. A papírgyártásban magas gyantatartalma miatt csak különleges vegyszerezés után használható fel. Felhasználásánál meg kell említeni, hogy a síkvidéki erdeifenyő ültetvényekről származó faanyagot, melynek szöveti tulajdonságai elmaradnak a hegyvidéki fától, elsősorban lemezipari termékek előállítására és cellulózyártásra alkalmazzák (MOLNÁR 1995/1).

A dolgozat témájaként választott másik fafaj a **lucfenyő**, amely a Közép- és Észak Európa legelterjedtebb és legfontosabb fafaja. A lucfenyő nemzettségében mintegy 50 faj és ezen belül 250 fajta található. A nagy méretű *Picea abies*, igen esztétikus megjelenésű, talán éppen ezért közkedvelt, mint „karácsonyfa”. A kontinentális éghajlatot kedveli, így a magyarországi klíma meleg és száraz számára, ezért mint őshonos fa nálunk csak Kőszeg és Sopron környékén találjuk meg. Erdeinknek mindössze 1 %-át foglalja el.

Hajtásain a tűlevelek, melyek 1-2 cm hosszúságúak, egyenként állnak. Fájának törzse egyenes, vékony ágai nem képeznek szabályos ágörveket. Kérgé szürkésbarna színű, kerek pikkelyek mentén repedezik. Gesztje színben nem különül el a szijácsétól, fája fehéres vagy sárgás-rózsaszínű. A juvenilisfa 12-16 évgyűrűt foglal magába. Őshonos termőhelyein egyenletes, keskeny évgyűrűket növeszt, míg az ültetvényes erdők fainak széles, erősen inhomogén évgyűrűi vannak (MOLNÁR 1995/2). Szép rajzolata és homogén minősége miatt igen kedvelik az asztalosiparban, valamint az építőipar egyik legfontosabb faanyagának számít. Egyedülállóan magas cellulóz tartalma miatt a lucfenyő az egyik legértékesebb papírfaja a világ összes fája közül.

A választott fafajok tekintetében is a faanyag tulajdonságai határozzák meg, hogy az adott faanyagot milyen felhasználási területen alkalmazhatjuk. A fa tulajdonságai közül az egyik legfontosabb a **sűrűség**, mert a faanyag felhasználhatóságát nagymértékben meghatározza (BAMBER ÉS BURLEY 1983). A sűrűség nem egy független faanyagtulajdonság, mert hatással van rá az anatómiai struktúra, valamint a faanyagot felépítő kémiai összetevők, genetikai különbségek és a környezeti hatások is. Azonban általánosan elfogadott, hogy a faanyag sűrűsége a legfontosabb faanyagjellemző, amely kedvezően befolyásolja számos végtermék minőségét (KOCH 1972, ZOBEL-BUIJETENEN 1989).

Sokan vizsgálták a **sűrűség és a szilárdsági tulajdonságok** összefüggéseit, és igen változatos eredmények születtek. KELLOGG ÉS IFJÚ (1962) valamint WILSON ÉS IFJÚ (1965) megállapították, hogy a sűrűség bizonyíthatóan az egyik legfontosabb faktor, amely befolyásolja a húzószilárdságot. BENDTSEN (1978) vizsgálta a különbséget a természetes és az ültetvényes erdőkből származó faanyag között, és azt találta, hogy 20-25%-kal magasabbak a mechanikai tulajdonságai a természetes erdőben nőtt fáknek. OLSON (1947) és társai a gyorsan növényőkre végeztek el vizsgálatokat, megállapították, hogy a sűrűség egyedül nem felelős a különböző szilárdsági értékekért, viszont a nagyobb mikrofibrillaszöggel rendelkező egyedek alacsonyabb szilárdsági értékekkel rendelkeztek.

A sűrűség értékeire a termőhely is befolyással van, egy-egy fafaj sűrűsége, előfordulási helyének középső részén, vagyis a klimatikus optimumában a legnagyobb (KOVÁCS 1979). PERSSON (1975) különböző ültetési hálózatokból származó erdeifenyőt és lucfenyőt vizsgált meg. Ezeknél a fenyőknél azt találta, hogy a kései pászta szélességét, és ezzel összefüggésben a sűrűséget, csökkentette a hálózat növelése, míg megfigyelte azt is, hogy a göcsök mérete fokozatosan növekedett. Vizsgálta a tracheidák hosszúságát is, és nem talált összefüggést a tracheidák mérete és a hálózat mérete között. A hálózat növekedésével, megfigyelhető a juvenilisfa arányának növekedése is, a juvenilisfa arányának növekedése pedig a sűrűség csökkenésével jár. A hálózat hatását vizsgálva erdeifenyő ültetvényeken, azt találták, hogy a legszűkebb hálózat termeli a legtöbb szárazanyagot (VARGA-PESZLEN-SZOJÁKNÉ-MÁTYÁS 1998).

A **sűrűség változása** nagymértékben függ attól, hogy a vizsgált próbatestet honnan vettük ki. A legmagasabb sűrűségi értéket HILDEBRANT (1954) lucfenyő esetében a fa közepén találta, aztán megfigyelhető egy csökkenő szakasz, majd pedig az értékek növekedni kezdenek. OLESEN (1977) és LEWARK (1979) szerint lucfenyőnél a bázissűrűség csökkenése az évgűrűszélesség növekedésével a 8-10 évgűrűig tart, majd a 15-20 évgűrűnél állandósulnak az értékek. Tehát ezek szerint a legbelső juvenilisfa nehezebb, a többi juvenilisfa pedig könnyebb, mint az érettfá. Ezen eredmények feltehetően a kezdetben igen lassan növényő keskeny évgűrűjű, a természetesen felújított lucfenyvesekre jellemzőek. KOVÁCS (1979) megjegyzi, hogy a fák bizonyos optimális évgűrűszélesség mellett képesek a legnagyobb sűrűségű fát termelni, ez az erdeifenyő esetében 2 mm-es évgűrűszélességnél következik be. Fenyőknél a korai pászta aránya nagymértékben befolyásolja a sűrűséget. A korai pászta növekedése a sűrűség csökkenését vonja maga után (OLESEN 1977).

A faanyag sűrűsége szoros kapcsolatban áll a kései pászta arányával, a tracheidák falvastagságával és a sejtfal és lumen arányával (MOLNÁR 1999). A sűrűség szempontjából a tracheidák hosszának szerepe kisebb, bár itt is pozitív lineáris korreláció figyelhető meg. Abban az esetben viszont, ha minden egyéb faanyagjellemző állandó, akkor ez általában negatívnak mutatkozik. A tracheidák hosszúsága a törzsátmérő mentén változik, mégpedig növekszik a kéreg irányában (OLESEN 1977). A sűrűség változása egy-egy fafajon belül gyakran nagyobb, mint a fafajok között (ZOBEL ÉS BUIJTENEN 1989).

A másodlagos sejtfal középső (S2) rétegében a **mikrofibrillák szögének** átlagos értéke, illetve annak változatossága szoros összefüggésben van a faanyag szilárdságával, zsugorodásával valamint rugalmassági jellemzőivel, továbbá befolyásolja a rostalapú termékek és a papír húzó- és tépőszilárdságát (HARRIS AND MEYLAN 1965, CAVE 1969,

CAVE AND WALKER 1994). A sejt hossz tengelyéhez viszonyított kisebb lefutási szög kedvezőbb mechanikai jellemzőket biztosít. A mikrofibrillák szöge szisztematikusan változik egy törzsön belül is, radiális irányban a legnagyobb értékek az 5–10. évgyűrű sejtjeiben találhatók (BENDTSEN AND SENFT 1986, PEDINI 1992). A törzs magassága mentén csökkenő tendencia figyelhető meg a mikrofibrillák lefutási szögét nézve. Továbbá fordítottan aránylik a rosthosszúsághoz, hosszabb tracheidákat kisebb (meredekebb) mikrofibrillaszög jellemez (DONALDSON 1992).

A mikrofibrillaszög mérésére a szakirodalomban többféle mérési módszer is megtalálható, bár Magyarországon idáig nem foglalkoztak a mikrofibrillaszöghöz kapcsolódó kutatásokkal. A polarizált fényel történő mérésnél a metszeten a mikrofibrillák orientációja ugyan nem látható, de polarizált fény átvilágításával a szögük meghatározható. A mérés egyik nagy hátránya, hogy a sejt falon belül a másodlagos sejt falréteg azonosítása problémát okozhat (COUSIN 1972). A jóddal történő festési módszer alkalmazásakor a minták viszonylag könnyen elkészíthetők, s a mérés során a jóddal kezelt sejt falban a jód kikristályosodásának irányát mérik, amely irány követi a mikrofibrillák szögét. A mérés gyorsan elvégezhető, de nem eléggé pontos (SENFT & BENDTSEN 1985). Az ultrahangos méréssel, amely igen pontos mérést ad, a sejt falon lévő repedések mérhetők, a sejt fal mikro-repedései pontosan a mikrofibrillák irányát adják meg (HUANG 1995). A fafelhasználó ipar gyors és roncsolásmentes mérési módszer kifejlesztésére ösztönzi a kutatókat, s ennek eredményeként egyre újabb, más anyagtudományi területen kifejlesztett és sikeresen alkalmazott mérési módszert kísérnek meg adaptálni a faanyagra. A legújabb módszerek közt megemlítendő a röntgen-sugárral történő diffrakciós (X-ray diffractometry), valamint a közeli infravörös ('Near Infrared', NIR) spektroszkópos eljárás. Ezek azonban, egyenlőre rendkívül drága és csak kevesek számára hozzáférhető módszerek, amellet hogy nagyfokú kalibrációt igényelnek. Viszont rövid idő alatt nagymennyiségű mérést tesznek lehetővé kis méretű faanyag mintákon, vagy akár élő fákból kivett növedékcsoportokon (CAVE 1966, MEYLAN 1967, EVANS 2001, SCHIMLECK et al. 2001). A műszerezettség szempontjából legegyszerűbb mérés a keresztvezetési mező gödörke nyílás irányán alapuló módszer, bár a metszet előkészítése meglehetősen munkaigényes folyamat. Ennél a módszernél a kései pásztaiban történő méréseknél jóval nagyobb gondosságra van szükség, mint a korai pászta esetében, viszont a korai pásztaiban a gödörkék elhelyezkedésének nagyobb változatossága okozhat problémát (PILLOW 1953, SHUMWAY 1971).

A **külpontosság** a törzsön belül a bél elhelyezkedésének a középponttól való eltérése. Kialakulása összefügghet külső mechanikai hatásokkal (pl. szél- és hónyomás) vagy asszimilációs körülményekkel. A külpontosság hatására eltérő évgyűrű- és pászta szélességek alakulnak ki a keresztmetszet két oldalán, ezek pedig eltérő fizikai tulajdonságokat eredményeznek. A nagyobb méretű külpontosság általában együtt jár a **reakciófa** képződésével, amely a faanyag műszaki tulajdonságait befolyásoló fahibák között jelentős helyet foglal el. A fenyők esetében a fában képződő reakciófát **nyomottfának** nevezzük. A reakciófa kialakulásának okai még napjainkban sem tisztázottak igazán, kialakulásában fontos szerepet játszik a gravitáció, bizonyos auxinok koncentrációja, egyes fafajokra jellemző genetikai sajátosságok (TIMMEL 1986, ZOBEL ÉS VAN BUIJETENEN 1989), valamint termesztési, növekedési körülmények.

A fenyők nyomottfája anatómiai szempontból jelentősen eltér a normál fától. TIMMEL (1986) munkájában megemlíti, hogy rövidebb tracheidákkal rendelkeznek, a sejtek falvastagsága nagyobb, valamint nagyobbak a mikrofibrillaszögei is

(SHELBOURNE ÉS RITCHIE 1968). LOW (1964) megállapítása szerint 15-40 %-kal nagyobb a sűrűsége a nyomottfának. A nyomottfa tracheidák lapos mikrofibrillaszögei túlzott rostirányú zsugorodást eredményeznek, a szilárdsági tulajdonságai is megváltoznak, nyomószilárdsága megnő, húzó és ütó-hajlító szilárdsága csökken (PEZLEN 2000).

Az intenzíven kezelt ültetvények fái méreteiket tekintve fiatalabb korban érik el a vágásérettséget, melynek eredményeképpen sokkal nagyobb mennyiségben tartalmaznak **juvenilisfát**, bél körüli fatest (BENDTSEN 1978). A juvenilisfa jellemzői lényegesen eltérnek az idősebb korban létrehozott fatest, az érettfá tulajdonságaitól (ZOBEL-BUIJETENEN 1989). A juvenilisfa a legtöbb felhasználási szempontból gyengébb minőségű faanyagot jelent. Jellegzetessége, hogy a fatest szinte valamennyi tulajdonsága gyorsan, évgyűrűről évgyűrűre változik, majd a változás lelassul és az érettfá szakaszban viszonylag konstanssá válik (KELLISON ET ALL. 1985, PEASE 1985, PEZLEN 1993). A bél körüli juvenilisfában a tracheidák rövidebbek és vékonyabb falúak, mint az érettfában lévők (ZOBEL-BUIJETENEN 1989, THOMAS 1985, WHEELER 1987). Az eltérő anatómia tulajdonságok következtében a juvenilisfa alacsonyabb szilárdsági tulajdonságokkal rendelkezik. Ezen felül a másodlagos sejtfalréteget alkotó mikrofibrillák nagyobb elrendeződési szöge nagyobb zsugorodást eredményez (MEYLAN 1968). WHEELER (1987) tanulmányában arra következtetett, hogy a rövidebb tracheidák falában a mikrofibrillák szöge nagyobb mint a hosszabbakban, így ez is hozzájárul ahhoz, hogy a juvenilisfa kedvezőtlenebb zsugorodási tulajdonsággal rendelkezik mint az érettfá. MEYLAN (1968) szerint a juvenilisfa hosszanti zsugorodása 9 %-kal nagyobb, mint az érettfáé. Ebből következik, hogy az érettfát és juvenilisfát egyaránt tartalmazó fűrészelt faanyag szárításkor, a kétféle faanyag eltérő zsugorodási jellemzői miatt, fokozottabban hajlamos repedésekre (MCMILLIN 1973).

A Magyarországon elvégzett **fenyő klón vizsgálatok** száma meglehetősen kevés, s azok is elsősorban erdészeti szempontok alapján tárgyalják a faanyag tulajdonságait. Egyes fenyő klónok mechanikai, fizikai tulajdonságainak vizsgálatával, azok összehasonlításával néhány hazai kutató foglalkozott, azonban nem a felhasználási szempontokat tartották szem előtt. Az erdészeti növénynevelők már régóta próbálnak olyan külső és belső jegyeket találni a faanyagban, amelyek alapján egyes klónokat jobb tulajdonságaik miatt előnyben részesítenek. Hazánkban ÚJVÁRINÉ (1983) vizsgált lucfenyőket, s megállapította, hogy a magassági növekedése nagymértékben klónhoz kötött tulajdonság, míg a magassági növekedés egyenletességét a termőhely és az időjárás éves ingadozása nagymértékben befolyásolják. Megemlíti továbbá, hogy a fatörzsön növekvő oldalágak száma és ezzel együtt a korona tömörsége is klónspecifikus tulajdonság. Ide kapcsolható az a tanulmány is, amelyben SAUER (1978) és társai megfigyelték, hogy a lucfenyő ágak hajlásszöge is erősen klónhoz kötött tulajdonság. A morfológiai jegyeket vizsgálva ÚJVÁRINÉ (1984) megállapítja, hogy a lucfenyő tűk alakja, száma és színe szintén eltérő a különböző klónok között, valamint megemlíti a tűk kihegyezettségét, amely szintén klón specifikus tulajdonsága a fának. BÁNÓ és RETKES (1968) munkájukban megemlítik, hogy vannak olyan természetes fahibák, amelyek egyes klónok esetében sokkal súlyosabban jelentkeznek, mint másoknál.

GENCSI (1973) az erdeifenyő klónok anatómiai jellemzőinek vizsgálatával foglalkozott és tanulmányában két klón szövettani különbségét vizsgálta. Vizsgálatai azt mutatják, hogy a két klón között különbség csak kvantitatív jellemzőkben mutatkozott, amelyek diagnosztikai célokra kevésbé alkalmasak. HALUPÁNÉ ÉS MÁTYÁS (1975)

harminckét erdeifenyő klónt hasonlítottak össze és megállapították, hogy a klónok között a sűrűség értékeit tekintve különbségek tapasztalhatók. A fenyő klónok mechanikai, fizikai és anatómiai tulajdonságainak vizsgálata és fafelhasználói szempontból történő összehasonlító elemzése hiányos az irodalom palettáján.

A faanyag **permeabilitásának**, azaz folyadék- és gázáteresztő képességének mérése a mikrofibrilla méréshez hasonlóan Magyarországon nem terjedt el. A faanyagok telítéséhez, hidrotermikus kezeléséhez és modifikálásához azonban ismernünk kell a faanyag áteresztési tulajdonságait is. A faanyagon történő áteresztési vizsgálatok közül a folyadékáteresztést akkor alkalmazhatjuk, ha az áteresztéshez szükséges nyílásokon, azaz fenyőknél a tracheidák gödörke nyílásain, a folyadék szabadon áramolhat. Tehát csak abban az esetben, ha a faanyag még élő nedves állapotban van és így a tracheidák gödörkéin az aspiráció még nem következett be (WALKER 1993). A faanyag folyadékáteresztő képessége számos tényezőtől függ, köztük a fafajtól, a szöveti felépítéstől, a gesztésedéstől, az anizotrópiától, stb. (SIAU 1984). A vizsgálatok eredményei a nagyszámú befolyásoló tényező miatt nagy eltéréseket eredményezhet. Ezzel szemben a faanyag gázáteresztő képessége sokkal pontosabban mérhető, hiszen a gáz nem lép kölcsönhatásba a fával olyan mértékben, mint a víz (SKAAR 1988).

A **permeabilitási** vizsgálatokat a fa különböző anatómiai irányokban végezhetjük el. A különböző irányokban a mérési adatok is különbözőek lesznek, így a legnagyobb értékeket a tracheidákkal párhuzamosan történő mérésnél kapjuk. A sugár- és húrirányokban a mérések között nem jelentősek az eltérések, viszont jóval kisebb értékeket kapunk, mint hosszirányban. Néhány fenyő esetében radiális irányban nagyobb az áteresztőképesség, mint tangenciális irányban, ennek oka a bélsugár nagyobb mérete és a bélsugár tracheidák nagyobb száma (WALKER 1993). BOOKE ÉS KININMONTH (1977) radiáta fenyő vizsgálataik során azt tapasztalták, hogy a koncentrikus korai pászta szöve a folyadékáteresztés szempontjából elkülönül a szinte áthatolhatatlan kései pásztától, továbbá, hogy a folyadékáteresztés és a sűrűség között negatív, míg a folyadékáteresztés és a nedvességtartalom között pozitív a korreláció. Magyarországon az egyetlen folyadékáteresztő képesség mérésére alkalmas berendezés, amelyen faanyagok mérése lehetséges, a Nyugat-Magyarországi Egyetem Faanyagtudományi Intézetének laboratóriumában található, ahol néhány éve kezdődtek el lombosfák permeabilitási tényezőinek meghatározásával kapcsolatos vizsgálatok (PAUKÓ 1997). Fenyőkre vonatkozó permeabilitási vizsgálatokra első alkalommal ezen disszertáció keretében került sor.

Mint az a témakör irodalmának fenti áttekintéséből kiderült, az ültetvényes fenyőerdőkből származó faanyagok átfogó vizsgálatával, a lombos fákéval ellentétben, eddig alig foglalkoztak a kutatók. A dolgozat keretében így arra vállalkoztam, hogy komplex módon – mintegy 8 különböző anatómiai és fizikai jellemzővel – vizsgáljam az ültetvényes luc- és erdeifenyő termesztésének és faanyagminőségének a kapcsolatát.

3. A kutatómunka módszere, vizsgálati anyagok

A vizsgálandó anyagot az európai erdőgazdálkodásban nagy mennyiségben termesztett erdei- és lucfenyő mintatörzsek szolgáltatták. A lucfenyő anyag Svédországból, Hermanstorból érkezett Magyarországra egy itt folyó EU kutatás kapcsán. A lucfenyő kitermelése után a faanyagot vizes állapotában hűtőkocsiban szállították Magyarországra, így élő nedves állapotban sikerült tartani a vizsgálatokig, a hűtés a károsító gombák megjelenése ellen is védelmet biztosított. Magyarországon a vizsgálatok helyén, a mérések megkezdéséig a lucfenyő faanyagot a Faanyagtudományi Intézetben hűtőkamrában tároltam.

Az erdeifenyő faanyag a magyarországi, acsádi klón kísérleti telepről (Vas megye) származik, de a lucfenyővel ellentétben a vizsgálandó anyag már légszáraz állapotban került az intézetbe, így a mérések megtervezésénél ezt a különbséget figyelembe kellett venni.

A lucfenyő anyagot 1978-ban telepítették és 1998-ban került sor a faanyag kitermelésére, összesen 41 klón 157 törzsének vizsgálatát végeztem el (3.1. táblázat) a kutatás keretében. Az erdeifenyő anyag telepítésére korábban 1970-71-ben került sor, kitermelésére pedig egy évvel előbb 1997-ben, innen 3 klón 23 törzsének faanyagtulajdonságainak vizsgálatára került sor. A három klón négy különböző hálózatból származott, az egyes törzsek pontos származási helyét a 3.2. táblázat mutatja be.

3.1. táblázat – Lucfenyő mintatörzsek klónonkénti csoportosítása

Klón	Törzs kódja				
'2454'	170	182	229	263	
'2457'	163	187	245	260	
'2458'	219	250	264		
'2480'	252	253	281	283	
'2498'	221	236	297		
'2533'	167	176	214	256	294
'2542'	248	257			
'2569'	232	307			
'2617'	201	226			
'2654'	154	211	300		
'2657'	164	171	204	289	
'2667'	149	189	210	230	273
'2671'	205	208	223	234	266
'2816'	136	188	220	247	
'2852'	165	191	198	203	269
'2921'	148	254			
'24104'	158	213	225	304	
'25110'	175	249	293		
'25152'	186	196	284		
'25177'	183	184	215	292	302
'25194'	138	168			

Klón	Törzs kódja				
'25200'	202				
'25212'	185	231	268	305	
'25284'	139	143	156	200	286
'25298'	146	228	239	243	288
'25324'	128	166	258	285	153
	259	262	287		
'27140'	140	180	212	238	
'27254'	126	194	207		
'27336'	137	147	178	224	244
'27389'	151	161	222	240	272
'27494'	144	169	275	298	
'27500'	132	152	282	290	
'28100'	127	142	261	276	
'28112'	181	195	235		
'28114'	135	155	251		
'28118'	131	172	177	265	267
'28329'	129	179	193	216	
'28373'	141	192	199	270	
'28396'	134	174	190	227	
'28470'	157	218	233	271	
'28475'	145	150	277	280	

3.2. táblázat – Az erdeifenyő hálózati klónkísérletből kiválasztott mintatörzsek jelölése, valamint a vizsgált korongok törzsben elfoglalt magassági értékei

Hálózat	Klón	Törzs kódja	Magasság [m]
2x2	'1-20'	49	tőkorong
		57	tőkorong
	'6-10'	55	tőkorong
		59	tőkorong
8x2	'1-20'	13	1,5
		11	1,3
	'6-10'	7	1,7
		5	2,0
		9	1,3
		17	1,4
8x6	'1-20'	25	1,3
		31	1,3
	'6-10'	23	1,5
		27	2,4
		29	1,3
	'6-25'	19	1,3
		33	1,3
		35	1,3
8x16	'1-20'	39	tőkorong
		37	tőkorong
	'6-10'	41	tőkorong
		43	tőkorong
		45	tőkorong

Az erdeifenyőnél, mint az a 3.2. táblázatból is látható, 4 hálózatból származtak a vizsgálathoz felhasznált törzsek. A hálózatban való telepítés célja ennél az ültetési kísérletnél a magtermesztés fokozása volt, ehhez négyzetes és téglalap alakú ültetési tervet dolgoztak ki. Így a 2x2 hálózat esetében a törzsek egy 2x2 méteres négyzet csúcsain helyezkednek el. A 8x2 hálózat esetében pedig egy 8x2 méteres téglalap sarkaiba ültetik a törzseket.

A kutatómunka tervezése szempontjából előnyösebb lett volna, ha azonos körülményekkel, jellemzőkkel rendelkeznek a vizsgált erdei- és lucfenyő ültetvények. Mindemellett, az eltérő körülmények ellenére a mintavétel lehetővé tette:

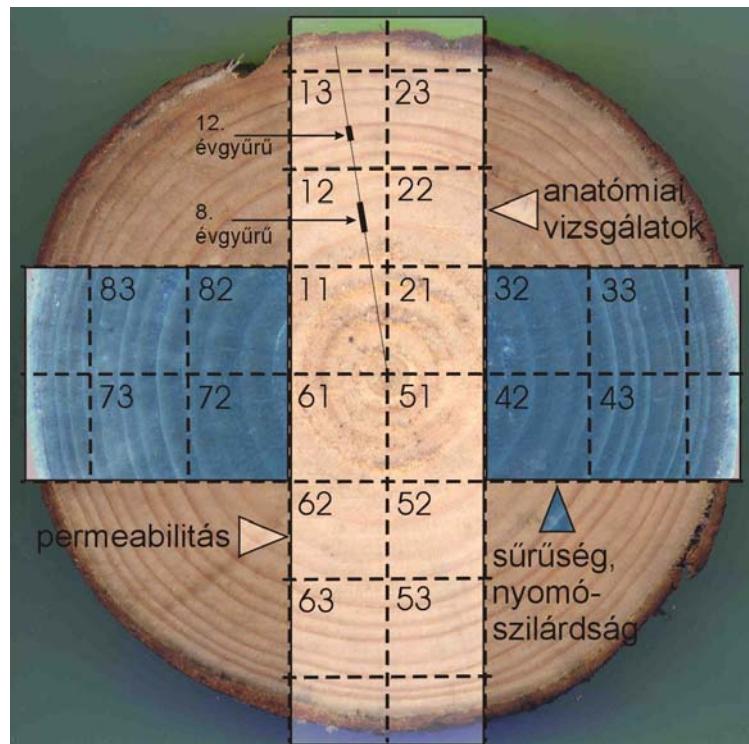
- az erdeifenyő esetében, a rendkívül sok vitát kiváltó, az ültetvény létesítésének költségeit meghatározó telepítési hálózatnak a faminőség szempontjából történő vizsgálatait,
- mindkét faj esetében a fajtanemesítés (klónok) szerepének feltárását a faminőség szempontjából; továbbá a juvenilisfa mértékének és sajátosságainak a tisztázását.

Mindkét fenyő, tehát a lucfenyő és az erdeifenyő mintatörzsek anyagán makroszkopikus, mikroszkopikus szöveti és fizikai jellemzők vizsgálatára került sor. A vizsgálatok megtervezésénél egyrészt figyelembe kellett vennem a faanyag nedvességi

állapotát, másrészt pedig, hogy törzsenként egy 2,5-3 cm vastagságú korong állt a rendelkezésre. Elsődleges célom az volt, hogy a komplexitás érdekében minél több faanyagtulajdonság mérését próbáljam biztosítani a korongokon. Ehhez a 3.1. ábrán feltüntetett vágási sémát dolgoztam ki, amely segítségével a korongokat részekre osztottam. A részekre osztott faanyagon két egymásra merőleges tengely mentén 2x2 cm-es próbatestek kialakítására került sor. Ezzel a módszerrel az egyes faanyagtulajdonságok radiális irányú nyomon követése érdekében egy számozási rendszer kidolgozására is sor kerülhetett. Így a próbatestek számának egyes helyi értéke megadja a próbatest bétől való távolságát, amit a továbbiakban *pozíciónak* nevezek majd.

A korongokon végrehajtott vizsgálatok a következők:

- törzsátmérő meghatározása
- külpontosság meghatározása
- évgűrűszélesség mérése
- tracheidahosszúság mérése
- sejtfal-lumen arány meghatározása
- mikrofibrillaszög mérése
- bázissűrűség mérése
- térfogati zsugorodás mérése
- permeabilitási vizsgálatok
- nyomószilárdság meghatározása



3.1. ábra – Mintavétel erdei- és lucfenyő klónkísérletből származó mintatörzsekből az egyes vizsgálatok helyeinek megadásával
(fotó: Paukó A.)

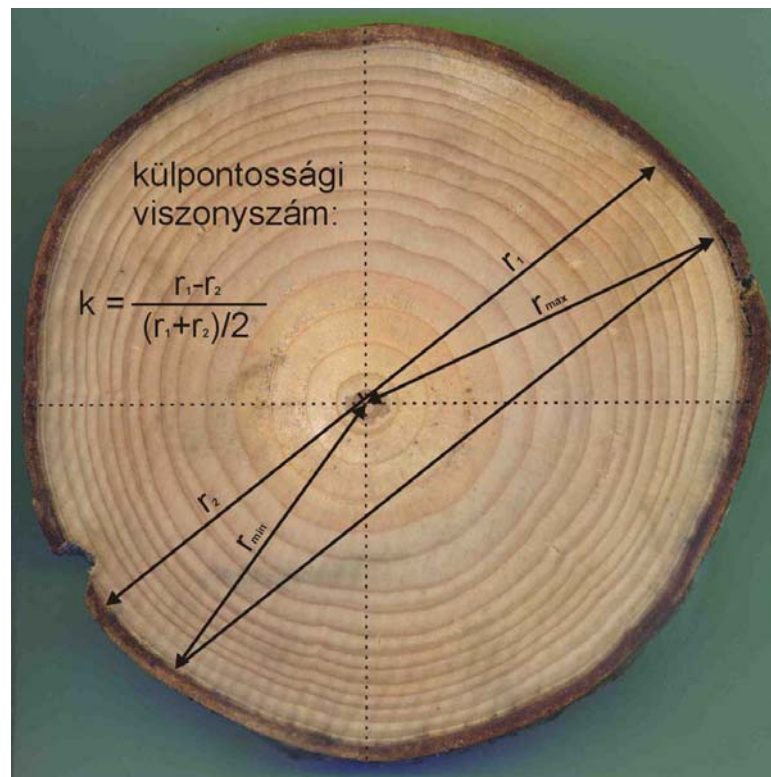
3. 1. Korong átmérő és külpontosság mérése

A fatörzs keresztmetszetén a bél elhelyezkedése lehet központos és külpontos. A külpontos elhelyezkedésű bél kialakulása összefügghet külső mechanikai hatásokkal (pl. szél- és hónyomás) vagy asszimilációs körülményekkel. A külpontosság hatására a keresztmetszet két oldalán eltérő évgyűrű és pásztaszélességek alakulnak ki, amelyek pedig eltérő fizikai tulajdonságokat eredményeznek. A fenyők reakciófája az úgynevezett „nyomottfa” mind anatómiai, mind műszaki szempontból jelentősen eltér a „normálfa” tulajdonságaitól (TIMMEL 1986).

A kutatásban elvégzendő vizsgálatok, valamint a vizsgálandó korongok nagy száma és nedvességtartalmi állapota miatt a makroszkópos vizsgálatok a mintatörzsek digitalizált képén kerültek lemérésre, így egyidejűleg lehetőség nyílt a vizsgálatok párhuzamos végzésére.

A törzs átmérő és a külpontosság méréséhez az Image-Pro Plus 4.0. képelemző program nyújtott segítséget, amely a mérések pontosabb és gyorsabb elvégzését tette lehetővé. A mintatörzsek átmérőjének meghatározása a következő módon történt: a digitalizált képen mért legkisebb és legnagyobb kéreg nélküli átmérő átlaga adta meg a törzsek átlagos átmérőjét.

A külpontosság jellemzésére az úgynevezett külpontossági viszonyszámot használtam, amelynek számítási módját a 3.2. ábra szemlélteti.



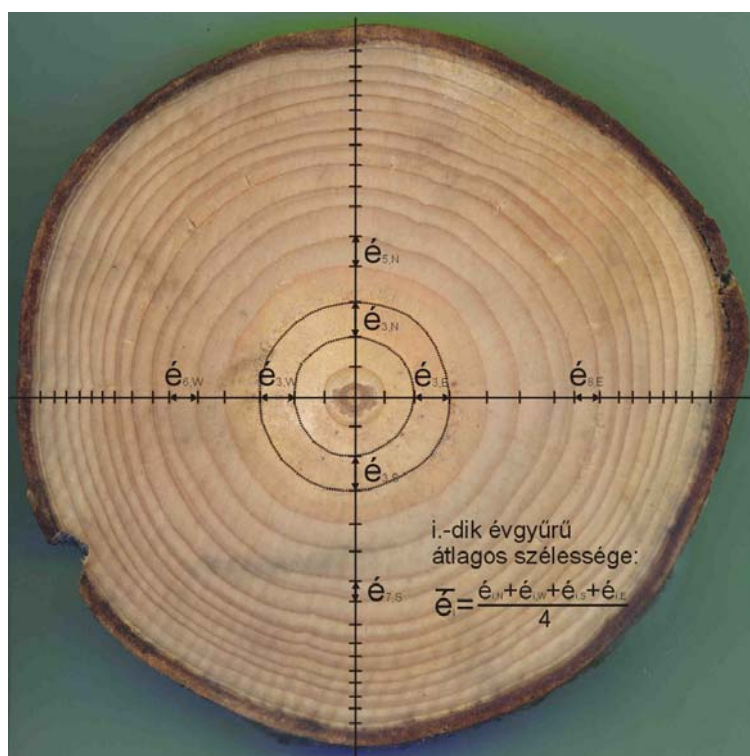
3.2. ábra - Mintatörzsek külpontosságának mérése és a külpontossági viszonyszám kiszámításhoz használt képlet (fotó: Paukó A.)

A „k” külpontossági viszonyszámot a következő módon számítottam ki, a korong leghosszabb (r_{\max}) és a legrövidebb sugarának (r_{\min}) kerületi pontjait összekötő húrral párhuzamost rajzoltam a bélen keresztül. Ez adta meg a külpontossági átmérőt (r_1+r_2), amely felével osztottam a külpontosság abszolút nagyságát (r_1-r_2). Az így kapott eredmények alapján három csoportra osztottam a mintatörzseket, ezek a következők:

- | | |
|-----------------------|--|
| I. nem külpontos: | $külpontossági\ viszonyszám < 0,10$ |
| II. enyhén külpontos: | $0,10 < külpontossági\ viszonyszám < 0,20$ |
| III. külpontos: | $külpontossági\ viszonyszám > 0,20$ |

3. 2. Évgyűrűszélesség

Az előző méréshez hasonlóan a mintakorongok évgyűrűszélességének mérésére is a digitalizált képen került sor. Tetszőlegesen kiválasztott két tengely mentén a bétől a kéreg felé haladva mértem az egyes szélességi értékeket, majd a mért adatok átlagát véve számoltam ki az évgyűrűk szélességét (3.3. ábra).



3.3. ábra – Mintatörzsek évgyűrűszélességének mérése két tengely mentén, valamint az átlagos évgyűrűszélesség kiszámítása (fotó: Paukó A.)

3. 3. Tracheidahosszúság mérése

A tracheidák egyedi jellemzői nemcsak a rostanyagok és a papír, hanem a tömörfa tulajdonságait is befolyásolják. A termék minősége nagymértékben függ a tracheidák hosszától, a legtöbb felhasználási szempontból a hosszú tracheidákat részesítik előnyben.

A juvenilisfát, a bél körül kialakult belső évgyűrűket tartalmazó részét a fának, rövidebb tracheidái és egyéb kedvezőtlen műszaki tulajdonsága miatt nem kedvelik a feldolgozóiparban. Ugyanez figyelhető meg a reakciófát tartalmazó fenyőknél is, ugyanis a nyomottfában lévő tracheidák rövidebbek, emiatt okozott rosthozam csökkenés tetemes rostvesztést jelent a papíripar számára, valamint a papír minősége is romlik (WATSON ÉS DADSWELL 1959).

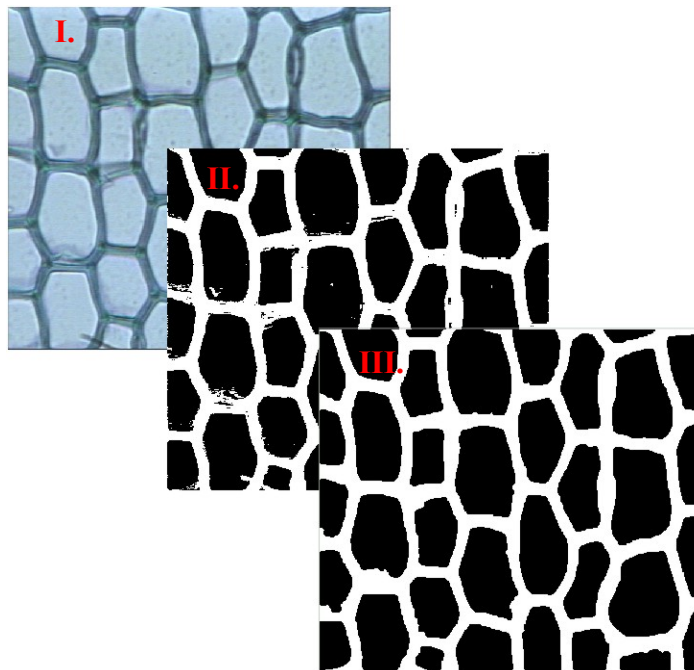
A dolgozat keretében tracheidahosszúság méréséhez a 3.1. ábrán világosabb árnyalattal jelölt területekről kikerült próbatestek szolgáltak mintául. A bélén átfutó részek negyedik, nyolcadik, és tizenkettedik évgyűrűjéből kb. 2x2x20 mm nagyságú minták Jeffrey-féle (10% HNO₃ és 10% CrO₃ vizes oldata) macerátummal való kezeléssel sejtjeire bomlottak. A folyamat 8-10 óra alatt zajlott le. Az így előkészített mintában 35-35 ép tracheida hosszúságának mérésére került sor sztereómikroszkóp és számítógépes képelemző program segítségével (3.4. ábra).



3.4. ábra – Tracheida hosszúságának mérése Image-Pro Plus 4.0. számítógépes program segítségével
(fotó: Paukó A.)

3. 4. Sejtfal-lumen arány meghatározása

A sejtfal–lumen arány megméréséhez, mintatörzsenként egy keresztmetszetet készítettem, úgy hogy az tartalmazza a nyolcadik évgyűrűt. A metszetek elkészítése igen sok időt vett igénybe, a metszetkészítéskor fellépő hibákat, beszakadásokat, deformációkat, a kés életlenségéből adódó egyenetlenségeket, a ragasztáskor a metszetbe szoruló légbuborékokat mind-mind ki kellett küszöbölni, hiszen csak hibátlan mintákon elvégzett mérések adnak értékelhető eredményt. Az így elkészített és a jobb láthatóság érdekében kék festékkel megfestett metszetek képeit digitalizáltam a mikroszkóppal összekötött számítógép segítségével. A metszetekről készült képek mindig a korai pásztaból kerültek ki és mindig a lehető legközelebb az évgyűrűhatárhoz. A digitalizált képen képelemző rendszer segítségével meghatároztam a sejtfal és a lumen arányát, úgy hogy különböző szűrők alkalmazásával a sejtfalat feketére a lumeneket pedig fehérre festettem a képen, majd a két szín terület arányát határoztam meg. A 3.5. ábrán mutatom be a mérés egyes lépéseit az első képen a mikroszkópról felvett képet látjuk, erre a nyers képre kerültek fel a különböző szűrők, így alkalmassá vált a kép a világos (sejtfal) és sötét (lumen) területek mérésére.

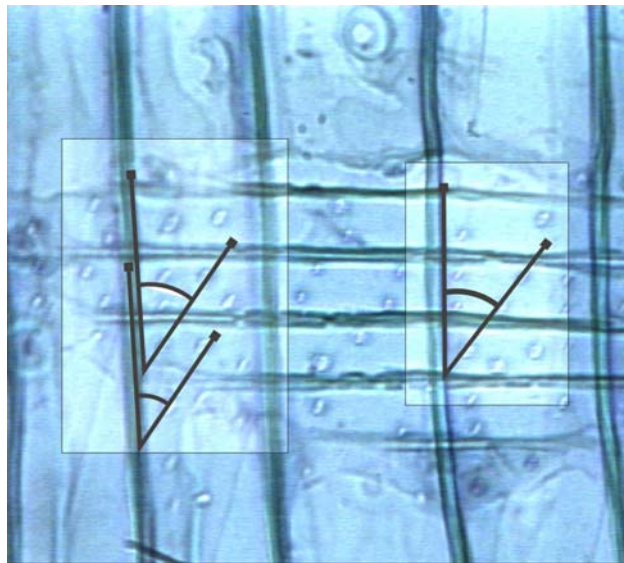


3.5. ábra – Sejtfal lumen arány meghatározásának különböző fázisai (I.: a megfestett metszetről készített felvétel; II.: a világos és sötét részek fekete-fehér megjelenítése; III.: szűrők alkalmazása után a mérés elvégzésére alkalmas kép)
(fotó: Paukó A.)

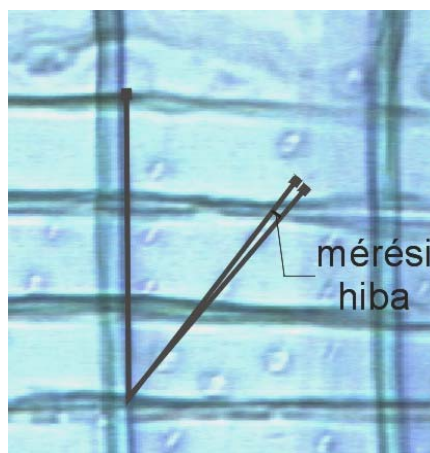
3. 5. Mikrofibrillaszög meghatározása

A mikrofibrillaszög méréséhez minden törzsből egy-egy radiális irányú metszet készítésére volt szükség, a minták a nyolcadik évgyűrű kései pásztaból kerültek ki. A

metszeteket itt is kék festékkel festettem meg, a nagyobb kontraszt érdekében. A sejtfalet alkotó mikrofibrillák szögét a kereszteződési mezőben (hossztracheidák és a bélsugár parenchimák közös falán) látható egyszerű gödörkék nyílásának átlója segítségével mértem meg, mivel a gödörkék a mikrofibrillák közé ékelődnek be, így elhelyezkedésük egyben megadja a mikrofibrillák orientációját is (PILLOW 1953, SHUMWAY 1971). Ez a mérés nem automatizálható, ezért a mikroszkopikus képeken közvetlenül kerültek lemérésre a szögek, amely nagy pontosságot igényelt. A mérés menete a következők szerint alakult (3.6. ábra): függőlegesnek, amelyhez a gödörke nyílás szögét viszonyítottam, a sejtfalet vettem, és egy-egy metszeten összesen 15 szöget mértem. A mérésből adódó pontatlanság 3-5 %-os, amit a gödörkenyílás ismételt lemérésével számoltam ki (3.7. ábra). A vizsgálat idő, munka és berendezés igényes így valószínűleg ez a magyarázata annak, hogy Magyarországon eddig ilyen jellegű mérések nem folytak.



3.6. ábra – Mikrofibrillaszög mérése a kereszteződési mező gödörkenyílás irányának segítségével a tracheida sejtfalához viszonyítva
(fotó: Paukó A.)



3.7. ábra – Mikrofibrillaszög mérésének hiba lehetősége
(fotó: Paukó A.)

3. 6. Bázissűrűség és térfogati zsugorodás mérése

Általánosan elfogadott a faanyaggal foglalkozó szakemberek körében, hogy a faanyag növekvő sűrűsége a legfontosabb egyedi faanyagjellemző, amely kedvezően befolyásolja számos végtermék minőségét, bár bizonyos tulajdonságokra, mint pl. a zsugorodás kedvezőtlen hatást fejt ki.

A faanyag sűrűségének megmérésére a korongokból a 3.1. ábrán ismertetett helyekről próbatesteket készítettem, melyek mérete 20x20x25 mm (rad. x tang. x long.). A korongokból kivágott próbatestek mérete különbözik a szabvány által megadott 20x20x30 mm-es mérettől, de a mintakorongok vastagsága 30-25 mm volt, így egységesen 25 mm-es hosszúságúra készítettem a mintákat. A szabványtól való eltérés nem okoz gondot, hiszen a klónok közötti összehasonlítást a szabványostól eltérő méretű próbatestek is lehetővé teszik.

A mérés menete a következőképpen alakult. A 48 órára beáztatott próbatestek méretét a három anatómiai irányban digitális tolómérővel mértem meg, és ezen adatok alapján kiszámoltam a faanyag maximális térfogatát. A próbatestek tömegét digitális mérleg segítségével határoztam meg, először nedves állapotban, majd szárítószekrényben történt szárítás után abszolút száraz állapotban. Az abszolút száraz állapotú mintáknak ismét lemérésre kerültek a térfogati jellemzőik. A mért értékekből az 1. és 2. képletek segítségével már meghatározhatók a bázissűrűség valamint a térfogati zsugorodás értékei (MOLNÁR 1999).

$$\rho_b = \frac{m_0}{V_{\max}} [kg / m^3] \quad (1. \text{ képlet})$$

ahol:

- ρ_b - bázissűrűség
- m_0 - abszolút száraz tömeg,
- V_{\max} - a rosttelítettségi nedvességtartalmat meghaladó állapotú nedves faanyag térfogata.

$$Z = \frac{V_n - V_0}{V_n} \cdot 100[\%] \quad (2. \text{ képlet})$$

ahol:

- Z - a térfogati zsugorodás %-ban
- V_n - a rosttelítettségi pontot meghaladó nedvességű faanyag térfogata
- V_0 - az abszolút száraz állapotú faanyag térfogata

3. 7. Permeabilitás (hosszirányú) meghatározása

A fenyő faanyagok eltérő nedvességtartalmúan kerültek a vizsgálatok helyére, ezért a permeabilitási vizsgálatoknál a luc és erdeifenyő anyagokat eltérő vizsgálatoknak kellett alávetni. A lucfenyő anyag élőnedves állapotú volt, így lehetőség

volt rajta folyadékáteresztést mérni, mert az udvaros gödörkék aspirációja még nem történt meg, szemben az erdeifenyővel, amelynek a száradása során ez a visszafordíthatatlan jelenség lejátszódott.

3. 7. 1. Folyadékáteresztő képesség meghatározása

A lucfenyő mintatörzsek képének digitalizálása után először a folyadékáteresztő képesség vizsgálatokat kellett elvégezni, hogy a faanyag száradása ne befolyásolja a mérést. A tényleges mérési sorozatok megkezdése előtt a folyadékáteresztő képesség meghatározásához előkísérletek végzésére volt szükség, mivel a folyadékáteresztő képesség mérése nem szabványosított, másrészt a rendelkezésemre álló berendezés is egyedi gyártmány (3.8. ábra). A próbatestek méretének és a mérési paramétereknek a meghatározásánál a megbízhatóság és a megismételhetőség mellett figyelembe kellett venni a kutatási feladat általános célkitűzését, azaz a klónok közötti különbségek feltárását. Miután a fenyőfélék anatómiai szerkezete és így a folyadék mozgása a faanyagon belül lényegesen különbözik a lombos fákétól, ezért részben saját, részben pedig a nemzetközi szakirodalomban megtalálható kísérleti módszerekre alapozva kidolgozásra került egy olyan metódus, melyet valamennyi lucfenyő mintán alkalmaztam.



3.8. ábra – Folyadékáteresztő berendezés
(fotó: Paukó A.)

A vizsgálatok lefolytatása előtt a legnagyobb feladatot az átáramoltatandó anyag meghatározása jelentette. Az első kísérletsorozatokat desztillált víz alkalmazásával végeztem el. A szakirodalomban (CHEN & HOSSFELD 1964) utalást találhatunk arra, hogy a vízben oldott gázok fékezhetik az áramlást, ha a sejtek közötti átjárhatóságot biztosító elemek (gödörkék) nyílásai egy meghatározott átmérő alatti méretet vesznek fel. Ebben az esetben is ez a jelenség lépett fel, így olyan folyadéokra volt szükség, amelynek alacsony a felületi feszültsége és jól nedvesíti a fát, s ezáltal a gödörkenyílásokban alacsony kapilláris fékező erők lépnek fel a folyadék-fa-levegő által határolt felületen kialakuló meniszkusz lapos volta miatt. Erre a célra az etilalkohol (C₂H₆O) felelt meg legjobban, mivel alig duzzasztja és más szerves oldószerekhez képest, kevésbé roncsolja a faanyag szerkezetét. A kísérletek eredményeként a 80%-os etilalkohol-víz eleggyel végeztem a vizsgálatokat.

A permeabilitás klónokra jellemző sugár menti esetleges változásának feltérképezésére a 8. és a 12. évgyűrűk 10 mm-es tartományát jelöltem ki teszt-keresztmetszetnek. Így a 3.1. ábrán feltüntetett helyeken 2-2 mérés végzésére került sor a 8. és a 12. évgyűrűnél. A korongok nedvességtartalmát az előnedves állapotnak megfelelő szinten kellett tartani, ezt hűtés biztosította. A hűtött próbatetek felmelegítése a környezet hőmérsékletére (23°C) klímakamrában történt. A felmelegítés után a korongokat vízben kellett áztatni, hogy a megmunkálás és az előkészítés során ne veszítsenek nedvességtartalmukból.

A folyadékáteresztést egységesen 2 bar folyadéknyomás mellett, 23°C-on, 10 mm-es átmérőjű kör keresztmetszetű mérőfejjel végeztem. Az áramlás során a 0,5 cm³-es folyadékmennyiség átfolyásához szükséges időt 0,1s-os pontossággal mértem meg.

Lamináris áramlást feltételezve alkalmazható a Darcy törvény a folyadékáteresztés meghatározására (SIAU 1984):

$$k_f = \frac{V \cdot L}{A \cdot \Delta P \cdot t} \left[\frac{m^3}{m \cdot Pa \cdot s} \right] \quad (3. \text{ képlet})$$

ahol:

- k_f - permeabilitás
- V - átáramlott térfogat [m³]
- L - átáramoltatott hossz [m]
- A - átáramoltatott keresztmetszet [m²]
- ΔP - a belépő és a kilépő oldalak közti nyomáskülönbség [Pa]
(esetünkben egyenlő a folyadéknyomással)
- t - a V mennyiségű folyadék átáramlásához szükséges idő [sec].

Vizsgálatok során a nyomás változtatásával arányosan változó átfolyó mennyiségeket tapasztaltam, ami az áramlási viszonyok lamináris voltára utal. A mérések során egységesen 3 cm³-nyi folyadékot préseltem át a próbatetekeken és az utolsó két átfolyási idő átlagából számoltam a 0,5 cm³-átáramlásához szükséges időt.

3. 7. 2. Gázáteresztő képesség meghatározása

Az erdeifenyő anyag már légszáraz állapotban került a vizsgálatok helyszínére, így ezen az anyagon már csak gázáteresztő vizsgálatok elvégzésére volt lehetőség. Mivel ilyen berendezéssel a Faanyagtudományi Intézet nem rendelkezik a vizsgálatok elvégzésére a Technical University in Zvolen faanyaglaborában került sor. A mérésekhez a korongok nyolcadik és tizenkettedik évgyűrűjéből 12x12x12 mm nagyságú próbatesteket készítettem. A mérés 65%-os relatív páratartalom, 12 %-os nedvességtartalom mellett és 20 °C-on történt. A nyomás különbségét mértem a próbatest két oldalán, ahol a gáz belépett a fába, és ahol távozott. A gázáteresztési adatok kiszámításához a 4. képletet használtam (SIAU 1984).

$$k_g = \frac{V \cdot L \cdot P}{t \cdot A \cdot \Delta P} \left[\frac{m^2}{s} \right] \quad (4. \text{ képlet})$$

ahol:

- k_g - permeabilitás
- V - gáz térfogata [m^3]
- L - átáramoltatott hossz [m]
- P - gáz nyomása [Pa]
- A - átáramoltatott keresztmetszet [m^2]
- ΔP - a belépő és a kilépő oldalak közti nyomáskülönbség [Pa]
- t - a V mennyiségű gáz átáramlásához szükséges idő [sec]

3. 8. Nyomószilárdság mérése

A nyomószilárdsági értékek a 3.1. ábrának megfelelően a világoskékkel jelölt részekről kivett mintákon kerültek lemérésre. A vizsgálatokhoz 20x20x25mm-es méretű (rad. x tang. x long.) minták kerültek kialakításra, úgy mint a sűrűségmérésnél. A próbatestek, addig amíg a tömegük állandósult, 20°C-on és 65%-os relatív páratartalmú klimatizált helységben tároltam. A szilárdsági méréseket szintén klimatizált helységben INSTRON 4500 típusú univerzális, számítógéppel vezérelt anyagvizsgáló géppel végeztem el. A nyomószilárdság értékek számítása:

$$\sigma_{ny} = \frac{F_{\max}}{A} \left[\frac{N}{mm^2} \right] \quad (5. \text{ képlet})$$

ahol:

- σ_{ny} - nyomószilárdság
- F_{\max} - maximális törőerő
- A - terhelt keresztmetszet

A nyomószilárdsági vizsgálatoknál meg kell említeni, hogy mivel a próbatestek mérete a szabványtól eltérően rövidebb volt, a mérés során az anyagban a

nyomófeszültségeken kívül nyírófeszültségek is felléptek. Azonban minden próbatest azonos mérettel rendelkezett így az összehasonlító vizsgálatok eredményeit ez nem befolyásolta.

3. 9. Eredmények elemzési módszere

A mérési eredmények értékeléséhez különböző statisztikai vizsgálatokat végeztem. A varianciaanalízis lehetővé teszi több átlag statisztikai összehasonlítását egy próbával, ez egy olyan módszer, amellyel egy adathalmaz teljes varianciáját olyan összetevőkre bontjuk, amelyek a variáció különböző okait mérik (ORBAY 1990). Varianciaanalízist végeztem egyszeres osztályozással, amikor is az adatok szóródását csak egy faktor szerint vizsgáltam, amely a klón volt. Kétszeres osztályozás szerint vizsgáltam a hálózat és klón, valamint ezek kölcsönhatását, továbbá a klón és pozíció és ezek kölcsönhatását. Az adatok szignifikanciáját 95%-os ($\alpha=0,05$) és 99%-os ($\alpha=0,01$) valószínűségi szinteken vizsgáltam.

A varianciaanalízissel eldönthetjük, hogy az átlagok eltérőek vagy sem. Annak meghatározására azonban, hogy melyik átlag melyik másik átlagtól különbözik további statisztikai próba alkalmazása szükséges. Ehhez úgynevezett többszörös terjedelem próbát alkalmaztam, mégpedig a Duncan próbát, amely több átlag összehasonlításakor is jól alkalmazható, és homogén átlagok részalmazát adja meg. Abban az esetben, ha csak két átlag összehasonlítása vált szükségessé a „t”-próbát alkalmaztam. A Duncan próba esetén a szignifikancia szint $\alpha=0,05$ volt.

A mért faanyagtulajdonságok összehasonlíthatósága érdekében a variációs együtthatót használtam (coefficient of variation, cv), amely a szórás százalékos arányát adja meg az átlaghoz viszonyítva.

A faanyagtulajdonságok, mint változók összefüggésének mérésére az úgynevezett Pearson féle korrelációs együtthatót használtam, amely két változó lineáris kapcsolatának erősségét méri. Minél szorosabb összefüggés van két változó között, annál közelebb áll a korrelációs együttható értéke az 1-hez, ilyenkor pozitív lineáris összefüggésről beszélhetünk, ha a korrelációs együttható a -1-hez közelít, akkor negatív összefüggés van a változók között. Minél közelebb van a 0-hoz, annál nagyobb a változók korrelálatlansága. A Pearson féle korrelációs együtthatók meghatározásakor is az adatok szignifikanciáját 95%-os ($\alpha=0,05$) és 99%-os ($\alpha=0,01$) valószínűségi szinteken vizsgáltam.

A vizsgálatok adatainak értékeléséhez a 'SPSS 9.0. for Windows' nevű statisztikai programot használtam (NORUSIS 1993).

4. Vizsgálati eredmények

A két fafaj mintavétele eltérő módon történt a mérési módszernél leírtaknak megfelelően, így az erdeifenyő és a lucfenyő vizsgálatok értékelésénél külön-külön elemeztem a két fafajt. Mindkét fafaj esetében ebben a fejezetben a vizsgálati eredmények leírása történik, a vizsgálati eredmények értékelése a következő, 5. fejezet témája lesz.

4.1. Erdeifenyő (*Pinus sylvestris*)

4.1.1. A telepítési hálózat hatása

A különböző *Pinus* fajok kiemelkedő szerepet játszanak az ültetvényes fagazdálkodásban. Így a déli félteke mediterrán–óceáni klímájában a *Pinus radiata*, a trópusokon a *Pinus caribea*, az északi féltekén pedig a közönséges erdeifenyő a *Pinus sylvestris* játszik meghatározó szerepet. A telepítési és erdőművelési költségeket döntően meghatározza az elültetett csemeték hektáronkénti száma, vagyis a telepítési hálózat. Természetesen kevesebb csemeteszámú, tág hálózatok lennének a költségek szempontjából a legelőnyösebbek, de az eredményességet a fatermés mennyisége és minősége együttesen határozzák meg.

E munka keretében – a minőség kérdéséhez kapcsolódva – célul tűztem ki a fatest belső tulajdonságainak komplex szöveti és fizikai vizsgálatát. Így nem foglalkoztam a fahibák (göcsösség, sudarosság) kérdéseivel. E területen meg kell jegyezni, hogy közismert a tág hálózatokban termelt erdeifenyő ültetvények erős ágörvekkel, így nagyobb méretű ággöcsökkel rendelkeznek. Az ilyen fák sudarlósága is nagyobb. A kezdeti gyorsabb növekedés miatt jelentősebb az éretlen juvenilisfa részaránya is (PERSSON 1975). A jelen kutatás kapcsolódik a Faanyagtudományi Intézetben folytatott korábbi vizsgálatokhoz, amikor megállapítást nyert, hogy a kisebb növőtér (szűkebb hálózat) előnyösebb, nem csak a faanyag sűrűsége, hanem a szárazanyag produkció szempontjából is (VARGA et al. 1998).

A jelen vizsgálat sorozat keretében a szöveti és fizikai tulajdonságok együttes meghatározásával egy komplexebb kutatással szerettem volna igazolni a kisebb telepítési hálózat előnyösebb voltát.

Az erdeifenyő faanyagán a mérési módszereknél ismertetett faanyagvizsgálatok közül az évgyűrűk szélességét, a tracheidák hosszúságát, sejtfal arányát, a mikrofibrillák szögét a faanyag bázissűrűségét, térfogati zsugorodását mértem. A permeabilitási vizsgálatok közül itt a gázáteresztő képesség mérését tette lehetővé a fa száraz állapota, valamint a szilárdsági tulajdonságok közül a nyomószilárdságát vizsgáltam. A mintatörzseknek mértem a korong átmérőjét valamint a külpontosságát, ezeknek a méréseknek az eredményei láthatók a 1. mellékletben. Megállapítható, hogy a 23 törzsből csak 5 olyan volt, amely koncentrikusságot mutatott.

Mivel az erdeifenyő esetében különböző hálózatokból (2x2; 8x2; 8x6; 8x16) származó klónokat vizsgáltam, ezért először az egyes hálózatok közötti összefüggéseket vizsgáltam meg. Ennek eredményét a 4.1. táblázatban helyeztem el, itt szerepelnek az egyes hálózatok faanyagtulajdonságonkénti átlag értékei. A Duncan összehasonlító statisztikai próba eredményeit nagy betűvel jelöltem, az azonos betűk azt jelentik, hogy az átlag értékek

egymástól nem térnek el nagymértékben, vagyis a Duncan próba szerint azonos csoportba tartoznak. A továbbiakban ezt a jelölésrendszert alkalmaztam. Az egyes tulajdonságok hálózat szerinti részletes Duncan próbáit a mellékletben helyeztem el (2-3. melléklet).

A vizsgálatok elemzésénél az egyes tulajdonságok közötti azonos trendekre, hasonlóságokra koncentrálva elemeztem az eredményeket. Ezek alapján a 4.1. táblázatból megállapítható, hogy a teljes adatbázison számított hálózati átlagértékek a **gázáteresztés** és a **nyomószilárdság** vizsgálatoknál nem különböznek egymástól. A gázáteresztés esetében 32,26 m²/s átlagértéket kaptam, a nyomószilárdság esetében 31,21 MPa-t.

4.1. táblázat – Erdeifenyő hálózati klón kísérletből származó mintatörzsek faanyagtulajdonságainak hálózatonkénti átlagértékei az egész populációra vonatkozóan

Hálózat	Évgyűrű szélesség [mm]		cv	N	Tracheida hosszúság [mm]		cv	N
2x2	8,52	A	43,81	57	2,13	A	27,72	315
8x2	8,07	A	45,64	114	2,34	C	24,28	630
8x6	11,49	B	33,84	152	2,40	C	21,02	837
8x16	14,37	C	26,11	133	2,24	B	24,08	734
Összes	11,10		40,8	456	2,30		23,8	2516

Hálózat	Sejtfal arány [%]		cv	N	Mikrofibrillaszög [°]		cv	N
2x2	35,53	C	5,93	3	29,08	A	23,85	29
8x2	29,69	A	7,00	3	36,34	B	15,22	44
8x6	30,51	AB	8,06	8	34,18	B	29,16	117
8x16	33,20	BC	6,91	7	29,76	A	20,30	74
Összes	32,01		9,18	21	32,74		25,8	264

Hálózat	Bázis sűrűség [kg/m ³]		cv	N	Térfogati zsugorodás [%]		cv	N
2x2	375,88	C	5,72	16	9,22	B	22,93	17
8x2	336,33	A	10,61	23	8,10	A	20,22	23
8x6	353,97	B	8,83	58	8,33	AB	19,38	58
8x16	374,78	C	8,67	62	8,58	AB	19,80	72
Összes	361,74		9,51	159	8,49		20,2	170

Hálózat	Gáz-áteresztés [m ² /s]		cv	N	Nyomószilárdság [MPa]		cv	N
2x2	31,13	A	26,01	10	32,57	A	19,25	19
8x2	30,16	A	35,06	14	31,15	A	16,37	25
8x6	33,64	A	37,17	24	31,52	A	13,00	53
8x16	32,78	A	39,33	15	30,53	A	13,17	60
Összes	32,26		35,41	63	31,21		14,6	157

cv : variációs együttható

N : a minta elemszáma

A, B, C : Duncan próba által meghatározott statisztikailag homogén átlagok részhalmazának jelölése

A hálózati átlagértékeket elemezve, amint az várható volt, hasonló tendenciát találtam a **sejtfal arány** és a **bázisűrűség** vizsgálatánál. E két tulajdonság esetén, a legkisebb (2x2) és a legnagyobb (8x16) hálózat eredményezte a legmagasabb értékeket, míg a 8x2 hálózat átlagértéke lett a legalacsonyabb. A sejtfal arány átlaga az egész populációt nézve 32,01%, 9,18%-os variációs együtthatóval. A bázisűrűség szintén egész populációra számított átlagértéke 361,74 kg/m³, amely átlagosnak mondható az irodalmi adatokban fellelhető értékekhez viszonyítva, 9,51%-os variációs együttható mellett.

A többi tulajdonság vizsgálati eredményeinél, nem találtam hasonlóságot, ezért ezeket külön-külön elemeztem. Az azonos évgyűrűszámra számított **évgűrűszélesség**, a 2x2 és a 8x2 hálózaton a legkisebb, e két hálózati érték egymástól szignifikánsan nem különbözik. A 8x16 hálózatban volt a legnagyobb az évgűrűszélesség átlagos értéke.

A **tracheidahosszúság** átlagos hálózati értékei közül a 2x2 hálózatban volt a legkisebb átlagérték (2,13 mm), a legnagyobb átlagértéket a 8x2 (2,34 mm) és a 8x6 (2,4 mm) hálózat produkálta, míg a 8x16 hálózat közbenső értéket mutatott (2,24 mm). Egeik hálózat esetében sincs nagy eltérés az egész populáció átlagértékéhez viszonyítva, amely 2,3 mm 23,8% variációs együttható mellett.

A **mikrofibrillaszög** értékeinél érdekes módon a 2x2 (29,08°) és a 8x16 (29,76°) hálózat tracheidái rendelkeztek a legkisebb mikrofibrillaszöggel.

A **térfogati zsugorodás** hálózati átlagértékeinél átfedés tapasztalható az egyes hálózatok között. A legkisebb zsugorodása (8,1 %) a 8x2 hálózatban növény fákban volt, míg a legnagyobb (9,22 %) a 2x2 hálózat egyedeinek.

4.1.2. A klónhatás (fajtanemesítés) összefüggései

Az erdészeti fajtakísérletek értékelésével nagy számú szakirodalom foglalkozik (MÁTYÁS 1986, TOMPA-SZIKLAI 1981). Sajnos a fenyőfajták faminőség kérdésére e munkák többsége nem terjed ki. A nyár fajták esetében meg kell említeni BABOS K. (2002) értékes munkáját a szöveti és fizikai tulajdonságok együttes klónonkénti vizsgálatára. ÚJVÁRINÉ (1980) a lucfenyő nemesítéséhez kapcsolódva a cellulózipari szempontból fontos rostösszeállítást emelte ki. A jelen kutatásban először próbáltam fenyő klónok (fajták) rangsorba állításakor – több jellemző vizsgálat mellett – a hálózati hatást is fegyelembe venni.

A következő lépést az egyes klónok ('1-20', '6-10', '6-25') közötti összefüggések feltárása jelentette a négy hálózat összes törzsére vonatkozóan. Az adatok értékelésénél itt is azt a módszert választottam, hogy az egyes tulajdonságok között fellelhető hasonló tendenciákat elemeztem. A statisztikai elemzésekhez használt Duncan próba eredményeit itt is nagy betűkkel tüntettem fel a táblázatokban, amelyek részleteiben a 4.-5. mellékletben található.

4.2. táblázat – Erdeifenyő hálózati klónkísérletből származó mintatörzsek faanyagtulajdonságainak klónonkénti átlagértékei

Klón	Évgyűrű szélesség [mm]		cv	N	Tracheida hosszúság [mm]		cv	N
'1-20'	9,97	A	40,62	114	2,26	A	26,49	630
'6-10'	12,10	B	37,08	190	2,29	A	23,52	1047
'6-25'	10,71	A	43,69	152	2,35	B	22,06	839

Klón	Sejtfal arány [%]		cv	N	Mikrofibrilla szög [°]		cv	N
'1-20'	31,98	A	12,19	6	34,06	A	24,99	86
'6-10'	33,06	A	6,84	10	31,47	A	24,27	118
'6-25'	29,94	A	7,13	5	33,36	A	28,58	60

Klón	Bázis sűrűség [kg/m ³]		cv	N	Térfogati zsugorodás [%]		cv	N
'1-20'	357,14	A	10,28	33	8,28	A	22,64	38
'6-10'	371,68	B	8,23	73	8,99	B	17,03	75
'6-25'	350,90	A	9,88	53	7,98	A	21,13	57

Klón	Gáz-áteresztés [m ² /s]		cv	N	Nyomószilárdság [MPa]		cv	N
'1-20'	32,99	A	36,86	7	29,79	A	15,77	36
'6-10'	34,90	A	35,11	29	32,32	B	14,20	68
'6-25'	29,25	A	33,86	27	30,76	AB	13,34	53

cv: variációs együttható

N: a minta elemszáma

A, B, C: Duncan próba által meghatározott statisztikailag homogén átlagok részalmazának jelölése

A teljes adatbázison számított klón átlagokat tekintve, mely adatokat a 4.2. táblázat tartalmazza, az alábbiak állapíthatók meg. Az egyes klónok között a **sejtfal arány**, **mikrofibrillaszög** és **gázáteresztő képesség** értékek átlagai lényegesen nem különböznek egymástól, vagyis az egyes tulajdonságokon belül a statisztikai értékelés szerint nincs szignifikáns eltérés.

A faanyag **évgűrűszélességét**, **bázissűrűségét** és a **térfogati zsugorodását** elemezve megállapítható, hogy a '6-10' klón statisztikailag nagyobb értékeket mutatott mind a három tulajdonság esetében, mint a másik két klón. A három klón közül a '6-10' klón, fentebb már megvizsgált, sejtfalaránya is a legnagyobb értéket mutatta. A **nyomószilárdsági** eredményeknél is az tapasztalható, hogy a '6-10' klón rendelkezik a legmagasabb szilárdsági értékkel, ettől csak az '1-20' klón különbözik szignifikánsan.

A **tracheidahosszúság** értékeinek elemzésekor egyik tulajdonsággal sem találtam hasonló tendenciát, itt a '6-25' klón szignifikánsan eltért a másik két klóntól.

Azonban összehasonlítva a '6-25' klón 2,35 mm-es átlagértékét az '1-20' és a '6-10' klón értékeivel, melyek 2,26 mm és 2,29 mm, gyakorlati szempontból elhanyagolhatóan kicsinek tűnik a különbség, ezt megerősíti a magas, közel 24-es variációs együttható is.

4.1.3. Klónok hálózaton belüli összehasonlítása

A hálózat hatása a faanyagtulajdonságok többségét tekintve lényegesnek mutatkozott, ezért a hálózaton belül további elemzéseket készítettem. A hálózatokon belül vizsgáltam az egyes klónok közötti különbségeket. A hálózatokon belül az egyes tulajdonságok varianciaanalízis eredményeit a 4.3. táblázat szemlélteti, a részletes statisztikai próbákat a 6-20. melléklet tartalmazza.

4.3. táblázat - Erdeifenyő klónkísérletből származó mintatörzsek faanyagtulajdonságainak hálózaton belüli varianciaanalízise a klónhatás meghatározására

Faanyagtulajdonság	2x2 hálózat	8x2 hálózat	8x6 hálózat	8x16 hálózat
évyűrűszélesség	NS	*	*	NS
tracheidahosszúság	**	**	**	**
sejtfal arány	NS	NS	*	NS
mikrofibrillaszög	-	NS	**	*
bázissűrűség	NS	NS	*	NS
térfogati zsugorodás	NS	NS	**	*
gázáteresztés	NS	NS	NS	NS
nyomószilárdság	NS	NS	NS	*

** szignifikáns 0,01-es valószínűségi szinten

* szignifikáns 0,05-os valószínűségi szinten

NS nem szignifikáns

Az egyes hálózatokon belül a klónok átlagértékeit a 4.4.-4.7. táblázatokban foglaltam össze, itt is feltüntetve a Duncan próba eredményeit.

4.1.3.1. A 2x2 hálózat

A *2x2 hálózatban* a **bázissűrűség, térfogati zsugorodás, gázáteresztő képesség, nyomószilárdság** mérésekor nem tapasztaltam a klónok között szignifikáns eltérést (4.3. táblázat).

A **tracheidahosszúságot** és a **sejtfal arányt** tekintve a '6-10'-es klón rövidebb hosszúságú és vékonyabb sejtfalú tracheidával rendelkezett, mint az '1-20' klón (4.4. táblázat), de statisztikailag szignifikáns eltérés csak a tracheidahosszúságra mutatkozott. Ehhez a két tulajdonsághoz minta anyag nem állt rendelkezésemre.

A **mikrofibrillaszög** mérést csak az '1-20' klón faanyagán végeztem el, így klónok közötti összehasonlításra ennél a tulajdonságnál nincs lehetőség.

4.4. táblázat – Erdeifenyő klónkísérlet 2x2 hálózatból kiválasztott mintatörzsek klón szerinti átlagértékei

Klón	Évgyűrű szélesség [mm]		cv	Tracheida hosszúság [mm]		cv
'1-20'	9,17	A	44,18	2,24	B	29,28
'6-10'	7,23	A	36,59	1,93	A	18,93
'6-25'	-	-	-	-	-	-

Klón	Sejtfal arány [%]		cv	Mikrofibrilla szög [°]		cv
'1-20'	36,69	A	2,40	29,08	-	23,85
'6-10'	33,20	A	-	-	-	-
'6-25'	-	-	-	-	-	-

Klón	Bázis sűrűség [kg/m ³]		cv	Térfogati zsugorodás [%]		cv
'1-20'	373,69	A	6,59	8,96	A	26,42
'6-10'	385,67	A	1,76	9,35	A	12,31
'6-25'	369,39	A	7,15	9,90	A	27,56

Klón	Gáz-áteresztés [m ² /s]		cv	Nyomószilárdság [Mpa]		cv
'1-20'	32,40	A	44,51	29,70	A	24,15
'6-10'	30,18	A	5,70	35,08	A	9,09
'6-25'	30,88	A	23,64	36,29	A	8,40

cv: variációs együttható

A, B, C: Duncan próba által meghatározott statisztikailag homogén átlagok részalmazának jelölése

4.1.3.2. A 8x2 hálózat

A *8x2 hálózatban* csak úgy, mint a 2x2 hálózatban a faanyag tracheidáinak sejtfalaránya, mikrofibrilláinak szöge, a fa bázissűrűsége, térfogati zsugorodása, gázáteresztő képessége, valamint a nyomószilárdsági értékei nem mutattak a klónátlagok között szignifikáns eltérést (4.3. táblázat). A mikrofibrillaszög mérésénél a 8x2 hálózat '6-25' klónjából nem volt mintavétel. A többi tulajdonságnál szignifikáns eltérés volt megfigyelhető. Az **évgűrűszélesség** átlagértékei között átfedés tapasztalható, a '6-25' klón átlagértéke sem az '1-20' sem pedig a '6-10' klóntól nem különbözik, míg ez utóbbi kettő egymástól szignifikánsan eltért.

A **tracheidahosszúság** adatait tekintve az '1-20' klón rendelkezett a legrövidebb (2,16 mm) tracheidákkal, lényegesen nagyobb a '6-25' klón átlagértéke (2,32 mm) és a '6-10' klón átlagértéke a legmagasabb (2,45 mm) (4.5. táblázat). Annak ellenére, hogy statisztikailag szignifikáns az eltérés a tracheidák hosszúságát nézve gyakorlati szempontból megfontolandó a 0,1-0,2 mm-es eltérés az átlagok között, főként mivel a variációs együttható értéke meglehetősen magas, 22-26 %.

4.5. táblázat – Erdeifenyő klónkísérlet 8x2 hálózatából kiválasztott mintatörzsek klónonkénti átlagértékei

Klón	Évgyűrű szélesség [mm]		cv	Tracheida hosszúság [mm]		cv
'1-20'	13,35	A	27,41	2,16	A	26,1
'6-10'	14,35	B	25,11	2,45	C	24,7
'6-25'	14,91	AB	27,27	2,32	B	22,6

Klón	Sejtfal arány [%]		cv	Mikrofibrilla szög [°]		cv
'1-20'	27,30	A	-	32,89	A	11,9
'6-10'	31,04	A	-	38,13	A	14,3
'6-25'	-	-	-	-	-	-

Klón	Bázis sűrűség [kg/m ³]		cv	Térfogati zsugorodás [%]		cv
'1-20'	333,28	A	1,83	9,33	A	1,83
'6-10'	347,09	A	9,30	7,77	A	18,4
'6-25'	328,76	A	12,27	8,14	A	23

Klón	Gáz-áteresztés [m ² /s]		cv	Nyomószilárdság [MPa]		cv
'1-20'	-	-	-	23,78	A	-
'6-10'	28,06	A	47,3	33,67	A	15,3
'6-25'	31,33	A	30,2	29,87	A	14,5

cv: variációs együttható

A, B, C: Duncan próba által meghatározott statisztikailag homogén átlagok részalmazának jelölése

4.1.3.3. A 8x6 hálózat

A *8x6 hálózatban* a klónok jóval nagyobb változatosságot mutatnak (4.6. táblázat). A faanyagtulajdonságokra a klónnak nincs hatása a **gázáteresztés** és a **nyomószilárdság** vizsgálati értékeinél.

A vizsgálatok eredményéből kitűnik, hogy az **évgyűrűszélesség**, **bázissűrűség** valamint a **térfogati zsugorodás** értékeinél ugyanaz a tendencia figyelhető meg, vagyis mindhárom faanyagtulajdonság esetén, a '6-10' klón átlagértékei a legnagyobbak. A tracheidák **sejtfal arányának** értékeinél is hasonló eredményt kaptam, itt is a '6-10' klón átlagértéke a legmagasabb. Egyetlen eltérés van az előző három tulajdonsághoz viszonyítva, hogy a sejtfal arányát tekintve az '1-20' klón a másik két klóntól nem különbözik, azaz itt a klónok között átfedés figyelhető meg (4.6. táblázat). A **tracheidák hosszúságát** valamint a **mikrofibrillaszöget** vizsgálva egymással ellentétes eredményeket kaptam. Amíg a tracheidahosszúságnál az '1-20' klón rendelkezett a

legkisebb tracheidákkal, addig a mikrofibrillaszög éppen ennél a klónnál volt a legnagyobb.

4.6. táblázat – Erdeifenyő klónkísérlet 8x6 hálózathoz kiválasztott mintatörzsek klónonkénti átlagértékei

Klón	Évgyűrű szélesség [mm]		cv	Tracheida hosszúság [mm]		cv
'1-20'	6,38	A	51,79	2,21	A	22,7
'6-10'	9,21	B	38,98	2,43	B	17,4
'6-25'	7,87	A	46,59	2,49	B	22,0

Klón	Sejtfal arány [%]		cv	Mikrofibrilla szög [°]		cv
'1-20'	30,00	AB	2,2	42,17	B	16,0
'6-10'	32,79	B	8,0	30,12	A	26,4
'6-25'	28,57	A	2,3	33,44	A	32,1

Klón	Bázis sűrűség [kg/m ³]		cv	Térfogati zsugorodás [%]		cv
'1-20'	341,39	A	12,8	7,38	A	14,8
'6-10'	367,23	B	6,9	9,42	B	15,0
'6-25'	347,15	A	5,6	7,72	A	18,5

Klón	Gáz-áteresztés [m ² /s]		cv	Nyomószilárdság [Mpa]		cv
'1-20'	33,42	A	37,4	30,18	A	13,4
'6-10'	37,31	A	35,9	31,92	A	14,0
'6-25'	30,06	A	39,2	32,42	A	9,9

cv: variációs együttható

A, B, C: Duncan próba által meghatározott statisztikailag homogén átlagok részhalmazának jelölése

4.1.3.4. A 8x16 hálózat

A legtágabb hálózat esetében, amely a **8x16** volt (4.3. táblázat) az **évgyűrűszélesség**, **sejtfal arány**, **bázissűrűség**, **térfogati zsugorodás**, **gázáteresztő képesség** és a **nyomószilárdság** átlagértékei között nincs szignifikáns eltérés. A **tracheidahosszúság** átlagos értékei (4.7. táblázat) esetében az '1-20' klónnál mértem a legnagyobb tracheidahosszúságot, a '6-10' és '6-25' klónoknál pedig nem tapasztaltam eltérést a hosszúságokban.

A **mikrofibrillaszög** átlagos klónonkénti értékei között átfedés tapasztalható, a '6-10' klón nem különbözött szignifikánsan a '1-20' klón értékétől, de szignifikánsan kisebbnek mutatkozott a '6-25' klónnál.

4.7. táblázat – Erdeifenyő klónkísérlet 8x16 hálózatából kiválasztott mintatörzsek klónonkénti átlagértékei

Klón	Évgyűrű szélesség [mm]		cv	Tracheida hosszúság [mm]		cv
'1-20'	10,88	A	25,82	2,48	B	25,7
'6-10'	12,66	A	34,35	2,19	A	25,2
'6-25'	10,74	A	35,40	2,20	A	18,6

Klón	Sejtfal arány [%]		cv	Mikrofibrilla szög [°]		cv
'1-20'	31,20	A		30,25	AB	23,0
'6-10'	34,31	A	6,8	28,45	A	20,4
'6-25'	31,98	A	5,7	33,12	B	13,6

Klón	Bázis sűrűség [kg/m ³]		cv	Térfogati zsugorodás [%]		cv
'1-20'	376,43	A	4,2	8,70	A	23,5
'6-10'	379,25	A	8,4	8,98	A	17,3
'6-25'	365,70	A	10,2	7,86	A	20,3

Klón	Gázáteresztés [m ² /s]		cv	Nyomószilárdság [MPa]		cv
'1-20'	-	-	-	29,85	A	5,9
'6-10'	37,11	A	32,6	31,81	A	14,6
'6-25'	20,88	A	26,5	29,00	A	11,0

cv: variációs együttható

A, B, C: Duncan próba által meghatározott statisztikailag homogén átlagok részhalmazának jelölése

4.1.4. A hálózat és a klón hatásának együttes vizsgálata

Az eddig megvizsgált szempontok alapján tehát a hálózat és a klón hatásokat összevetve kétszeres osztályozás szerint is elvégeztem az adatok kiértékelését. Az egyik faktornak a hálózatokat vettem a másik faktornak pedig a klónokat, a vizsgálatok részletes eredményeit 21-24. mellékletekben helyeztem el. A kapott varianciaanalízis eredményeket a 4.8. táblázatban foglaltam össze a jobb áttekinthetőség kedvéért. A táblázat értékeiből a következő megállapítások tehetők:

- A különböző faanyagtulajdonságokat tekintve az egyes hálózatok szignifikáns különbséget mutatnak az **évgyűrűszélesség**, **tracheidahosszúság**, **sejtfal arány**, **mikrofibrillaszög**, **bázissűrűség**, és a **nyomószilárdság** átlagértékeinél. Nincs szignifikáns eltérés, viszont a **térfogati zsugorodás** és a **gázáteresztés** átlagértékei között. Együttesen megállapítható, hogy a hálózat jelentős hatással van a faanyag minőségi jellemzőire.

- A klónok között szignifikáns eltérés mutatkozik a **mikrofibrillaszög** és a **nyomószilárdság** átlagértékeinél, de nincs szignifikáns eltérés az **évgűrűszélesség**, **tracheidahosszúság**, **sejtfal arány**, **bázissűrűség**, **térfogati zsugorodás**, és a **gázáteresztő képesség** értékeinél. Összességében megállapítható, hogy a vizsgált 3 klón faminősége között jelentős eltérés nincs.
- A hálózat és a klón kölcsönhatás vizsgálatokor négy faanyagtulajdonság esetében kaptam szignifikáns eltérést ezek a következők, az **évgűrűszélesség**, **tracheidahosszúság**, **mikrofibrillaszög** és a **térfogati zsugorodás**. A többi faanyagtulajdonság esetében nincs kimutatható kölcsönhatás a klónok és a hálózatok között.

4.8. táblázat - Erdeifenyő klónok hálózat és klón szerinti varianciaanalízise

	Hálózat	Klón	Hálózat és klón kölcsönhatása	Regressziós együttható
Évgűrűszélesség	**	NS	**	32,6
Tracheidahosszúság	**	NS	**	6,3
Sejtfal arány	*	NS	NS	62,6
Mikrofibrillaszög	**	*	**	23,7
Bázissűrűség	**	NS	NS	17,9
Térfogati zsugorodás	NS	NS	*	11,9
Gázáteresztés	NS	NS	NS	0,4
Nyomószilárdság	*	*	NS	10,1

** szignifikáns 0,01-es valószínűségi szinten

* szignifikáns 0,05-os valószínűségi szinten

NS nem szignifikáns

4.1.5. A tulajdonságok változása a törzsfa keresztmetszete mentén (a kor hatása)

A vizsgálatokhoz felhasznált mintakorongokon bizonyos tulajdonságok törzsön belüli változásának mérésére is sor került, ezen vizsgálatok a következők voltak: bázissűrűség, térfogati zsugorodás, nyomószilárdság. A vizsgálati helyeket, pozíciókat a 3.1. ábrán bemutatott számozási rendszer szerint jelöltem ki. A 4.9. táblázatban foglaltam össze ezen mérések pozíciónkénti átlagértékeit, a táblázatban itt is feltüntettem a Duncan próba betű jeleit, melynek részleteit a 25. mellékletben helyeztem el.

A **bázissűrűség** értékeinél megfigyelhető, hogy a bél felől a kéreg irányába haladva a sűrűség határozottan növekszik. A **térfogati zsugorodás** értékeinél, már nem lehet ilyen tendenciát felfedezni, az egyes pozíciókban mért értékek között nincs szignifikáns eltérés. A **nyomószilárdság** átlagértékei azt mutatják, hogy a kéreghez közeli (6.;7.) pozíciókban lényeges eltérés van az értékek között. Az első hat pozícióban a variációs együttható értékei ~11-16 között mozognak, a kéreg melletti pozícióban ennél nagyobb értéket kaptam, ami a 28-at is meghaladta.

4.9. táblázat – Erdeifenyő klónkísérletből kiválasztott mintatorzsek vizsgált faanyagtulajdonságainak pozíció szerinti átlagértékei

Pozíció	Bázis-sűrűség [kg/m ³]			Térfogati zsugorodás [%]			Nyomószilárdság [MPa]					
	cv	N		cv	N		cv	N				
2	341,98	A	10,24	39	8,25	A	20,79	44	30,63	AB	14,83	46
3	353,2	A	7,41	39	8,44	A	18,93	44	31,26	AB	12,5	44
4	365,87	AB	7,88	36	8,42	A	20,12	36	31,48	AB	11,88	30
5	373,51	AB	6,38	23	8,27	A	18,81	24	31,85	AB	16,52	22
6	385,92	B	9,8	13	9,61	A	21,29	13	29,49	A	10,8	9
7	395,54	B	9,95	7	9,29	A	22,18	7	34,23	B	28,18	6
8	428,2	C	2,78	2	8,78	A	26,13	2	-		-	-

A, B, C Duncan próba által meghatározott statisztikailag homogén átlagok részalmazának jelölése

N: minta elemszáma

cv: variációs együttható

4.1.6. A klón és a pozíció hatásának együttes vizsgálata

A pozíció és a klón hatásának vizsgálatát elvégezve a 4.10. táblázatban foglaltam össze az eredményeket, melynek részletes statisztikai vizsgálatait a 26-27. mellékletek tartalmazzák. Az eredmények azt mutatják, hogy a térfogati zsugorodás és a nyomószilárdsági értékeknél az egyes pozíciók értékei között nincs szignifikáns eltérés, viszont a bázissűrűség értékeinél a pozíciók között eltérés mutatkozott. Kimutatható kölcsönhatás a pozíció és a klón hatása között csak a nyomószilárdság értékeinél volt.

4.10. táblázat – Erdeifenyő klónok pozíció és klón szerinti varianciaanalízise

	Bázis-sűrűség	Térfogati zsugorodás	Nyomószilárdság
pozíció	**	NS	NS
klón	*	**	**
pozíció és klón kölcsönhatása	NS	NS	**
regressziós együttható	31,7	10,5	20,0

** szignifikáns 0,01-es valószínűségi szinten

* szignifikáns 0,05-os valószínűségi szinten

NS nem szignifikáns

4.1.7. A tulajdonságok változása az évgyűrűk mentén

A pozíciók mellett néhány vizsgálatot, így az évgyűrűszélesség, tracheida hosszúság valamint a gázáteresztés vizsgálatokat évgyűrűnként végeztem el. A tracheidahosszúság mérésére a 4., 8. és 12. évgyűrűben került sor, míg a gázáteresztési vizsgálatokat a faanyag 8. és 12. évgyűrűinél mértem.

Az **évgyűrűk szélességét** vizsgálva megállapítható, hogy az első évgyűrűtől a tizenkettedik évgyűrűig növekvő tendenciát mutatnak, majd a 19. évgyűrűig csökken az évgyűrűk szélessége, a 19. évgyűrű után pedig stagnálás várható. A klónok között

találunk eltérést, de a klónok és a pozíciók interakciója (28-29. melléklet) nem mutatott szignifikáns eltérést (4.12. táblázat).

A **tracheidahosszúság** mérésénél a várakozásnak megfelelően az átlagértékek szignifikánsan eltértek, vagyis a bétől a kéreg felé haladva növekszik a tracheidák hosszúsága (4.11. táblázat). Szignifikáns klónhatást tapasztaltam, sőt a klón és a pozíció kölcsönhatása is szignifikanciát mutatott (4.12. táblázat).

A **gázáteresztési** vizsgálatok eredményeként a két évgyűrűnél mért értékek nem különböznek egymástól szignifikánsan, valamint sem klónhatás sem a klón és pozíció kölcsönhatása nem mutatott szignifikáns eltérést (4.12. táblázat).

4.11. táblázat – Erdeifenyő klónkísérletből kiválasztott mintatörzsek faanyagtulajdonságainak évgyűrű szerinti átlagértékei

évgyűrű sorszáma	évgyűrű szélesség [mm]	cv	N	tracheida hosszúság [mm]	cv	N	gázáteresztés [m ² /s]	cv	N
1	10,08	30,53	24						
2	10,98	31,15	24						
3	12,28	33,12	24						
4	11,97	27,02	24	2,01	20,75	837			
5	11,99	28,85	24						
6	12,28	26,85	24						
7	13,31	27,06	24						
8	13,47	31,62	24	2,26	21,14	840	32,64	36,94	34
9	13,01	36,49	24						
10	12,59	33,72	24						
11	12,96	38,11	24						
12	13,44	37,63	24	2,64	20,77	839	31,82	34,02	29
13	12,2	43,92	24						
14	10,89	47,79	24						
15	9,22	43,52	24						
16	8,81	44,44	24						
17	7,74	48,27	24						
18	7,24	42,7	24						
19	6,55	50	24						

cv: variációs együttható

N: a minta elemszáma

4.12. táblázat – Erdeifenyő klónok évgyűrű és klón szerinti varianciaanalízise

	Évgyűrű- szélesség	Tracheida- hosszúság	Gázáteresztés
Évgyűrű	**	**	NS
Klón	**	**	NS
Évgyűrű és klón kölcsönhatása	NS	**	NS
regressziós együttható	19,7	24,7	0,3

** szignifikáns 0,01-es valószínűségi szinten

* szignifikáns 0,05-os valószínűségi szinten

NS nem szignifikáns

4.2. Lucfenyő (*Picea abies*)

A lucfenyő anyagon ugyanazokat a vizsgálatokat végeztem el, mint az erdeifenyő anyagon, vagyis mértem az évgyűrűk szélességét, a tracheidák hosszúságát, sejtfal-lumen arányát, a mikrofibrillák szögét a faanyag bázissűrűségét, térfogati zsugorodását. A permeabilitási vizsgálatok közül a lucfenyő anyagon a *folydékáteresztést* alkalmaztam, mivel a fa nedves állapota ezt a mérést tette lehetővé, szemben az erdeifenyővel. A mintakorongok átmérőjét és a külpontossági vizsgálat eredményeit a 31. mellékletben helyeztem el. A 157 törzs közül 56 olyan volt, amely koncentrikusságot mutatott.

Az egyes faanyagtulajdonságok értékelésénél az erdeifenyő értékeléséhez hasonló sorrendet állítottam fel, azonban a lucfenyő törzsek azonos hálózathoz származtak, így az értékelésnél a hálózat hatása nem volt változó tényező.

4.2.1. A klónhatás vizsgálat eredménye

A lucfenyő esetében 41 különböző klón összehasonlítására került sor a dolgozat keretében. A klónok nagy száma miatt az erdeifenyőtől különböző értékelési módot voltam kénytelen választani. Az egyes vizsgálati faanyagtulajdonságok esetében az egész populációra számított átlagértékeket tüntettem fel a 4.13. táblázatban. Az egyes klónok átlagértékeit a 32-39. mellékletekben helyeztem el.

4.13. táblázat – Lucfenyő klónok egész populációra számított átlagértékei a különböző faanyagtulajdonságoknál

Faanyagtulajdonság	Populáció átlag értéke	N	cv
Évgyűrűszélesség [mm]	4,48	2365	46,88
Tracheidahosszúság [mm]	2,10	12178	24,76
Sejtfalarány [%]	71,4	3491	4,44
Mikrofibrillaszög [°]	16,7	1920	44,43
Bázissűrűség [kg/m ³]	311,3	1125	8,71
Térfogati zsugorodás [%]	8,39	1000	20,02
Folyadékáteresztés [10 ⁻¹⁰ m ³ /m Pa s]	0,776	454	105,15
Nyomószilárdság [N/mm ²]	29,09	420	16,36

cv variációs együttható

N a minta elemszáma

Az 4.14. táblázatban, az egyes tulajdonságokat tekintve, feltüntettem a klónhatásra elvégzett egyfaktoros varianciaanalízis eredményét a regressziós együtthatóval együtt, a részletes statisztikai vizsgálatok a 40-41. mellékletekben kaptak helyet. Az eredmények azt mutatják, hogy a klónhatás a sejtfal-lumen arány kivételével szignifikáns eltérést eredményezett.

4.14. táblázat – Lucfenyő klónok faanyagtulajdonságainak klónhatásra vonatkozó varianciaanalízis eredménye

tulajdonság	klónhatás	regressziós együttható
Évgyűrűszélesség	**	10,3
Tracheidahosszúság	**	7,0
Sejtfal arány	NS	-
Mikrofibrillaszög	**	19,4
Bázissűrűség	**	37,4
Térfogati zsugorodás	**	11,5
Folyadékáteresztő képesség	**	21,1
Nyomószilárdság	**	36,5

** szignifikáns 0,01-es valószínűségi szinten

* szignifikáns 0,05-os valószínűségi szinten

NS nem szignifikáns

4.2.2. A tulajdonságok változása a törzsfá keresztmetszete mentén

A vizsgálatok közül néhány esetben a faanyagtulajdonság törzsen belüli változásának nyomon követésére is lehetőség adódott, így a faanyag bázissűrűségét, térfogati zsugorodását és a nyomószilárdsági értékeit, a módszereknél már ismertetett, pozíciók szerint is mértem (4.15. táblázat).

Míg az erdeifenyő esetében a **bázissűrűség** a bétől a kéreg irányába növekvő tendenciát mutatott, itt a lucfenyőnél nem figyelhető meg ez a jelenség, a juvenilisfa hatása nem tükröződik a mérések eredményeinél. Az egyes pozíciók között a legkülsőt (4 pozíciót) leszámítva nincs szignifikáns eltérés.

A **térfogati zsugorodás** értékeinél a legbelső pozícióban volt a legkisebb a zsugorodási érték, és meglepő módon a harmadik pozícióban a legnagyobb. A **nyomószilárdság** esetében a legszélső pozícióban van szignifikánsan eltérő érték a többi pozícióhoz képest, amelynek magyarázata a kevés próbatest számban keresendő.

4.15. táblázat – Lucfenyő klónkísérletből kiválasztott mintatörzsek faanyagtulajdonságának pozíciónkénti átlagértékei

pozíció	Bázis sűrűség [kg/m ³]			Térfogati zsugorodás [%]			Nyomószilárdság [N/mm ²]					
	érték	betű	N	cv	érték	betű	N	cv	érték	betű	N	cv
1	315,87	B	259	7,66	6,92	A	257	20,83	-	-	-	-
2	309,12	B	519	9,81	8,6	B	488	16,24	28,37	B	247	17,67
3	314,15	B	310	6,96	9,56	C	230	14,22	30,32	B	126	12,09
4	285,02	A	37	7,43	8,74	B	24	10,75	25,28	A	13	16,92

cv: variációs együttható

N: a minta elemszáma

A, B, C: Duncan próba által meghatározott statisztikailag homogén átlagok részalmazának jelölése

Az évgűrűszélesség, tracheida hosszúság és a folyadékáteresztő vizsgálatokat évgűrűnként végeztem. A vizsgálatok átlagértékeit a 4.16. táblázatban foglaltam össze.

Az évgűrűszélesség mérésénél hasonló eredményt kaptam, mint az erdefenyő esetén, vagyis az értékek először növekvő tendenciát mutatnak, majd csökkennek a 10. évgűrűig, innen pedig egy állandó érték körül állnak be.

A tracheidahosszúságot itt is három évgűrűnél mértem. Azt az eredményt kaptam, hogy a bétől a kéreg irányába a tracheidák hosszúsága növekvő tendenciát mutat, amely igazolja a juvenilisfa jelenlétét, azonban a fent említett tulajdonságoknál (bázissűrűség, térfogati zsugorodás, nyomószilárdság) a juvenilis hatás nem érvényesül.

A folyadékáteresztő vizsgálatot a 8. és 12. évgűrűn végeztem el, az adatokból leolvasható, hogy a tizenkettedik évgűrűnél nagyobb értéket kaptam, mint a nyolcadik évgűrűnél.

4.16. táblázat – Lucfenyő klónkísérletből kiválasztott mintatörzsek faanyagtulajdonságainak évgűrűnkénti átlagértékei

Év- gűrű száma	Évgűrű szélesség [mm]	cv	N	Tracheida hosszúság [mm]		cv	N	Folyadék- áteresztés [10 ⁻¹⁰ m ³ /mPas]	cv	N
1	4,64	21,06	157							
2	6,74	15,97	152							
3	7,04	15,56	152							
4	6,42	12,76	152	1,66	A	19,44	4445			
5	6,06	13,11	152							
6	5,39	20,36	152							
7	4,11	23,49	152							
8	4,59	22,21	152	2,23	B	17,7	4375	0,56	98,18	227
9	3,96	24,29	152							
10	2,94	25,05	157							
11	3,18	32,5	156							
12	2,76	30,09	155	2,5	C	18,43	3358	0,99	97,88	227
13	2,9	35,17	155							
14	2,95	37,6	152							
15	3,04	37,18	139							
16	2,63	48,99	37							

cv: variációs együttható

A, B, C : Duncan próba által meghatározott statisztikailag homogén átlagok részhalmazának jelölése

4.2.3. A klón és pozíció együttes hatása

A klón és pozíció szerinti varianciaanalízis eredményeként (42. melléklet) azt kaptam, hogy mindegyik tulajdonságnál szignifikáns különbség van az egyes klónok között, valamint az egyes pozíciókban mért értékek között is (4.17. táblázat). A varianciaanalízis szintén szignifikáns különbséget mutatott a két faktor, vagyis a klón hatás és a pozíció hatás együttes kölcsönhatás vizsgálatakor, mindhárom faanyagtulajdonság esetén.

4.17. táblázat - Lucfenyő klónok faanyagtulajdonságainak klónhatásra és pozícióhatásra vonatkozó kétfaktoros varianciaanalízis eredménye

	Bázis sűrűség	Térfogati zsugorodás	Nyomó- szilárdság
Pozíció	**	**	**
Klón	**	**	**
Pozíció és klón kölcsönhatása	**	**	**
regressziós együttható	46,2	48,2	48,0

** szignifikáns 0,01-es valószínűségi szinten

* szignifikáns 0,05-os valószínűségi szinten

NS nem szignifikáns

A három tulajdonság esetében a varianciaanalízis eredménye (43. melléklet) azt mutatja, hogy az évgyűrűszélesség és a tracheidahosszúság esetén a klónok között, valamint az egyes évgyűrűknél, mért adatok között szignifikáns eltérést tapasztaltam és a két faktor kölcsönhatása is szignifikáns eltérést mutatott (4.18. táblázat). A variancia értékek alapján megállapítható, hogy az évgyűrűszélesség és a tracheidahosszúság vizsgálatoknál 55-60%-ban a klónhatás, valamint az évgyűrű helyzete befolyásolja az értékek alakulását. Míg a folyadékáteresztés esetén ez az érték csak 26% körül mozog. A folyadékáteresztés vizsgálat adatainál is szignifikáns eltérés mutatkozott a klónok és az évgyűrűknél mért adatok között, azonban a kölcsönhatásuk nem volt szignifikáns.

4.18. táblázat – Lucfenyő klónok faanyagtulajdonságainak klónhatásra és évgyűrűszélességre vonatkozó varianciaanalízis eredménye

	Évgyűrű- szélesség	Folyadék- áteresztés	Tracheida- hosszúság
Évgyűrű	**	**	**
Klón	**	**	**
Évgyűrű és klón kölcsönhatása	**	NS	**
regressziós együttható	60,6	25,9	54,5

** szignifikáns 0,01-es valószínűségi szinten

* szignifikáns 0,05-os valószínűségi szinten

NS nem szignifikáns

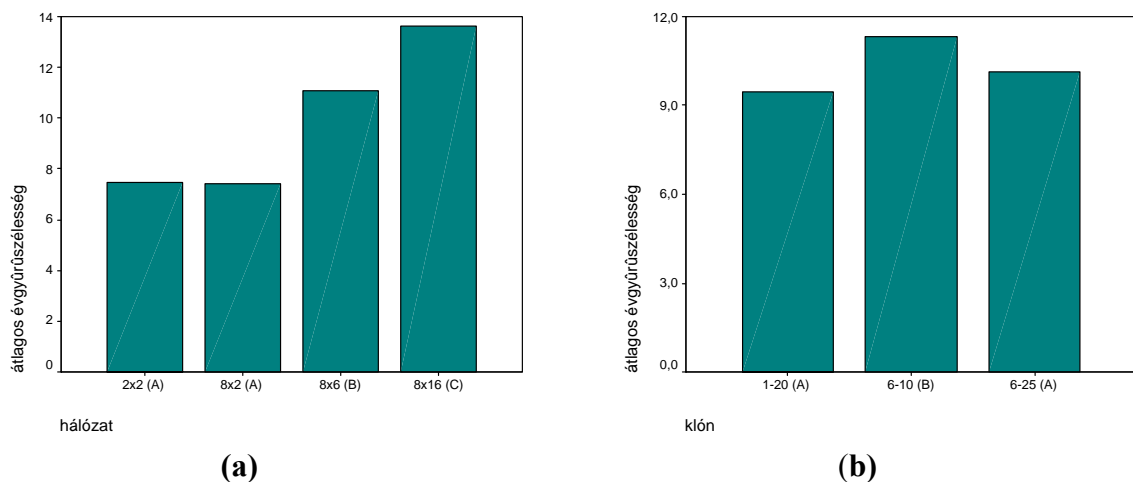
5. Eredmények értékelése

5.1. Erdeifenyő (*Pinus sylvestris*)

5.1.1. Hálózat és a klón hatása

Az erdeifenyő esetében a mérések adatai alapján elmondható, hogy a fák ültetési *hálózatának* szignifikáns hatása van a faanyag **évgűrűszélességére** (5.1.a. ábra). A két kisebb hálózatnál (2x2, 8x2) keskenyebb, míg a nagyobb hálózatoknál szélesebb évgűrűket mértem, vagyis a törzseknek a nagyobb hálózatokban nagyobb terük van a növekedésre, amely más tulajdonságok esetleges „romlását” pl. sűrűség csökkenést idézhet elő (PERSSON 1975). Az ábránál a hálózat és a klón jelölése mellett feltüntettem a Duncan-próba eredményeit, a különböző betűk azt jelentik, hogy egymástól szignifikánsan különböznek a hálózatok vagy a klónok.

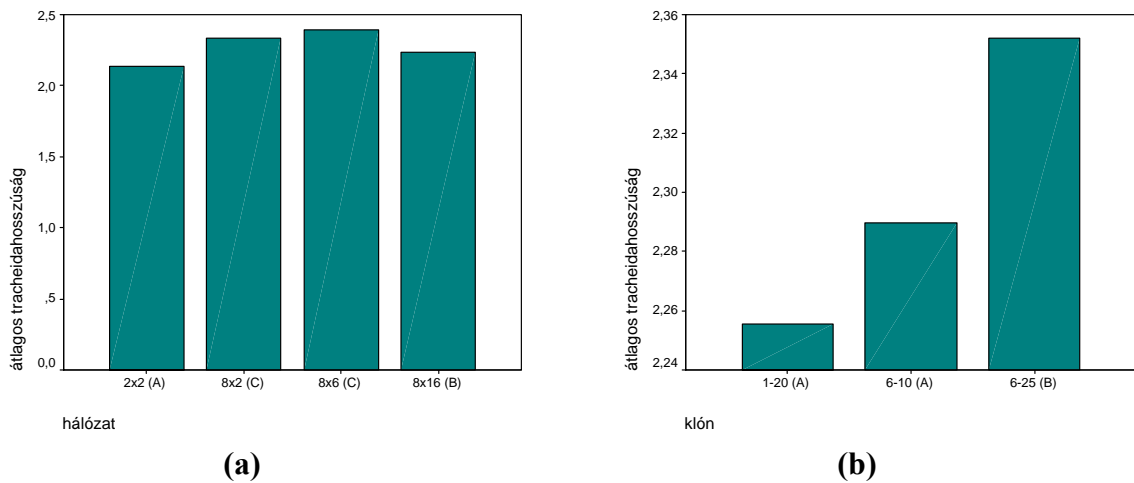
Az erdeifenyő esetében a *klónok* között (5.1.b. ábra), abszolút értéket tekintve, kisebb eltérések adódtak. Szignifikánsan keskenyebb évgűrűvel rendelkeztek a '1-20' és a '6-25' klónok, mint a '6-10' klón.



5.1. ábra – Erdeifenyő mintatörzsek hálózat és klón szerinti átlagos évgűrűszélességi értékei [mm]

A **tracheidahosszúság** értékei a *hálózatok* között statisztikailag szignifikanciát mutattak (5.2.a. ábra). Az egész populációra számított 2,3 mm-es átlagos tracheidahosszúságtól való 0,2 mm-es eltérés gyakorlati szempontból elhanyagolhatóan kicsinek mondható. A szignifikánsan a legrövidebb tracheidái a 2x2 hálózatból vett törzseknek voltak, míg a leghosszabbak a 8x2 és a 8x6 hálózatok faanyagjainak. PERSSON (1975) munkájában, ahol különböző hálózatokból származó erdei és lucfenyőket vizsgált, szintén arra a megállapításra jutott, hogy a különböző hálózatokban növe fák faanyagában eltérőek a tracheidahosszúságok. Az irodalomban (WAGENFÜHR 1996) található kb. 3,1 mm hosszúságú tracheidáktól rövidebbekkel rendelkeznek a vizsgált klónok, amelynek oka a juvenilisfa magas arányában keresendő.

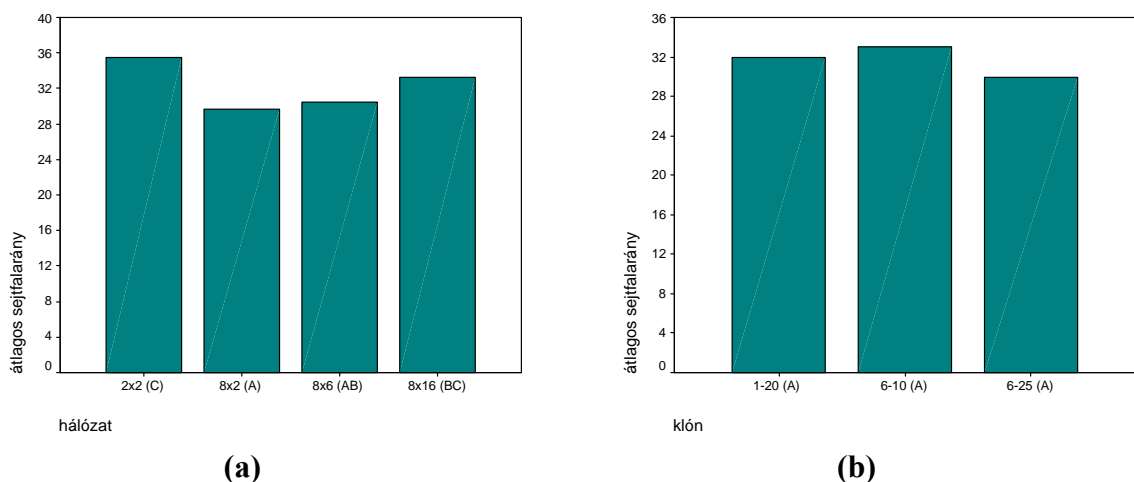
A tracheidák hossznövekedésénél a klónhatást vizsgálva (5.2.b. ábra) megállapítható, hogy a '6-25' klón szignifikánsan nagyobb tracheidákkal rendelkezik, mint az '1-20' és a '6-10' klónok, amelyek egymástól statisztikailag nem különböznek.



5.2. ábra – Erdeifenyő mintatörzsek hálózat és klón szerinti átlagos tracheidahosszúság értékei [mm]

Az erdeifenyő faanyag **sejtfal arányát** vizsgálva a következő eredményt kaptam az egyes hálózatok között (5.3.a. ábra). Szignifikánsan a legnagyobb sejtfalaránnyal a 2x2 és a 8x16 hálózatban növekvő fák rendelkeztek, ennek oka lehet, hogy az ezekből a hálózatokból kivett mintakorongok a törzs aljából származtak, vagyis tőkorongok voltak (3.2. táblázat). A tőkorongok sűrűsége és ezzel összefüggésben a sejtfalaránya is meghaladja a törzs többi részében lévő faanyag sűrűségét és sejtfalarányát. A 8x16 hálózat faanyagja azonban a 8x6 hálózatban növekvő fák sejtfalarányától szignifikánsan nem különbözik, és ugyanez mondható el a 8x2 hálózat fájáról is, amelyek a 8x6 hálózatban nőttöktől nem különböznek el szignifikánsan.

A klónok között statisztikailag nincs szignifikáns különbség (5.3.b. ábra),.

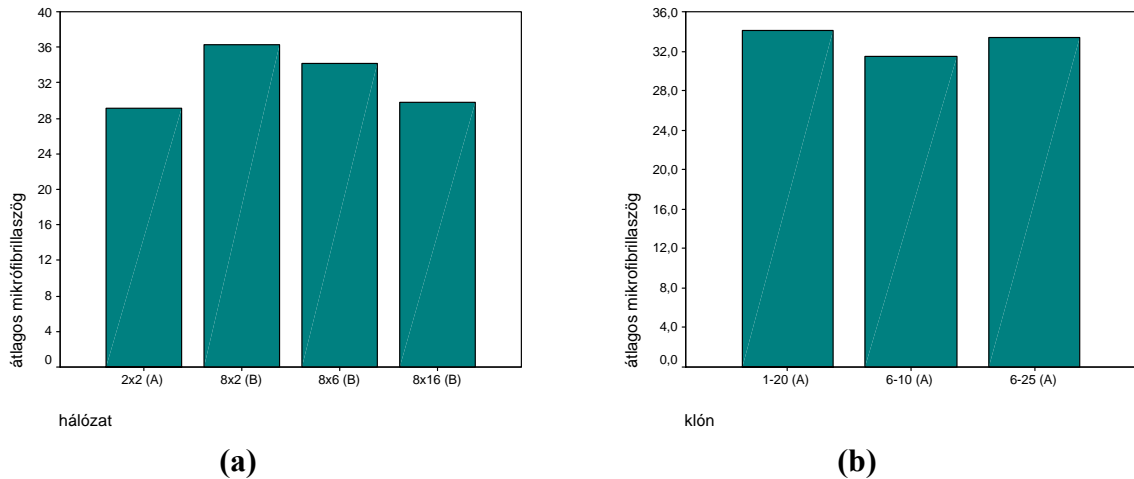


5.3. ábra – Erdeifenyő mintatörzsek hálózat és klón szerinti átlagos sejtfalarány értékei [%]

A **mikrofibrillák szögének** mérési adataiból az elemzések után láthatóvá vált, hogy statisztikailag szignifikáns különbség csak hálózatok között van (5.4.a. ábra). A

2x2 és a 8x16 hálózatban nőtt faanyagok szignifikánsan kisebb mikro fibrillaszöggel rendelkeznek a másik két hálózathoz viszonyítva. A *hálózatok* átlagértékei 29°-36° között mozognak, amelyek az irodalomban található 26,8°-hoz (TIMMEL 1986) viszonyítva, meglehetősen magasnak számítanak. Ezek, a viszonylag magas értékek, reakciófa jelenlétére utalnak, ugyanis a reakciófában a mikro fibrillák lefutása meredekebb, mint a normál fában (SHELBOURNE ÉS RITCHIE 1968).

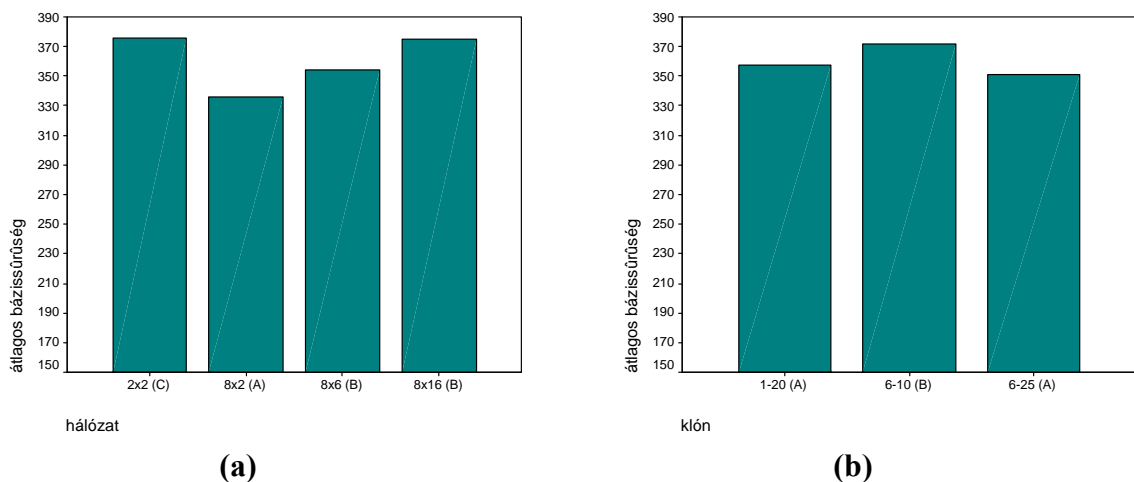
A *klónok* (5.4.b. ábra) között nincs statisztikailag szignifikáns különbség.



5.4. ábra – Erdeifenyő mintatorzsek hálózat és klón szerinti átlagos mikro fibrillaszög értékei [°]

Az erdeifenyő anyagon elvégzett mérések adatai alapján elmondható, hogy a faanyag **bázissűrűségét** lényegesen befolyásolta, hogy a vizsgált anyag melyik *hálózatból* származik, továbbá itt is meg kell említeni, hogy a 2x2 és 8x16 hálózatban növő torzsekből tökorongokkal dolgoztam (3.2. táblázat), amelyek sűrűsége nagyobb az ugyanazon fa mellmagassági korongján megmért értéknél. Ebből adódhat, hogy szignifikánsan a legnagyobb sűrűséget a 2x2 és a 8x16 hálózatok produkálták, míg szignifikánsan a legkisebb sűrűség a 8x2 hálózat torzseinél volt tapasztalható (5.5.a. ábra).

A *klón* hatást vizsgálva megállapítható (5.5.b. ábra), hogy statisztikailag a '6-10' klón szignifikánsan különbözik a másik két klóntól.

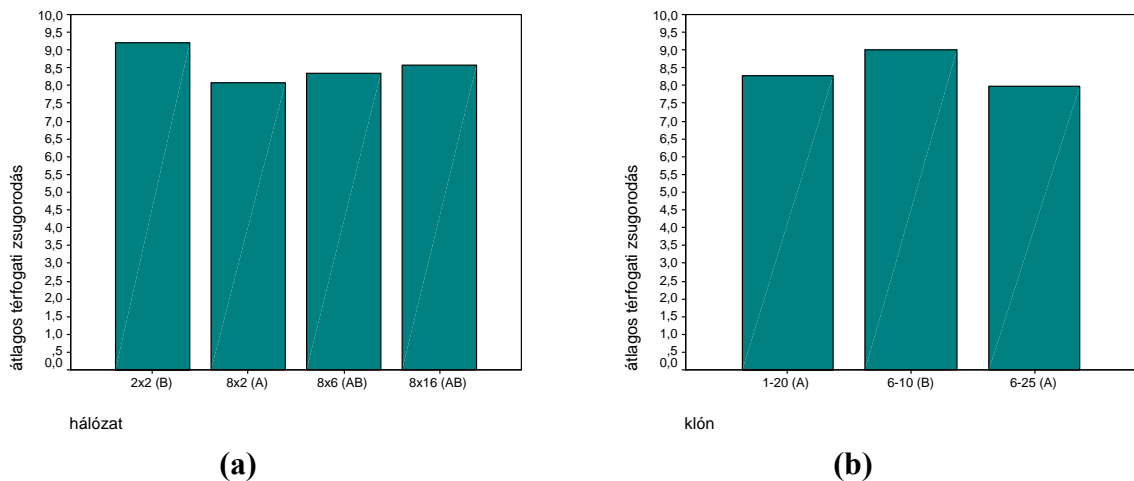


5.5. ábra – Erdeifenyő mintatorzsek hálózat és klón szerinti átlagos bázissűrűség értékei [kg/m³]

A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy *hálózati* hatás figyelhető meg a vizsgált erdeifenyő faanyagok **térfogati zsugorodás** értékeinél (5.6.a. ábra). A 8x2 és a

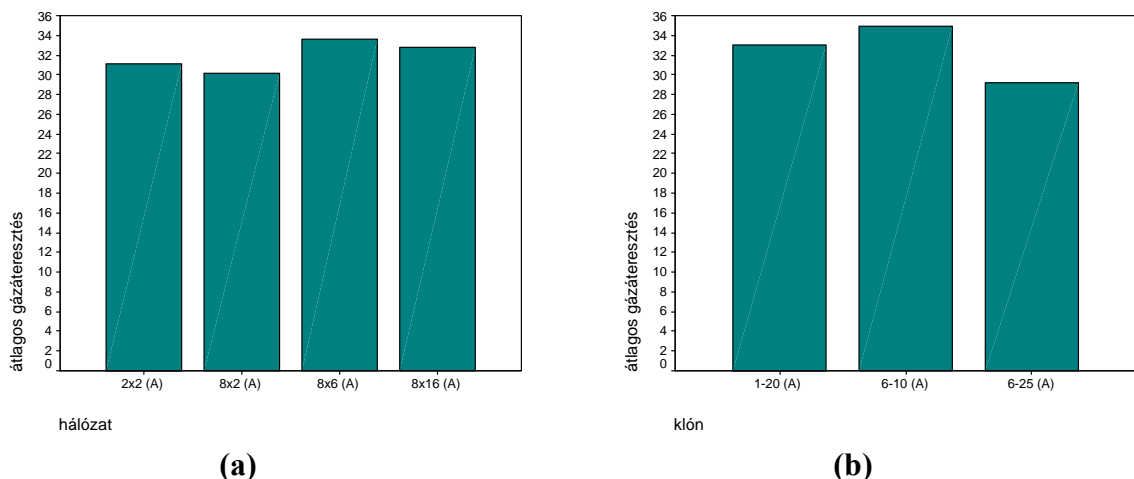
2x2 hálózatok értékei szignifikánsan különböznek egymástól. A 8x6 és a 8x16 klónok között nincs statisztikai különbség. A különböző hálózatokból származó faanyagok zsugorodási értékei között átlagosan 1 % az eltérés. Az erdeifenyő térfogati zsugorodásának értéke az egész populációra 8,49%, amely az irodalomban (WAGENFÜHR 1996) található 11%-os zsugorodási érték alatt marad, ami felhasználási szempontból pozitív tulajdonság.

A klónok között szignifikánsan eltérő, magasabb értéket produkált a '6-10' klón a másik két klónhoz viszonyítva.



5.6. ábra – Erdeifenyő mintatörzsek hálózat és klón szerinti átlagos térfogati zsugorodás értékei [%]

Az erdeifenyő faanyag **gázáteresztő képessége** a vizsgálatok szerint nem függ sem a *hálózattól* sem a *klóntól* (5.7.a,b ábra). A faanyag átérésztésének hatékonysága a gödörkék záródásának mértékétől függ, a vizsgálatok szerint a tracheidák gödörkéinek aspirációja nem függ össze azzal, hogy a törzs mely hálózatban növekszik és mely klónból származik.

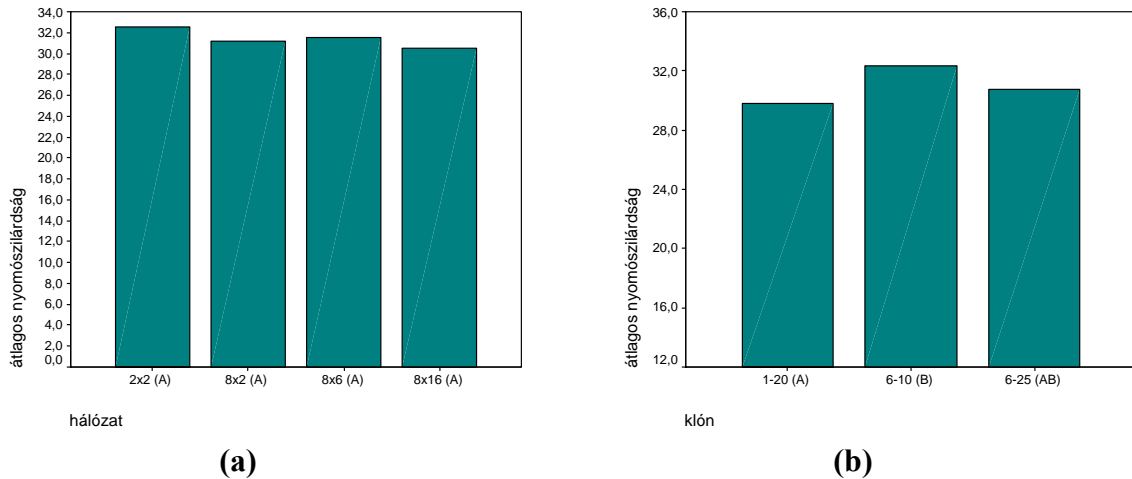


5.7. ábra – Erdeifenyő mintatörzsek hálózat és klón szerinti átlagos gázáteresztési értékei [m²/s]

A **nyomószilárdság** vizsgálat eredményeit nézve megállapíthatjuk, hogy az egyes *hálózatok* között nem volt szignifikáns különbség (5.8.a. ábra). A mért értékek minden hálózat esetében a populáció átlagértékei körül mozdogtak. Azonban

összehasonlítva az irodalomban található értékekkel (35-94 MPa, WAGENFÜHR 1996) elmondható, hogy a kapott eredmények (31,2 MPa) átlag alattiak. Ezt alátámasztja BENDTSEN & SENFT (1986) vizsgálata is, amelyben arra a megállapításra jutottak, hogy az ültetvényből származó faanyagoknak alacsonyabbak a szilárdsági értékeik.

A klónok között a '6-10' klón szignifikánsan magasabb értékeket mutatott mint az '1-20' klón, míg a '6-25' klón nyomószilárdsági értékei egyik klóntól sem különböztek (5.8.b. ábra).



5.8. ábra – Erdeifenyő mintatörzsek hálózat és klón szerinti átlagos nyomószilárdsági értékei [MPa]

5.1.2. A klónok hálózaton belüli összehasonlítása

Mivel a hálózat hatása, mint már a mérési eredmények bemutatásánál utaltam rá, a vizsgált faanyagtulajdonságok többségénél lényeges faktornak mutatkozott, ezért az egyes hálózatokon belül is megvizsgáltam a klónok közötti különbségeket. Az eredményeket a 4.3. táblázatban mutattam be.

A vizsgálatok után megállapítható, hogy a 2x2 és a 8x2 hálózatok esetében a klónok azonosan viselkedtek. A legtöbb faanyagtulajdonság esetében a klónok között nem volt szignifikáns különbség. Ellenben a 8x6 és a 8x16 hálózatok esetében a klónok között a legtöbb tulajdonság esetében szignifikanciát találtam, amit azzal magyarázható, hogy a nagyobb hálózatokban a törzseket eltérő környezeti hatás érheti, ami egy kisebb hálózat esetében, a sűrűbb ültetés miatt kevésbé valószínű.

5.1.3. A hálózat és a klón hatás együttes vizsgálata

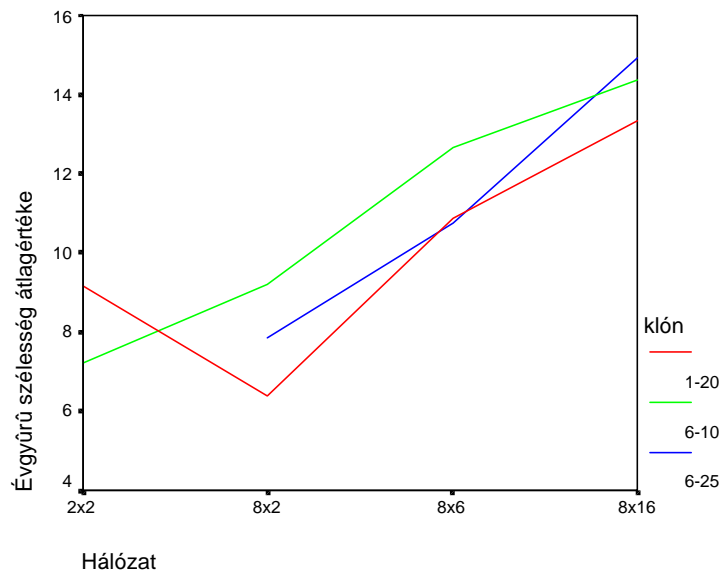
A 4.8. táblázatban összefoglalt eredmények alapján megállapítható, hogy a kétszeres osztályozás szerint elvégzett varianciaanalízis eredményeként a hálózatok szignifikáns különbséget mutatnak 0,01%-os valószínűségi szinten a sejtfalarány és a nyomószilárdság értékeinél. 0,05%-os szinten szignifikancia található az évgűrűsége, tracheidahosszúság, mikrofibrillaszög, bázissűrűség vizsgálatok eredményeinél. Továbbá a térfogati zsugorodás és a gázáteresztés értékeinél nem találtam szignifikanciát.

A *klón* hatás vizsgálata szerint, szintén a kétszeres osztályozás alapján, a legtöbb tulajdonságnál nem találtam szignifikanciát, kivéve a mikrofibrillaszög és a nyomószilárdság vizsgálatokat, amelyek 0,01%-os szinten szignifikánsok voltak.

A *hálózati és a klón hatás* együttes vizsgálatakor szignifikáns volt a kölcsönhatás az *évyűrűszélesség*, *tracheidahosszúság*, *mikrofibrillaszög* és a *térfogati zsugorodás* elemzésekor (4.8. táblázat).

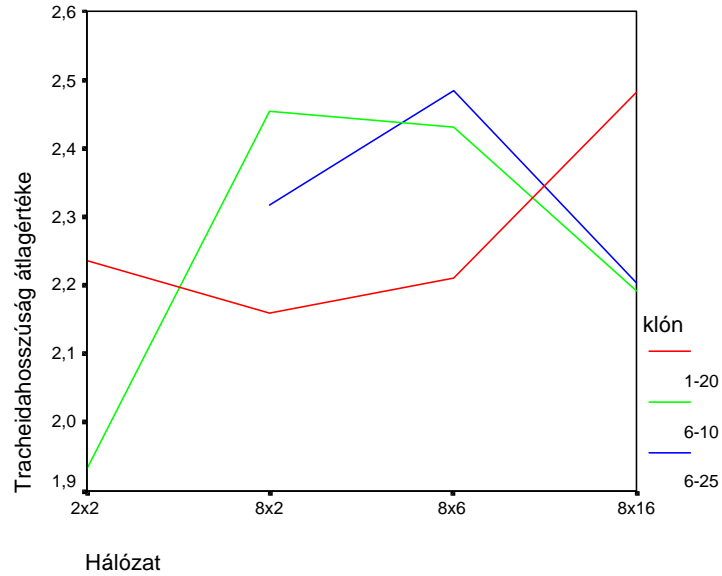
A kölcsönhatások elemzését az 5.9.-5.12. ábrák alapján végeztem el. Az 5.9. ábrán jól látható, hogy az **évyűrűszélesség** értékei esetén, egyes *klónok között* a különböző hálózatoknál nincs szignifikáns különbség.

A *hálózat* növekedésével az *évyűrűszélesség* növekszik, egy klón kivételével, ugyanis az '1-20' klón a 8x2 hálózatban alacsonyabb értéket mutat, ez adódhatott abból, hogy a 8x2 hálózatban csak egy törzs volt az '1-20' klónból, amely törzs átlagon aluli növekedésűnek mondható.



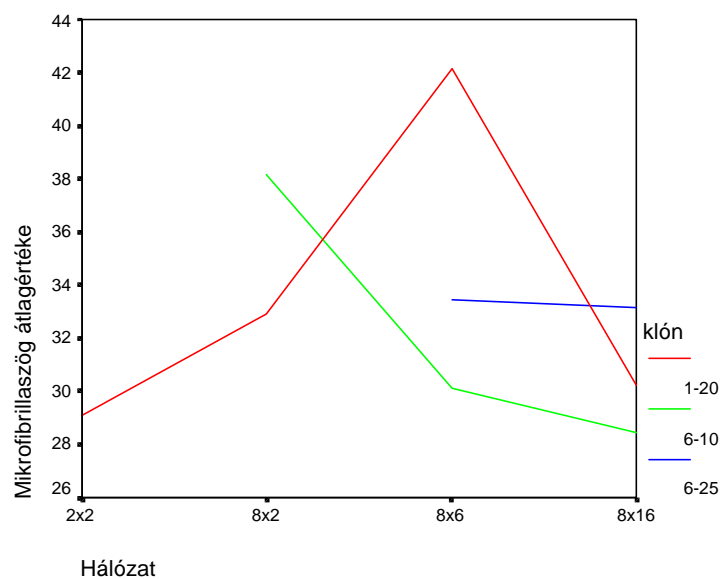
5.9. ábra – Erdeifenyő klónkísérletből származó mintatörzsek évyűrűszélességének klónonkénti és hálózatonkénti átlagértékei

A **tracheidahosszúság** átlagértékeit az 5.10. ábrán láthatjuk, a grafikonról megállapítható, hogy az egyes *hálózatokban* a klónok változatos értékeket mutatnak. Szembetűnő különbség az '1-20' és a '6-10' klón között mutatkozik. Igen nagy eltérés van a '6-10' klón 2x2 hálózatában mutatott értéke és a többi érték között, valószínűleg ez a kiugró eredmény abból adódik, hogy a '6-10' klón esetében a 2x2 hálózatból csak egyetlen egy törzs volt, amely növekedése átlagon aluli és ebből fakadóan a tracheidahosszúság értékei is elmaradnak a többiétől. A 2x2 hálózatban a '6-25' klónból nem volt mintatörzs. A 8x2, 8x6 valamint a 8x16 hálózatoknál az '1-20' klón éppen ellentétesen viselkedik a másik két klónhoz képest.



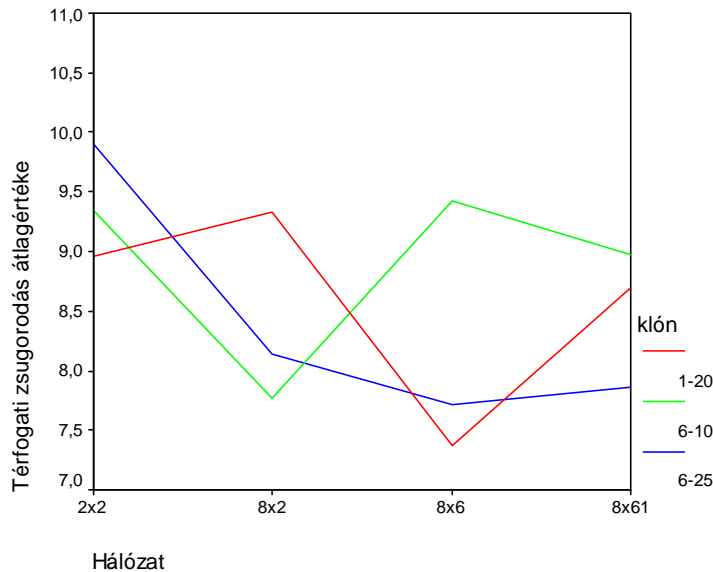
5.10. ábra - Erdeifenyő klónkísérletből származó mintatörzsek tracheida hosszúságának klónonkénti és hálózatonkénti átlagértékei

Az 5.11. ábrán a **mikrofibrillaszög** átlagértékeit látjuk hálózat és klón szerint. Az értékelést nagyban megnehezíti, hogy két klón esetében is ('6-25', '6-10') a mérési eredmények értékelhetetlenek voltak a 2x2, 8x2 és a 8x6 hálózatok esetében. Kiemelkedően magas értékeket a 8x6 hálózatonál mértem az '1-20' klón esetében, aminek magyarázata a nagy arányú reakciófa. Összehasonlítva az 5.10 ábrával, a klónok ellentétes viselkedését fedezhetjük fel a két tulajdonság esetében. Ami abból adódik, hogy a rövidebb tracheidák nagyobb mikrofibrillaszöggel rendelkeznek (DONALDSON 1992). Megemlíteném még, hogy a mérési eredmények az irodalomban található mikrofibrillaszög értékek felett vannak, amely annak lehet a következménye, hogy a mintatörzsek közel 80%-a reakciófát tartalmazott.



5.11. ábra - Erdeifenyő klónkísérletből származó mintatörzsek mikrofibrillaszögének klónonkénti és hálózatonkénti átlagértékei

Az 5.12. ábra a **térfogati zsugorodás** értékeit mutatja, amelyen jól látszik, hogy az egyes klónok között nincs szignifikáns eltérés a különböző hálózatokban, vagyis klónhatás nem figyelhető meg ennél a faanyagtulajdonságnál.



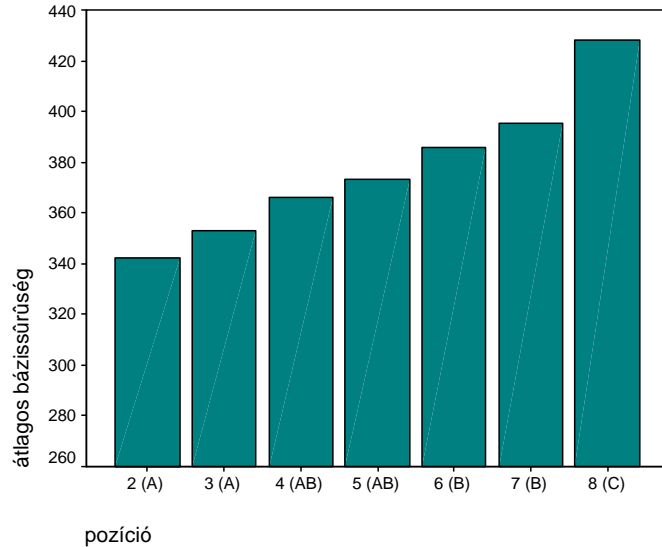
5.12. ábra - Erdeifenyő klónkísérletből származó mintatörzsek térfogati zsugorodás értékeinek klónonkénti és hálózatonkénti átlagértékei

Ezzel a kétfaktoros modellel, vagyis a hálózati és klón hatásának együttes vizsgálatával (4.8. táblázat) a faanyag évgyűrűsége, mikrofibrillaszög és a bázissűrűség értékek változásának 22-34 %-át magyarázhatjuk, míg a nyomószilárdság, tracheidahosszúság, gázáteresztő-képesség szórásnégyzet értékei azt mutatják, hogy egyéb hatások (pl.: pozíció, magasság, ismétlések száma) lényeges befolyásával kell számolnunk. Egyedül a sejtfalarányát tekintve kaptam elfogadható eredményt, itt a vizsgált két faktor vagyis a hálózat és a klón hatása közel 80%-os.

5.1.4. A tulajdonságok változása a törzsfa keresztmetszete mentén radiális irányban

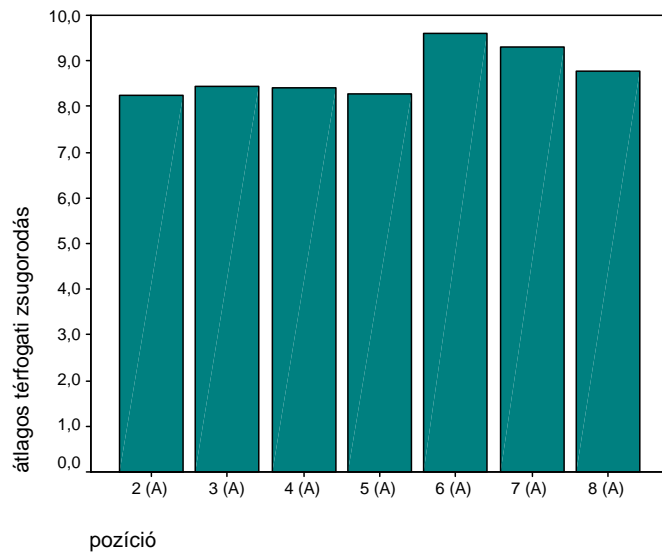
A tulajdonságok törzsön belüli, radiális irányú változásának vizsgálatára az erdeifenyő esetében hat faanyagtulajdonság esetén került sor. Ezek közül a bázissűrűséget, térfogati zsugorodást és a nyomószilárdsági értékeket a 3. fejezetben ismertetett pozícióknál mértem meg.

A **bázissűrűség** pozíció szerinti átlagértékeit tüntettem fel az 5.13. ábrán, ahol jól megfigyelhető a kéreg irányába történő sűrűség növekedés. Az ábra alapján a sűrűség értékek arra engednek következtetni, hogy a vizsgált erdeifenyő esetében az érettfá a 8. pozíció környékén alakul ki. Ez ültetvények faanyagában elfogadott, hiszen az ilyen faanyagok nagyobb arányban tartalmaznak juvenilisfát.



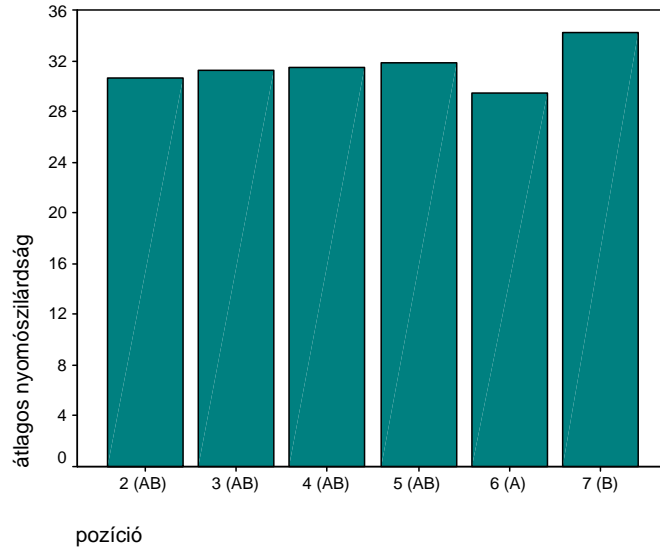
5.13. ábra - Erdeifenyő mintatörzsek pozíciónkénti átlagos bázissűrűség értékei [kg/m³]

A **térfogati zsugorodás** mérési eredményei alapján megállapítható, hogy az egyes pozíciók között nincs szignifikáns eltérés (5.14. ábra).



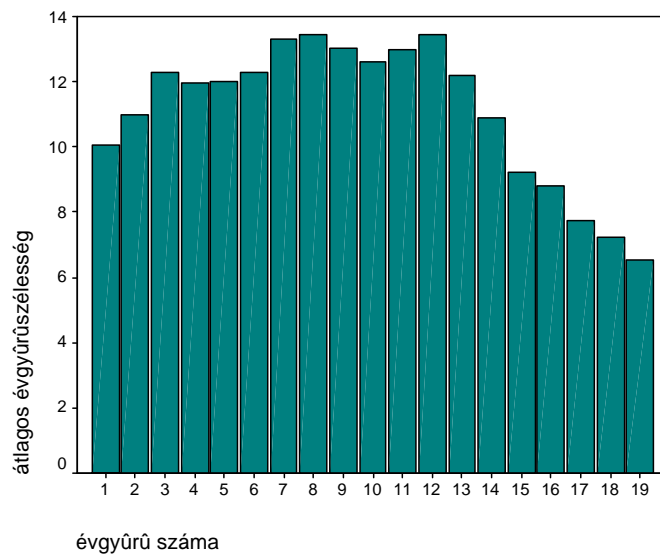
5.14. ábra - Erdeifenyő mintatörzsek pozíciónkénti átlagos térfogati zsugorodás értékei [%]

A **nyomószilárdsági** értékek között a különböző pozícióknál növekvő tendencia figyelhető meg a kéreg irányába (5.15. ábra), ami összefüggésben van a feljebb már tárgyalt bázissűrűséggel. A bázissűrűség növekedése okozhatja a nyomószilárdság növekedését. A 6. pozícióban szignifikánsan kisebb értéket kaptam, amely valamilyen mérési hiba következménye lehet.



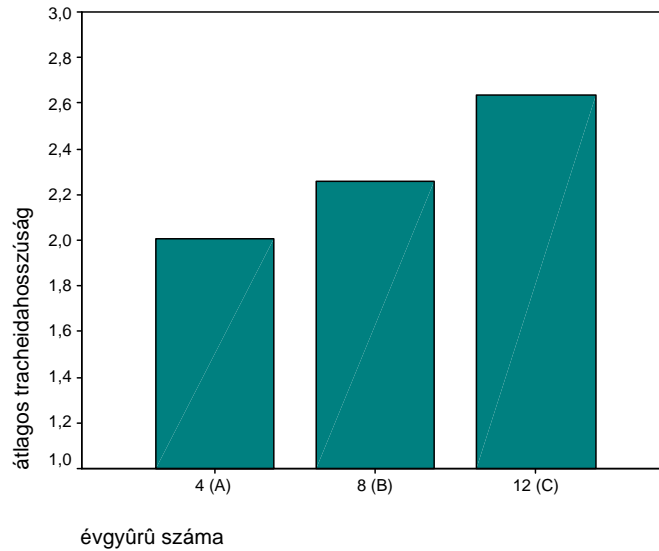
5.15. ábra - Erdefenyő mintatörzsek pozíciókénti átlagos nyomószilárdsági értékei [MPa]

A további három faanyagtulajdonság esetében (évgűrűszélesség, tracheidahosszúság, gázáteresztés), amelyknél a vizsgálatokat évgűrűnként végeztem, a következők állapíthatók meg. Az **évgűrűszélesség** vizsgálatánál az évgűrű kezdeti növekedése után egy csökkenő szakasz figyelhető meg (5.16. ábra), későbbiekben az évgűrűszélesség állandósulása várható, ami a fa érett szakaszba lépésének bizonyítéka, a vizsgált anyagon ez kb. a 15-17 évgűrű környékén következett be.



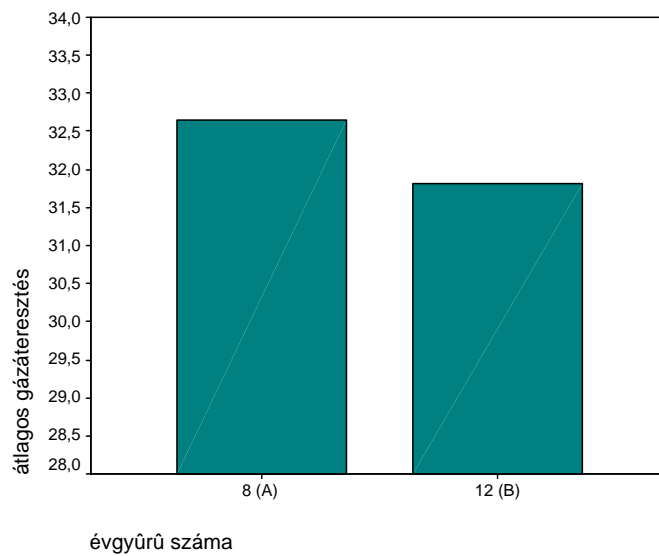
5.16. ábra – Erdefenyő mintatörzsek évgűrűszélességének változása a törzs mentén [mm]

A **tracheidahosszúság** eredményei (5.17. ábra) azt mutatják, hogy a faanyagban a három lemerített évgűrűnél egy növekvő tendencia figyelhető meg.



5.17. ábra – Erdeifenyő mintatörzsek tracheidahosszúságának változása a törzs mentén [mm]

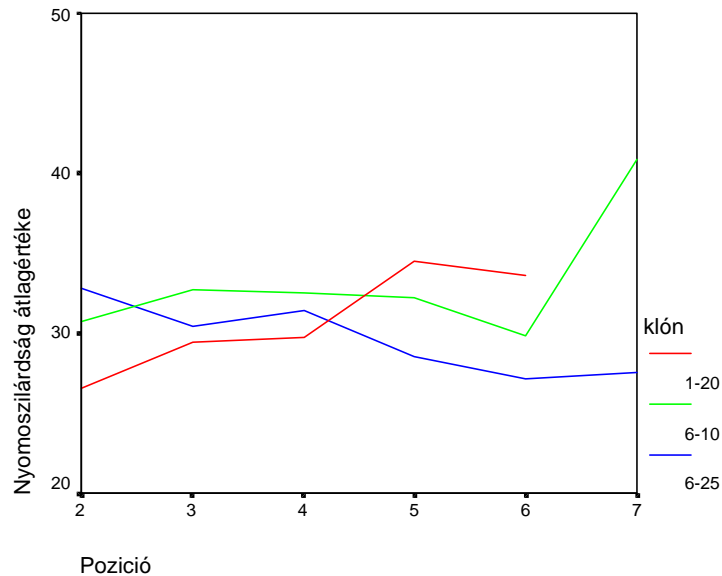
A **gázáteresztési** vizsgálatok két évyűrűnél készültek, ezek a 8. és 12. évyűrűk voltak. A mérési adatok közel hasonló eredményeket adtak a két helyen (4.11. táblázat).



5.18. ábra – Erdeifenyő mintatörzsek gázáteresztési értékeinek változása a törzs mentén [mm]

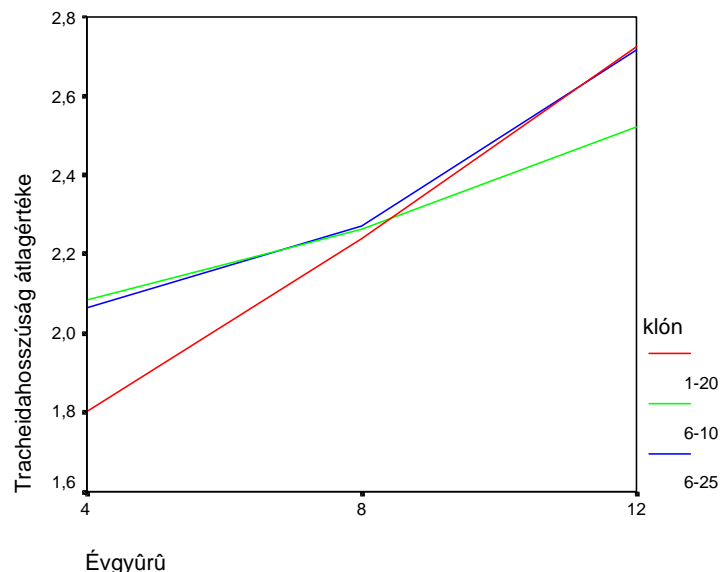
5.1.5. A klón és a pozíció együttes hatásának vizsgálata

A 4. 10. táblázat eredménye alapján megállapítottam, hogy a *pozíció és klón* hatásának együttes vizsgálatakor csak a nyomószilárdság értékeinek találtam szignifikanciát. A 5.18. ábrán a nyomószilárdság értékeinek klónonkénti változását követhetjük nyomon az egyes pozíciókban.



5.18. ábra - Erdeifenyő klónkísérletből származó mintatörzsek nyomószilárdsági értékeinek klónonkénti változása az egyes pozíciókban

A 4.12. táblázatban bemutattam az évgyűrű és klón szerinti varianciaanalízis eredményét, ebből megállapítottam, hogy kölcsönhatás csak a tracheidahosszúság értékeinél adódott. Az egyes klónok évgyűrűnkénti átlag értékeit mutatja be az 5.19. ábra. Jól látható, hogy az egyes klónok hasonló eredményeket adtak a vizsgált évgyűrűknél. Míg a negyedik évgyűrűnél az 1-20 klón alacsonyabb értékekkel rendelkezett a 12. évgyűrűnél már utoléri a 6-25 klónt. A 8. évgyűrűnél a három klón azonos értéket mutatott. *Tehát a nemesítők fiatalkori előrejelzéseinél figyelembe kell venni, hogy a különböző klónok különböző módon viselkednek a kor előrehaladtával.*



5.19. ábra – Erdeifenyő klónkísérletből származó mintatörzsek klónonkénti tracheidahosszúságának változása

5.1.6 A faanyagtulajdonságok közötti összefüggések elemzése

5.1.6.1. Hálózatonkénti elemzés

A faanyagtulajdonságok közötti összehasonlításhoz a Pearson féle korrelációt használtam, amely a kiválasztott két tulajdonság lineáris kapcsolatának erősséget méri. A 30. mellékletben elhelyezett táblázat tartalmazza a különböző tulajdonságok törzsekre vonatkoztatott átlagértékeit, az ott található értékek alapján végeztem el a Pearson korrelációs elemzést az egész populációra nézve. Továbbá ugyanezt a statisztikai elemzést elvégeztem külön-külön a hálózatokra is. A vizsgálat eredményeit a 5.1. táblázatban foglaltam össze.

Az egyes hálózatokra vonatkozó adatokat a táblázat jobb felső sarka (zöld színű) tartalmazza, míg a bal alsó sarokba (sárga színű) kerültek az egész populáció korrelációs értékei.

A populációra vonatkozó eredmények közül az évgyűrűszélesség és a bázissűrűség között pozitív, szignifikáns (0,572) korreláció mutatkozott, 1%-os szignifikancia szinten. Ugyanezt a két tulajdonságot vizsgálva az egyes hálózatok esetében megfigyelhető, hogy a 2x2 hálózatban negatív, míg a többi három hálózatnál pozitív korrelációt eredményezett a vizsgálat, amelyek közül a 8x6 hálózat szignifikáns volt, 1%-os szignifikancia szinten.

5.1. táblázat - Erdeifenyő klónok tulajdonságaira vonatkozó Pearson korrelációs vizsgálat eredménye az egész populációra (sárga) és külön-külön az egyes hálózatokra (zöld)

	hálózat	bázis-sűrűség	évgyűrű szélesség	nyomó-szilárdság	tracheidahosszúság	mikrofibrilla szög	térfogati zsugorodás	sejtfal arány	gáz-áteresztés
bázis-sűrűség	2x2		-0,932	-0,315	0,165		-0,502	-0,412	-0,801
	8x2		0,673	0,658	0,353	0,989	-0,585	0,455	0,288
	8x6	1	0,938	0,423	0,334	-0,270	0,858	0,667	0,645
	8x16		0,527	0,499	-0,383	-0,434	0,705	-0,132	0,264
évgyűrű szélesség	2x2			-0,228	0,204		-0,41	0,053	
	8x2			0,656	0,161	0,791	-0,975	0,887	0,2
	8x6	0,572	1	0,27	0,086	-0,216	0,726	-0,597	0,746

	8x16			0,111	-0,649	-0,538	0,181	0,429	-0,225
nyomó- szilárdság	2x2				-1,000		0,975	0,96	-0,088
	8x2				0,779	0,826	-0,609	-0,839	0,062
	8x6	0,34	0,082	1	0,680	0,283	0,62	0,492	0,239
	8x16				-0,691	-0,645	0,873	0,212	-0,082
tracheida- hosszúság	2x2						-0,987	-0,967	
	8x2					0,834	-0,085	0,647	-0,206
	8x6	-0,188	-0,07	0,018	1	-0,286	0,466	0,253	-0,470
	8x16					0,869	-0,610	-0,442	0,432
mikrofibrilla szög	2x2								
	8x2						-0,695	-0,645	0,288
	8x6	-0,225	-0,139	0,341	0,165	1	-0,352	-0,244	0,248
	8x16						-0,752	-0,848	0,635
térfogati zsugorodás	2x2							0,996	0,338
	8x2							-0,835	-0,006
	8x6	0,438	0,052	0,328	-0,308	-0,44	1	-0,876	0,560
	8x16							0,085	0,247
sejtfal arány	2x2								
	8x2								
	8x6	0,471	0,284	0,244	-0,275	-0,411	0,419	1	0,424
	8x16								-0,082
gáz- áteresztés	2x2								
	8x2								
	8x6	0,382	0,299	0,1	0,112	0,113	0,234	0,137	1
	8x16								

■ - szignifikáns korreláció 0,01 szinten

■ - szignifikáns korreláció 0,05 szinten

Továbbá 5 %-os szignifikancia szinten szignifikáns korreláció tapasztalható a térfogati zsugorodás és a bázissűrűség között (0,438), valamint a sejtfal arány és a bázissűrűség közötti kapcsolat elemzésénél (0,471). Ugyanezeket az összefüggéseket az egyes hálózatokra vizsgálva hol negatív, hol pozitív korreláció figyelhető meg, de egy hálózattól eltekintve egyik sem szignifikáns.

5.1.6.2. Klónonkénti elemzés

A klónokra elvégzett Pearson korrelációs vizsgálat eredményeit az 5.2. táblázatban foglaltam össze az előbbihez hasonló módon, vagyis a jobb felső (zöld) sarokban a klónokra vonatkozó értékek láthatók, míg a bal alsó (sárga) sarokban az egész populációra vonatkoznak. Hasonló tendencia figyelhető meg, mint a hálózatok közötti elemzésnél.

5.2. táblázat – Erdeifenyő klónok tulajdonságaira vonatkozó Pearson korrelációs vizsgálat eredménye az egész populációra (sárga) és külön-külön az egyes klónokra (zöld)

	klón	bázis-sűrűség	évyűrű szélesség	nyomó-szilárdság	tracheida hosszúság	mikrofibrilla-szög	térfogati zsugorodás	sejtfal arány	gáz-áteresztés
bázis-sűrűség	'1-20'		0,41	0,256	0,474	-0,726	0,266	-0,767	
	'6-10'	1	0,404	0,505	-0,696	-0,434	0,66	-0,359	0,061
	'6-25'		0,739	0,228	0,118	0,309	0,065	-0,033	0,432
évyűrű szélesség	'1-20'		1	0,531	0,316	0,209	-0,414	-0,066	
	'6-10'	0,572		-0,294	-0,112	-0,593	0,258	-0,511	0,561
	'6-25'			-0,244	-0,244	0,273	-0,511	-0,755	-0,364
nyomó-szilárdság	'1-20'			1	-0,508	0,367	0,035	-0,479	
	'6-10'	0,34	0,082		-0,092	0,473	0,332	-0,028	-0,436
	'6-25'				0,634	0,677	0,568	0,629	0,556
tracheida hosszúság	'1-20'				1	-0,507	-0,347	0,041	
	'6-10'	-0,188	-0,07	0,018		0,653	-0,497	0,216	0,170
	'6-25'					0,2	0,413	0,942	0,187
mikrofibrilla szög	'1-20'					1	-0,567	0,482	
	'6-10'	-0,225	-0,139	0,341	0,165		-0,502	0,318	-0,233
	'6-25'						-0,06	0,578	0,889
térfogati zsugorodás	'1-20'						1	-0,303	
	'6-10'	0,438	0,052	0,328	-0,308	-0,44		-0,348	0,182
	'6-25'							0,036	0,108
sejtfal arány	'1-20'							1	
	'6-10'	0,471	0,284	0,244	-0,275	-0,411	0,419		-0,153
	'6-25'								0,708
gáz-áteresztés	'1-20'								1
	'6-10'	0,382	0,299	0,1	0,112	0,113	0,234	0,137	
	'6-25'								

■ - szignifikáns korreláció 0,01 szinten

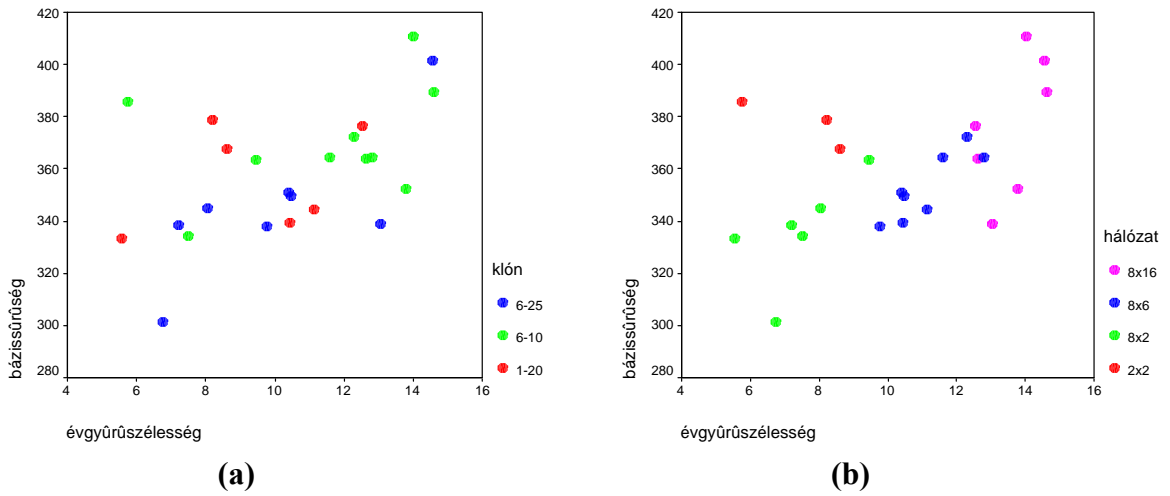
■ - szignifikáns korreláció 0,05 szinten

Az évyűrűszélesség és a bázissűrűség között mindhárom klónnál pozitív korreláció tapasztalható, de csak a '6-25' klónnál van 1%-os szignifikancia eltérés. A térfogati zsugorodás és a bázissűrűség közötti kapcsolat mindhárom klón esetében pozitív korrelációt mutat, de csak a '6-10' klón szignifikáns. Míg a sejtfal arány és a bázissűrűség kapcsolatának vizsgálatakor mindhárom klónnál negatív korreláció található.

A többi tulajdonság összefüggéseit vizsgálva a teljes populáció esetében egyik sem mutatott szignifikáns kapcsolatot. Annak ellenére, hogy bizonyos tulajdonságok között a hálózatokon belül, valamint a klónokon belül szignifikáns összefüggés tapasztalható, az egész populációban ezen tulajdonságok között nem található összefüggés.

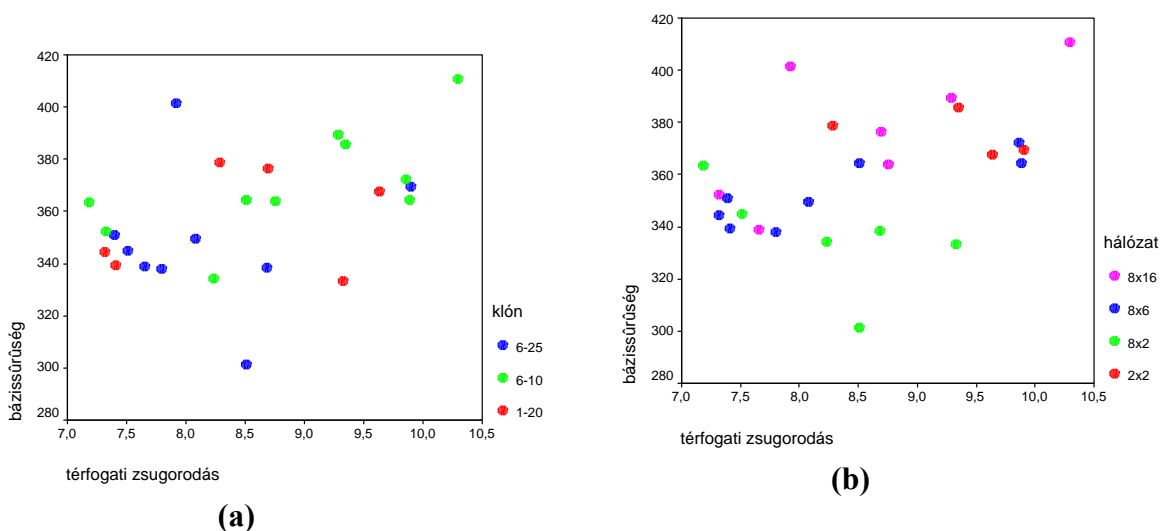
Az 5.20.-5.22. ábrákon azokat a tulajdonságokat, amelyek között korrelációt találtam grafikonon is ábrázoltam. Az 5.20. ábrán pozitív korrelációt mutat az **évyűrűszélességgel** a **bázissűrűség**. Ez azonban látszólag ellentmond annak a tapasztalatnak miszerint a fenyőknél az évyűrűszélesség csökkenésével a sűrűség növekedése jár együtt. Nem szabad elfelejtenünk azonban, hogy az általános megállapítás az érettfára vonatkozik. Az általam vizsgált „juvenilisfában” még a pászta markánsan nem különülnek el. Az 5.20.a. grafikonon a klónok szerinti csoportosítás látható, ebből megállapítható, hogy a klónok azonos tendenciát

mutatnak. Míg az 5.20.b. ábrán a hálózatok elkülönülnek egymástól, és meg kell említeni, hogy a 2x2 hálózat nem tükrözi az egész populáció tendenciáját, itt ugyanis negatív a korreláció.



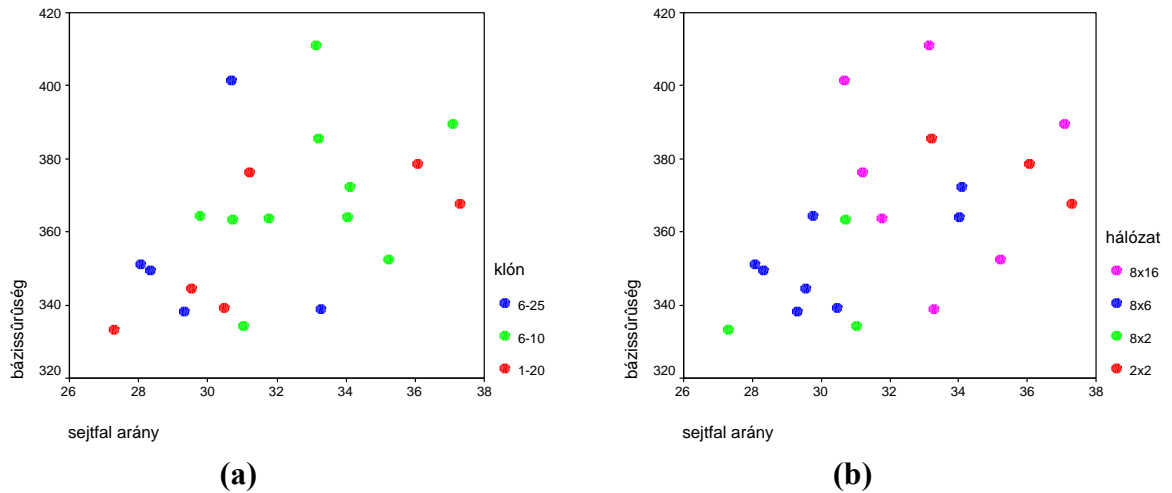
5.20. ábra – Erdeifenyő mintatörzsek bázissűrűségének [kg/m³] változása az évyűrűszélesség [mm] függvényében klónokra és hálózatokra lebontva (korrelációs együttható az egész populációra: 0,572)

A **bázissűrűség** és a **térfogati zsugorodás** korrelációja pozitív, vagyis növekvő sűrűség esetén a faanyag térfogati zsugorodása is növekszik. GENCSI (1973) tanulmányában is erre az eredményre jutott, miszerint a tömöttebb szövetű, nagyobb sűrűségű fák zsugorodása is nagyobb, mint a laza szövetűeké. A klónok között nincs különbség (5.21.a. ábra), mindhárom klón pozitív korrelációt mutat, és az egyes klónok nem különülnek el egymástól. A hálózatok esetében (5.21.b. ábra) a 2x2 és a 8x2 az egész populációval ellentétben negatív korrelációt adott. Valamint meg kell említeni, hogy nem lehet elkülöníteni az egyes hálózatokban nőtt törzseket.



5.21. ábra – Erdeifenyő mintatörzsek térfogati zsugorodásának [%] változása a bázissűrűség [kg/m³] függvényében klónokra és hálózatokra lebontva (korrelációs együttható az egész populációra: 0,438)

Az előbbi két tulajdonság (térfogati zsugorodás, bázissűrűség) összefüggését támasztja alá a **sejtfalarány** és a **bázissűrűség** korrelációs vizsgálata is, miszerint e két tulajdonság között pozitív korrelációt találunk. A sejtfalarány növekedésével a faanyag sűrűsége növekszik, hiszen a sejtfal vastagságának növekedésével sűrűség növekedés jár együtt (5.22. ábra).



5.22. ábra – Erdeifenyő mintatörzsek bázissűrűségének [kg/m^3] változása a sejtfalarány [%] függvényében, klónokra és hálózatokra lebontva (korrelációs együttható az egész populációra: 0,471)

5.1.7. Erdeifenyő vizsgálatok összefoglalása

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgált nyolc faanyagtulajdonság közül a **hálózati hatás** hat faanyagtulajdonság esetében volt meghatározó tényező, ezek a következők voltak: évgűrűszélesség, tracheidahosszúság, sejtfalarány, mikrofibrillaszög, bázissűrűség, nyomószilárdság (5.3. táblázat).

A **klón hatása** már nem mutat ilyen meggyőző képet, itt ugyanis csak *két tulajdonság* esetében (mikrofibrillaszög, nyomószilárdság) találtam szignifikáns hatást. Ha együttesen vizsgáltam a hálózat és a klón hatását, akkor *négy faanyagtulajdonság* esetében mondható el, hogy e két faktor együttesen hatással van a tulajdonságra, mégpedig az évgűrűszélesség, tracheidahosszúság, mikrofibrillaszög és a térfogati zsugorodás vizsgálatainál.

A **klón hatását** és a próbatest **radiális irányú elhelyezkedését** együttesen vizsgálva *két faanyagtulajdonság* esetében találtam szignifikáns hatást, ezek a tracheidahosszúság és a nyomószilárdság vizsgálatok voltak.

5.3. táblázat - Erdeifenyő klónkísérletből származó mintatörzsek varianciaanalízise a hálózat, klón, hálózat-klón kölcsönhatására, valamint a klón és pozíció kölcsönhatására

Faanyagtulajdonság	Hálózat hatása	Klón hatása	Hálózat és klón kölcsönhatása	Klón és pozíció kölcsönhatása
évgűrűszélesség [mm]	**	NS	**	NS
tracheidahosszúság [mm]	**	NS	**	**
sejtfal arány [%]	*	NS	NS	NS
mikrofibrillaszög [°]	**	*	**	-
bázissűrűség [kg/m ³]	**	NS	NS	NS
térfogati zsugorodás [%]	NS	NS	**	NS
permeabilitás [10 ¹⁰ m ³ /m Pa]	NS	NS	NS	-
nyomószilárdság [N/mm ²]	*	*	NS	**

** szignifikáns 0,01-es valószínűségi szinten

* szignifikáns 0,05-os valószínűségi szinten

NS nem szignifikáns

Az erdeifenyő esetében 4 hálózat, 3 klón 23 törzsének vizsgálata után a hálózatok összehasonlítása érdekében készítettem egy táblázatot, amelyben az egyes tulajdonságokat a Duncan teszt alapján értékeltem (I-III osztályba soroltam be). A hálózatokra vonatkozó Duncan tesztek a 2. mellékletben találhatóak. Az ott felállított sorrend alapján osztályoztam a tulajdonságokat. Csak azokat a faanyagtulajdonságokat vettem figyelembe, amelyeknél a hálózatok között szignifikáns különbség adódott. A sorrend alapján készítettem el az 5.4. táblázatot. *A táblázatból leolvasható, hogy a 2x2 hálózat rendelkezik a legtöbb fafeldolgozási szempontból kedvező faanyagtulajdonsággal.*

5.4. táblázat – Az összes hálózat összehasonlítása, szignifikánsan különböző tulajdonságok szerint

Hálózat	I.	II.	III.
2x2	É, B, N, S, M	Z	T
8x2	E, T, M, Z	M	S, B
8x6	T, Z	B, É, N, S, M, Z	S
8x16	B, S, M, Z	T, S, Z	É

E - Évgűrűszélesség, T - Tracheida hosszúság,

S - Sejtfal arány, M – Mikrofibrillaszög,

B - Bázissűrűség, Z – Térfogati zsugorodás, N - Nyomószilárdság

A hálózatokhoz hasonlóan az összehasonlítást elvégeztem a klónokra is, ugyanazzal a módszerrel, vagyis a Duncan tesztben kapott eredményeket felhasználva (4-5. melléklet). Az összehasonlításnál itt is csak azokat a tulajdonságokat vettem

figyelembe amelyeknél a klónok között szignifikáns különbség volt. *A klónokra vonatkozva az eredmények azt mutatják, hogy a 3 klón közül nincs kiemelkedő, amelyik a többi klónnál jobb faanyagtulajdonságokkal rendelkezne (5.5. táblázat).*

5.5. táblázat – A klónok összehasonlítása, szignifikánsan különböző tulajdonságok szerint

Klón	I.	II.
'6-10'	B, N	T, Z
'1-20'	É, Z, T	B, N
'6-25'	E, N, T, Z	B, N

B - Bázissűrűség, **E** - Évgyűrűszélesség, **N** - Nyomószilárdság,
T - Tracheida hosszúság, **Z** – Térfogati zsugorodás

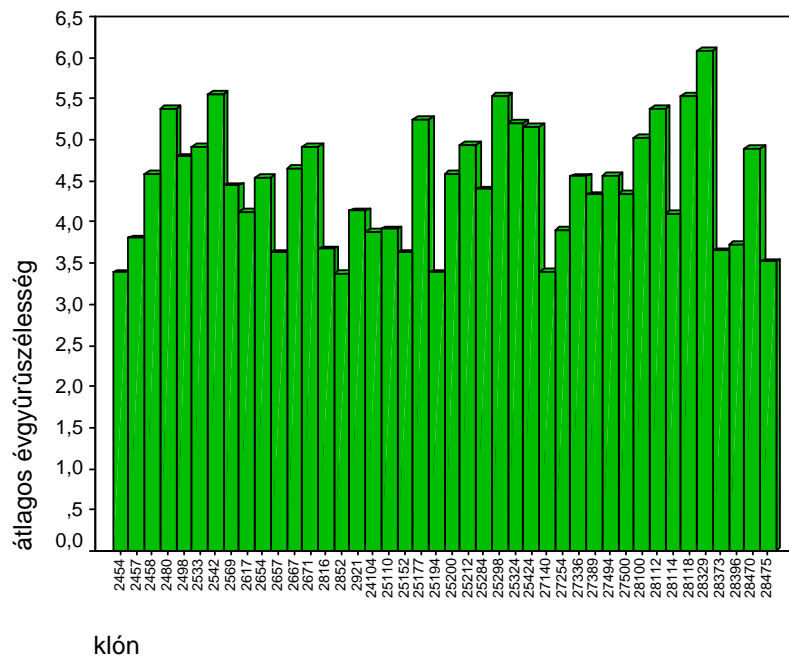
Az utolsó két táblázat eredményeit összegezve elmondható, hogy az ültetési hálózat hatása meghatározó fafeldolgozási szempontból, míg a klónok között a vizsgált faanyagtulajdonságokat vizsgálva nincs szembetűnő különbség. *Vagyis elmondható, hogy a vizsgált 3 klón esetében a környezet hatása meghatározóbb tényező annál, hogy az egyed melyik klónból származik.*

5.2. Lucfenyő (*Picea abies*)

5.2.1. Klón hatása (fajtanemesítés)

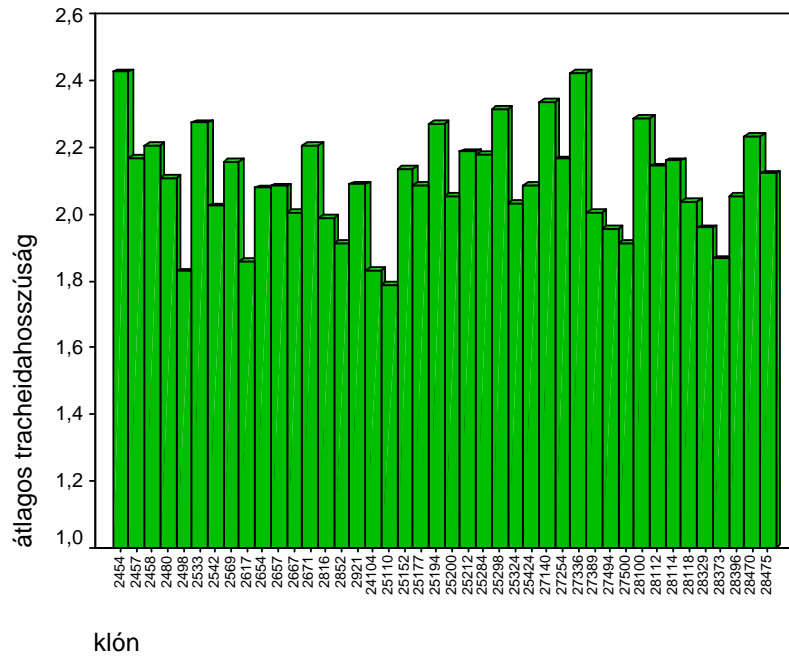
A 41 klón összehasonlítása után elmondható, hogy a nyolc mért faanyagtulajdonság között a sejtfal arány kivételével szignifikáns különbségek mutatkoztak. A bázissűrűség és a nyomószilárdság esetében közel 37%-ban a klón hatása tehető felelőssé az értékek változatosságáért (4.14. táblázat). A 5.23.-5.30. ábrákon láthatók az egyes klónok átlagos faanyagtulajdonsági értékei. A grafikonokról leolvasható, hogy a klónok értékei meglehetősen tág határok között mozognak

Az **évyűrűszélesség** klónonkénti átlagos értékei (5.23. ábra) 3,38 mm és 6,08 mm között változnak. A klónok között statisztikailag szignifikanciát találtam (4.14. táblázat). Az egész populáció átlagos évyűrűszélessége 4,48 mm (4.13. táblázat)



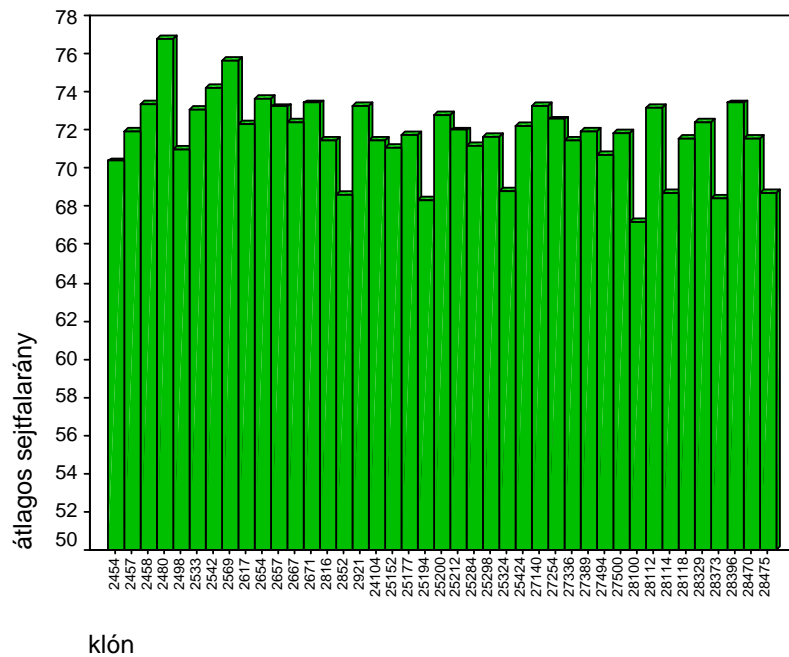
5.23. ábra – Lucfenyő mintatörzsek évyűrűszélességének [mm] klónátlagai

A **tracheidahosszúság** értékeinél (5.24. ábra) is megfigyelhető, hogy a klónok közötti eltérések jelentősek, szignifikánsak. A legszélesebb és a legkeskenyebb évyűrűvel rendelkező klónok átlagos évyűrűszélességeinek különbsége 0,6 mm, ami gyakorlati szempontból is figyelmet érdemlő. Az egész populáció átlagos tracheidahosszúsága 2,1 mm (4.13. táblázat)



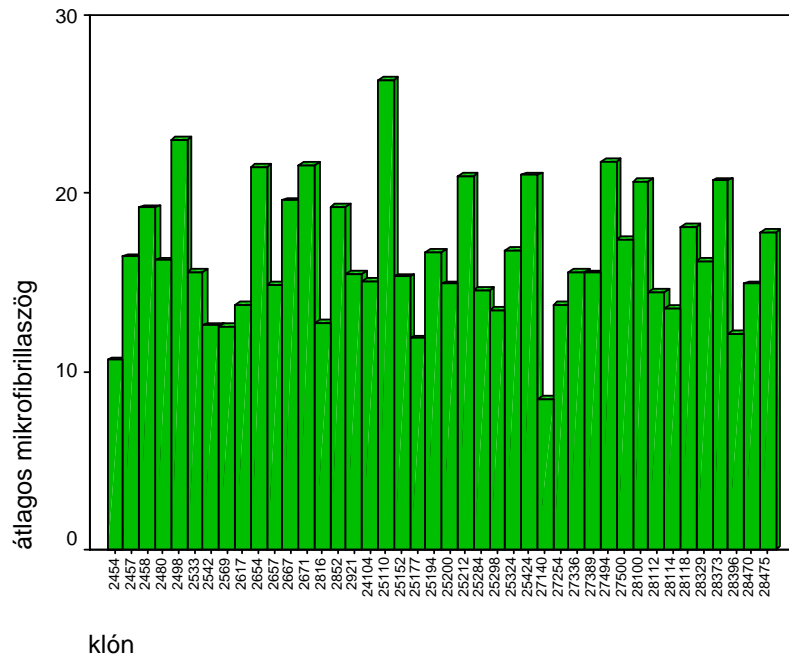
5.24. ábra – Lucfenyő mintatörzsek tracheidahosszúságának [mm] klónátlagai

A nyolc lemért faanyagtulajdonság közül a **sejtfalarány** az egyedüli, amely a klónonkénti átlag értékek között, a statisztikai vizsgálat szerint, nem mutat szignifikáns különbséget (5.25 ábra). Az értékek 67,1% és 76,7 % között alakulnak. Az egész populáció átlagos sejtfalaránya pedig 71,4 % (4.13. táblázat).



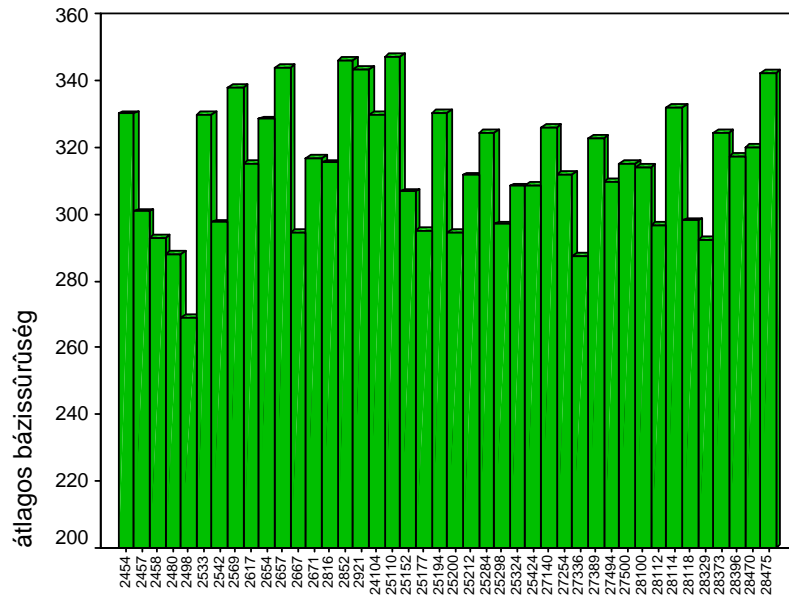
5.25. ábra – Lucfenyő mintatörzsek sejtfalarányának [%] klónátlagai

A klónok átlagos **mikrofibrillaszögének** összehasonlításakor a következő eredményeket kaptam, a klónok átlagértékei meglehetősen tág határok között változnak (5.26.ábra). A varianciaanalízis szerint (4.14. táblázat) a klónok között szignifikáns különbséget találtam. A klónok, egy kivételével, az irodalomban fellelhető 25,6° mikrofibrillaszögnél (TIMMEL 1986) kisebbel rendelkeznek, a vizsgálatok alapján az egész populáció átlagértéke 16,7° volt (4.13. táblázat).



5.26. ábra – Lucfenyő mintatörzsek mikrofibrillaszögének [°] klónátlagai

Lucfenyő mintatörzsek **bázissűrűségének** vizsgálatok az egyes klónok között nagymértékű eltéréseket figyelhetünk meg (5.27.ábra), amelyek statisztikailag is szignifikánsak. Az egész populáció átlagértéke 311,3 kg/m³ (4.13. táblázat), amelyet átszámítva abszolút száraz állapotú sűrűsége 337,41 kg/m³ értéket kapunk, ez már összehasonlítható az irodalmakban található értékekkel. Ezek alapján elmondható, hogy a vizsgált lucfenyő anyag sűrűségében elmarad az átlagos lucfenyőktől, WAGENFÜHR (1996) adatai szerint ugyanis a lucfenyő abszolút száraz sűrűsége 430 kg/m³ körül mozog.



klón

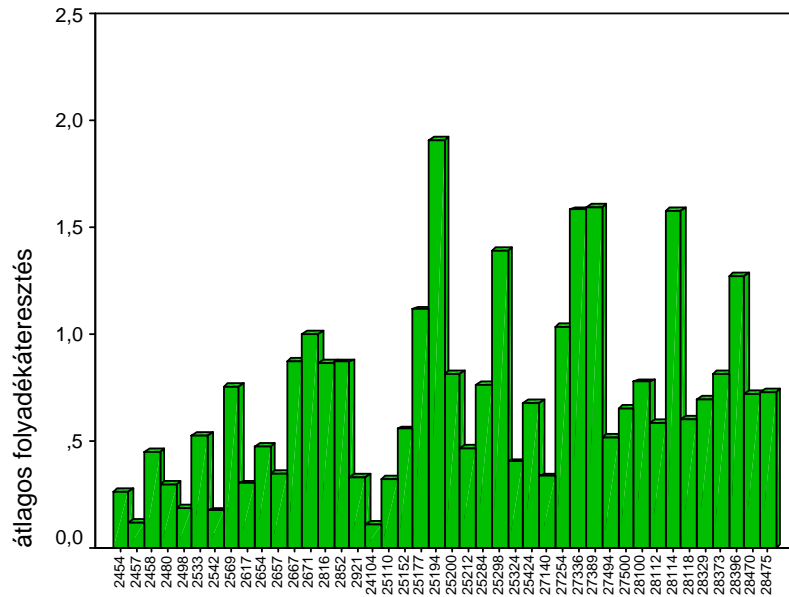
5.27. ábra – Lucfenyő mintatörzsek bázissűrűségének [kg/m³] klónátlagai

A lucfenyő **folyadékáteresztő képességének** vizsgálatakor arra a megállapításra jutottam, hogy a klónok közötti statisztikailag szignifikáns eltérések adódtak (5.28. ábra). SIAU (1984) mérései szerint a fenyők szíjácsának áteresztőképessége 10^{-1} darcy érték körül változik ($1 \text{ darcy} = 9,87 \cdot 10^{-13} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{atm} \cdot \text{s}$) (5.6. táblázat). A mérési eredményeim 10^{-6} darcy körül mozognak, amelyek jóval alacsonyabbak, mint SMITH & LEE (1958) mérései. Ők különösen nehezen telíthetőnek ítélték meg a duglászfenyőt, amelynek a folyadékáteresztőképessége kb. 10^{-3} darcy. Ennek a nagy eltérésnek okai lehetnek a köztudottan nehezen telíthető lucfenyő anyag anatómia felépítésének sajátosságai, mint például az udvaros gödörkék aspirációja.

A permeabilitással foglalkozó irodalmak felhívják a figyelmet arra, hogy a faanyag anatómiai felépítéséből adódó különbségek is nagymértékben befolyásolják a mérési eredményeket (SIAU 1984), valamint az aspiráció mértéke is változhat egy törzsön belül is. Ezek alapján már érthetővé válnak a 4.16. táblázatban lévő magas variációs együttható értékek (98,18% és 97,88%).

5.6. táblázat – Fafajok folyadékáteresztőképessége (SIAU 1984)

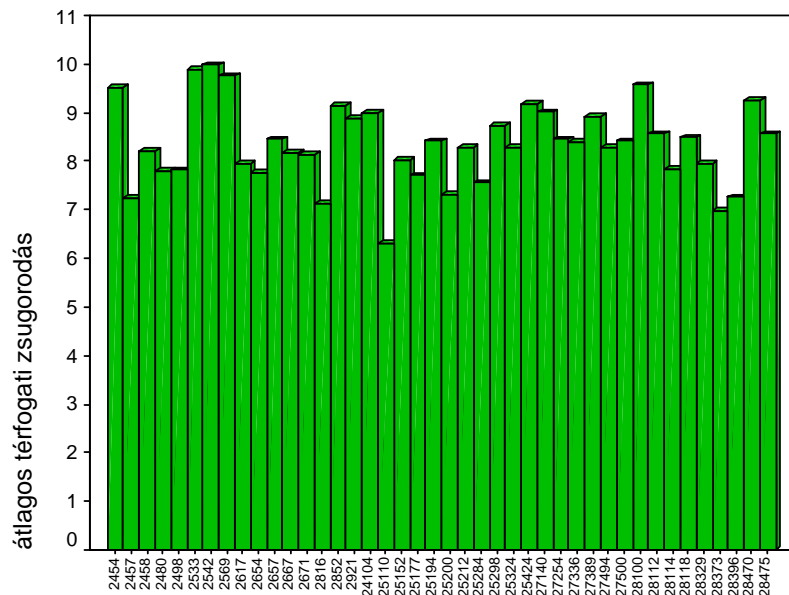
folyadékáteresztő-képesség [darcy]	fafaj
10^2	vörös tölgy / <i>Quercus rubra</i> /
10^1	hársak / <i>Tilia sp.</i> /
10^0	alma / <i>Malus sp.</i> /, fenyő szíjács
10^{-1}	lucfenyő / <i>Picea abies</i> / szíjácsa
10^{-2}	kocsányos ill. kocsánytalan tölgy / <i>Quercus sp.</i> /
10^{-3}	duglászfenyő / <i>Pseudotsuga sp.</i> /
10^{-4}	fafajok keresztirányú folyadékáteresztőképessége
10^{-6}	



klón

5.28. ábra – Lucfenyő mintatörzsek folyadék-áteresztésének [$10^{-10} \text{ m}^3/\text{mPas}$] klónátlagai

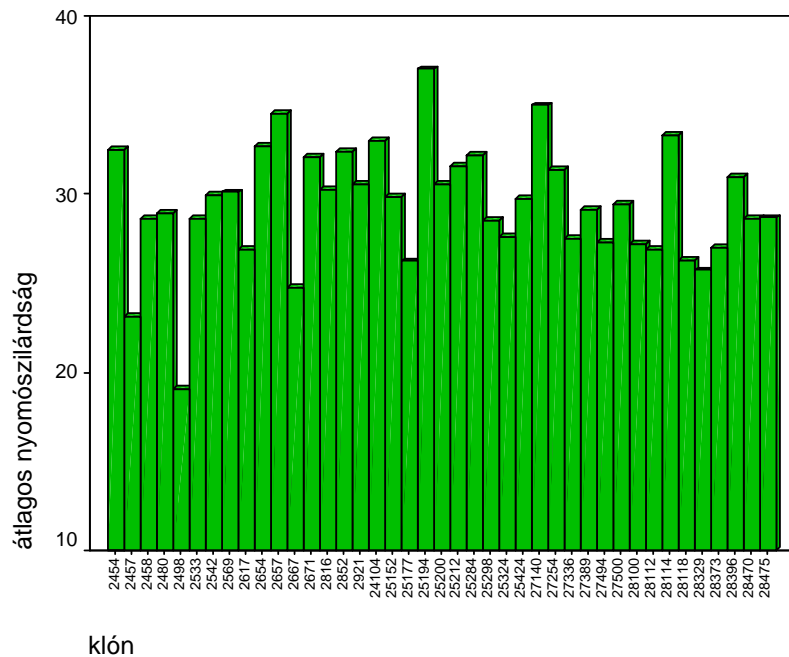
A **térfogati zsugorodás** értékei 6,31-9,98% között változnak. A klónok között statisztikailag is szignifikáns különbségek adódtak (5.29. ábra). Az irodalomban (WAGENFÜHR 1996) szereplő 11%-os térfogati zsugorodás érték alatt maradnak a mérési eredmények, hiszen az egész populáció átlagértéke is csak 8,39 % (4.13. táblázat).



klón

5.29. ábra – Lucfenyő mintatörzsek térfogati zsugorodásának [%] klónátlagai

A **nyomószilárdsági** vizsgálatok esetében is a klónok között szignifikáns különbségek mutatkoznak. Az egész populációra számított átlagos nyomószilárdsági érték $29,09 \text{ N/mm}^2$, amely jóval alacsonyabb, mint az irodalmi adatok (4.13. táblázat). WAGENFÜHR (1996) adatai szerint egy átlagos lucfenyő nyomószilárdsága $33\text{-}79 \text{ N/mm}^2$ közé esik (5.30. ábra). Az ültetvényes erdőkből származó faanyagok kisebb szilárdsági értékekkel rendelkeznek (BENDTSEN 1986), ez magyarázatot adhat a vizsgálatok alacsony eredményeire.

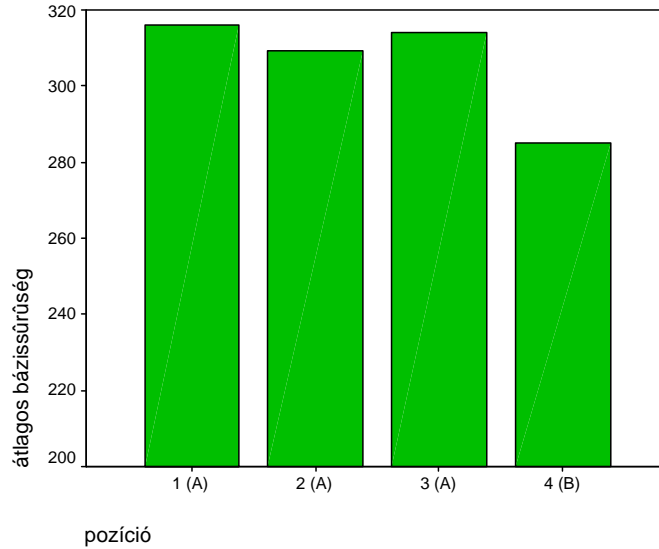


5.30. ábra – Lucfenyő mintatörzsek nyomószilárdságának [MPa] klónátlagai

5.2.2. A tulajdonságok változása a törzsfá keresztmetszete mentén

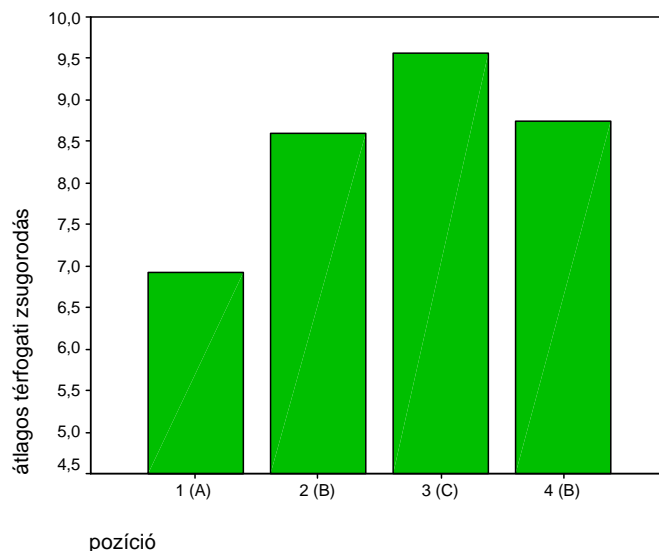
A faanyagtulajdonságok törzsön belüli, radiális irányú változásának követésére hat tulajdonság esetében volt lehetőség. A hat faanyagtulajdonság közül hármat pozíció szerint és hármat évgyűrűnként vizsgáltam meg. A pozíció szerinti vizsgálatokra a bázissűrűség, térfogati zsugorodás és a nyomószilárdság mérésénél került sor. A grafikonokon a pozíció ill. az évgyűrű száma mellett zárójelben jelöltem nagy betűkkel a Duncan próba eredményeit, amelyek részletesen a 44. mellékletben található meg.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a **bázissűrűség** esetében az egyes pozíciók között nincs eltérés, egyedül a 4. pozíció eredményei térnek el a többitől, amit a minta elemszámának alacsony volta magyaráz (5.31. ábra). Az évgyűrűsűrűség csökkenésével a sűrűség növekedésének kellene együtt járnia (OLESEN 1977, LEWARK 1979), azonban itt ez nem következik be.



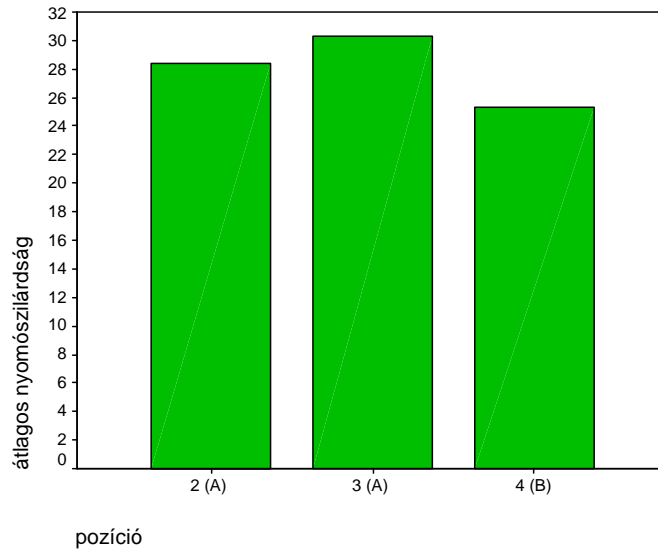
5.31. ábra – Lucfenyő mintatörzsek pozíciónkénti átlagos bázissűrűség [kg/m³] értékei

A **térfogati zsugorodás** értékei a bél felől a kéreg irányába növekvő tendenciát mutat, itt is meg kell említeni a 4. pozíciót, ahol az eredmények alacsonyabbak, valószínűleg a kevés minta szám miatt (5.32. ábra). Mint már a klón hatás vizsgálatokor megemlítettem a zsugorodási értékek alacsonyabbak, mint az várható lenne, hiszen az ültetvényes fák másodlagos sejtfalában a mikrofibrillák elrendeződési szöge általában nagyobb, mint a természetes erdőben növő fáknál, ami a zsugorodás növekedését vonja maga után (MEYLAN 1968). Azonban a vizsgált lucfenyő esetében a mikrofibrillák szögei is alacsonyabbak, és ebből következően a zsugorodási értékek sem haladják meg a normál fa értékeit.



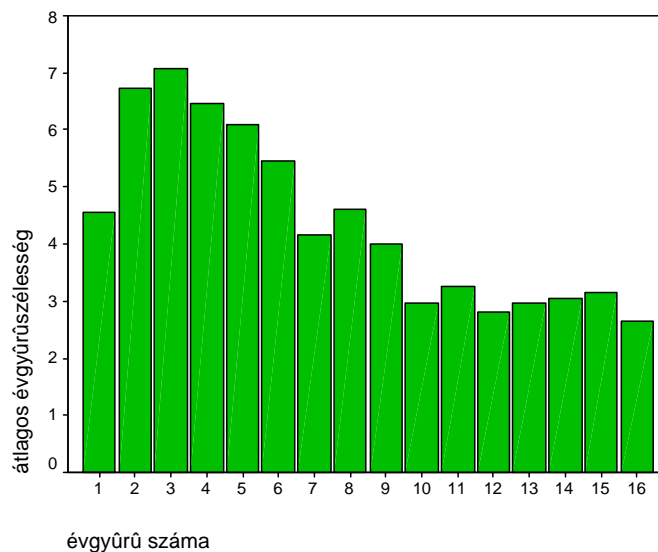
5.32. ábra – Lucfenyő mintatörzsek pozíciónkénti átlagos térfogati zsugorodás [%] értékei

A **nyomószilárdsági** vizsgálatoknál az értékek a bázissűrűséghez hasonló eredményt hoztak, a 2. és a 3. pozíció értékei között nincs szignifikáns különbség (5.33. ábra), azonban a 4. pozícióban alacsonyabb értéket kaptam, ennek magyarázata lehet a nagyon kevés próbatest.



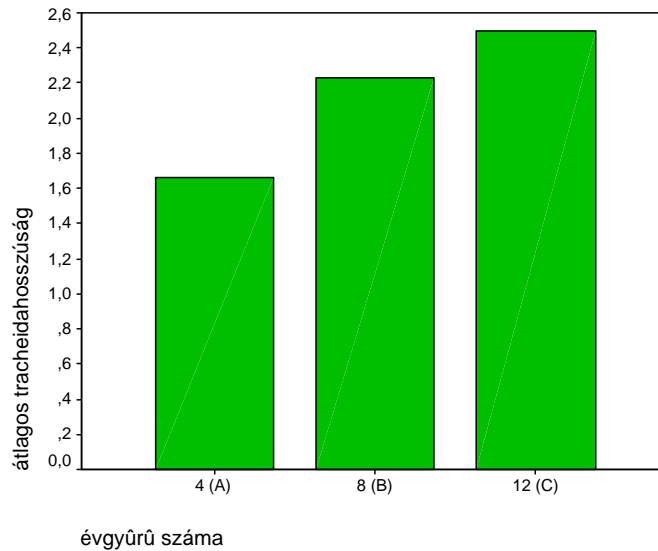
5.33. ábra – Lucfenyő mintatörzsek pozíciónkénti átlagos nyomószilárdsági [MPa] értékei

A következő három faanyagtulajdonság esetében a méréseket érvgyűrűnként végeztem, ezek alapján a következő eredményeket kaptam. Az **érvgyűrűszélesség** vizsgálati eredményei az erdeifenyőhöz hasonló tendenciát mutatnak, az értékek eleinte növekszenek majd a 10-12. érvgyűrűig csökkenő tendencia figyelhető meg, aztán pedig egy állandó érték körül állnak be az értékek (5.34. ábra). A „juvenilis” szakasz a vizsgálat lucfenyő esetében a 10-12. érvgyűrű környékén fejeződik be.



5.34. ábra – Lucfenyő mintatörzsek érvgyűrűszélességének [mm] változása a törzs mentén

A **tracheidahosszúság** mérésének eredményei is az erdeifenyőhöz hasonló tendenciát mutat, a bél felől a kéreg irányába a tracheidák hosszúsága növekszik (5.35. ábra). Ez a növekvő tendencia a juvenilisfára jellemző. Ezekből a mérési adatokból megállapítható, hogy a tizenkettedik évgyűrűig a lucfenyő törzsek a juvenilis szakaszban voltak.



5.35. ábra – Lucfenyő mintatörzsek tracheida hosszúságának [mm] változása a törzs mentén

A **folyadékáteresztés** vizsgálatánál két évgyűrűnél mértem meg a permeabilitási értékeket. Az eredmények azt mutatják, hogy a két pozícióban a relatív hiba 98%-os, ami igen magas. Ennek valószínűsíthető okait az 5.2.1. fejezetben már kifejtettem.

5.2.3 A klón és pozíció együttes hatása

A kétfaktoros varianciaanalízis eredményeként (4.17.-4.18. táblázatok), ahol a pozíció, évgyűrű és a klón együttes hatását vizsgáltam a következő eredményeket kaptam. Az évgyűrűszélesség, tracheidahosszúság, bázissűrűség, térfogati zsugorodás valamint a nyomószilárdság esetében a kölcsönhatás vizsgálat szignifikanciát mutatott ki. Ennél az öt faanyagtulajdonságnál megállapítható, hogy 46-60 %-ban a klónhatás és a minta fában elfoglalt helye befolyásolják az értékek alakulását. A folyadékáteresztés varianciaanalízis eredménye nem mutatott szignifikanciát a két faktor kölcsönhatására.

5.2.4. A faanyagtulajdonságok közötti összefüggések elemzése

A 45-52. mellékletekben helyeztem el a különböző tulajdonságok törzsekre vonatkozó átlagértékeit, ezen adatok alapján végeztem el a Pearson korrelációs elemzést az egész populációra, melynek eredményét az 5.7. táblázat foglalja össze. A klónokra vonatkozó Pearson korrelációs vizsgálatot a klónok nagy száma miatt nem volt célszerű elvégezni. A vizsgált klónok anatómiai szerkezetét és tulajdonságait tekintve

szignifikáns pozitív korrelációt kaptam a tracheidahosszúság és a nyomószilárdság (0,205), a bázissűrűség és a nyomószilárdság (0,753), a térfogati zsugorodás és az évgyűrűszélesség (0,195), valamint a térfogati zsugorodás és a tracheida hosszúság között (0,313). Negatív korrelációs hatás érvényesült a mikrofibrillaszög és a nyomószilárdság (-0,265), illetve az évgyűrűszélesség és a nyomószilárdság (-0,618), valamint az évgyűrűszélesség és a bázissűrűség (-0,575) között.

5.7. táblázat – Lucfenyő klónok tulajdonságaira vonatkozó Pearson korrelációs vizsgálat eredménye az egész populációra

	Bázis sűrűség	Évgyűrűszélesség	Nyomószilárdság	Tracheidahosszúság	Mikrofibrillaszög	Térfogati zsugorodás	Sejtfal arány	Folyadékáteresztés
Bázis sűrűség	1	-0,575	0,753	0,075	-0,098	0,091	0,158	-0,054
Évgyűrűszélesség		1	-0,618	-0,108	0,086	0,195	-0,142	0,121
Nyomószilárdság			1	0,205	-0,265	0,087	0,044	0,052
Tracheidahosszúság				1	-0,118	0,313	0,015	0,119
Mikrofibrillaszög					1	-0,151	-0,014	-0,177
Térfogati zsugorodás						1	-0,106	-0,109
Sejtfal arány							1	0,089
Folyadékáteresztő képesség								1

■ - szignifikáns korreláció 0,01 szinten

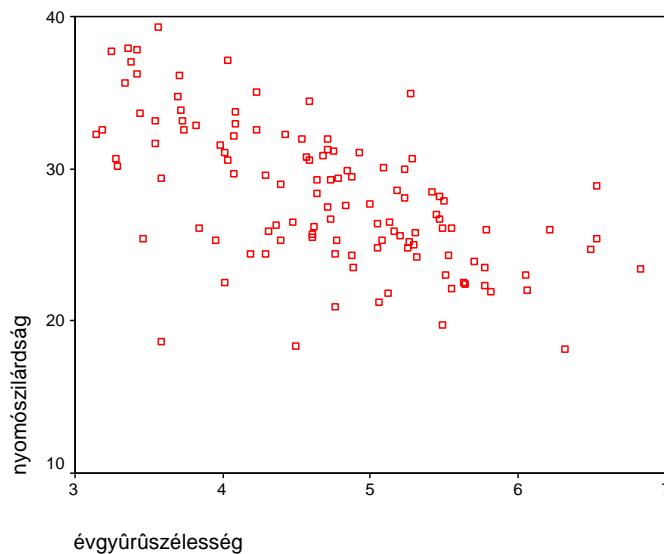
■ - szignifikáns korreláció 0,05 szinten

A **bázissűrűség** és az **évgyűrűszélesség** összefüggéseként szignifikáns a korreláció, tehát szélesebb évgyűrűhöz kisebb sűrűség tartozik (5.36. ábra). A nagyobb évgyűrűszélesség nagyobb korai pászta arányt jelent, a korai pászta sűrűsége kisebb, mint a kései pásztaé és így a faanyag sűrűsége csökken. OLESEN (1977) tanulmányában szintén erre az eredményre jutott.

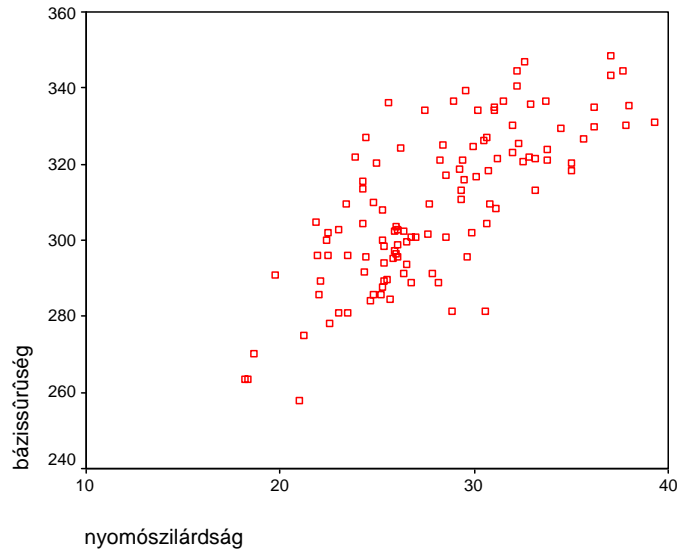


5.36. ábra – Lucfenyő mintatörzsek bázissűrűségének [kg/m^3] változása az évgűrűszélesség [mm] függvényében (korrelációs együttható: -0,575)

Az **évgűrűszélesség** és a **nyomószilárdság** esetében is hasonló tendenciát figyelhetünk meg a lucfenyő törzsek vizsgálatánál (5.37. ábra). Az évgűrűszélesség növekedése a nyomószilárdság csökkenését vonja maga után. Ez összefügg az előző (bázissűrűség-évgűrűszélesség) és a következő két faanyagtulajdonság korrelációjával, miszerint a **bázissűrűség** növekedése növekvő **nyomószilárdsággal** jár együtt (5.38. ábra).

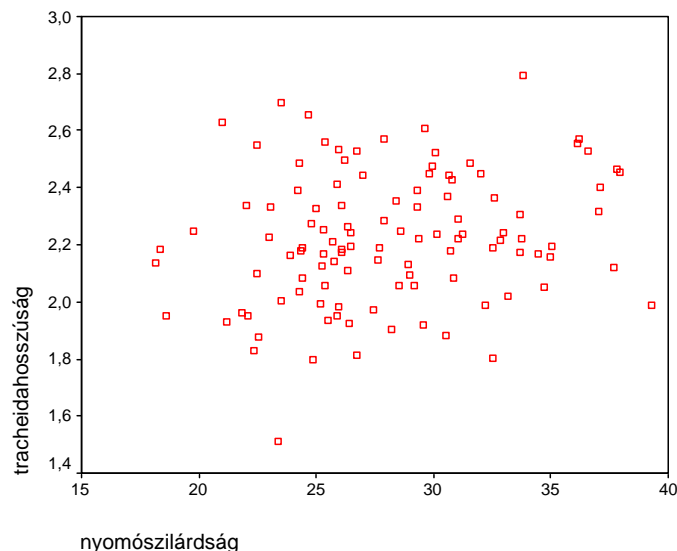


5.37. ábra – Lucfenyő mintatörzsek nyomószilárdságának [MPa] változása az évgűrűszélesség [mm] függvényében (korrelációs együttható: -0,618)



5.38. ábra – Lucfenyő mintatörzsek bázissűrűségének [kg/m^3] változása a nyomószilárdság [MPa] függvényében (korrelációs együttható: 0,753)

Az eredmények a **nyomószilárdság** és a **tracheidahosszúság** összefüggés vizsgálatakor statisztikailag szignifikáns pozitív korrelációt mutatnak (5.39. ábra). Ez magyarázható azzal, hogy a hosszabb tracheidák kisebb mikrofibrillaszöggel rendelkeznek és a mikrofibrillaszög csökkenése a nyomószilárdság növekedését idézi elő (DONALDSON 1992).

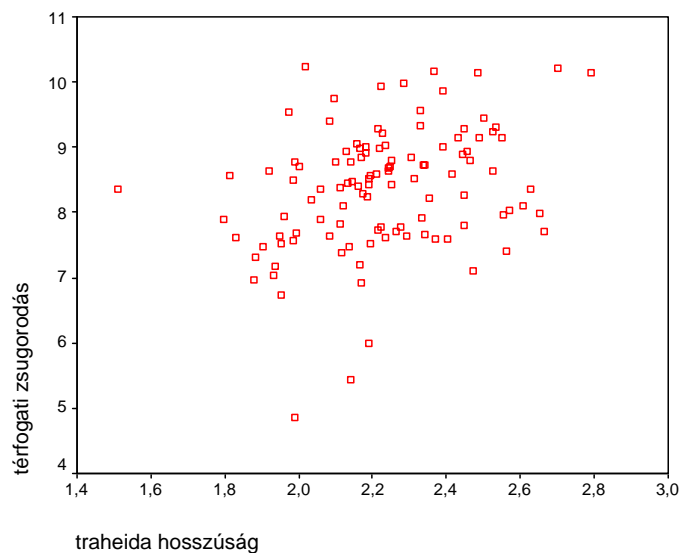


5.39. ábra – Lucfenyő mintatörzsek tracheida hosszúságának [mm] változása a nyomószilárdság [MPa] függvényében (korrelációs együttható: 0,205)

A statisztikai vizsgálat szerint a **térfogati zsugorodási** és az **évgűrűszélesség** valamint a **tracheidahosszúság** esetében a statisztikai vizsgálatok szerint pozitív szignifikáns korreláció található (5.40. - 5.41. ábra), ennél a két korrelációnál a korrelációs együttható kicsi.

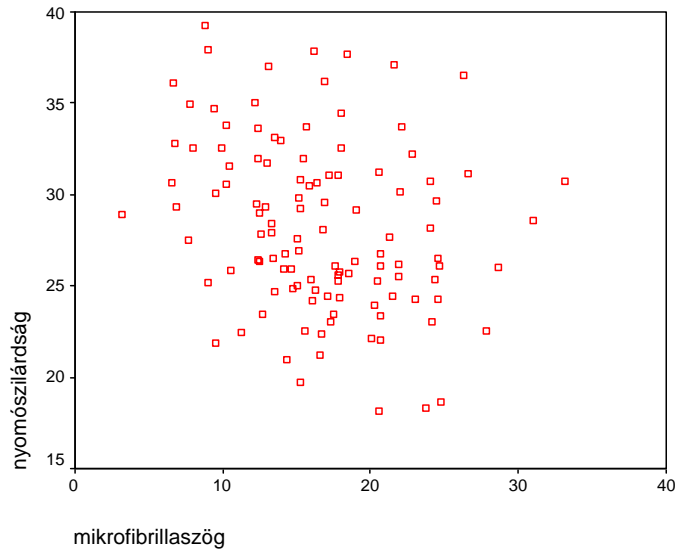


5.40. ábra – Lucfenyő mintatörzsek térfogati zsugorodásának [%] változása az évgyűrűszélesség [mm] függvényében (korrelációs együttható: 0,195)



5.41. ábra – Lucfenyő mintatörzsek térfogati zsugorodásának [%] változása a tracheidahosszúság [mm] függvényében (korrelációs együttható: 0,313)

A **nyomószilárdság** és a **mikrofibrillaszög** Pearson korrelációs vizsgálati eredménye negatív korrelációt mutat, a korrelációs együttható itt is kicsi (5.42. ábra).



5.42. ábra – Lucfenyő mintatörzsek nyomószilárdságának [MPa] változása a mikrofibrillaszög [$^{\circ}$]függvényében (korrelációs együttható: -0,265)

5.2.5. Lucfenyő vizsgálatok összefoglalása

A vizsgálatok elemzése után megállapítható, hogy a nyolc vizsgált faanyagtulajdonság közül hétben klónhatás figyelhető meg. Egyetlen egy olyan tulajdonságot találtam, ez a sejtfalarány volt, amelynél a klónok között nincs szignifikáns különbség (5.8 táblázat), ennek valószínűsíthető oka a próbatestek csekély számában keresendő.

A klón valamint a vizsgált anyag radiális irányú elhelyezkedése közötti varianciaanalízis eredménye szintén hasonló eredményt hozott. A vizsgált hat faanyagtulajdonság közül ötben szignifikáns hatás figyelhető meg, vagyis az értékek alakulása függ a klóntól és a minta radiális irányú elhelyezkedésétől a törzsben.

5.8. táblázat - Lucfenyő klónkísérletből származó mintatörzsek varianciaanalízis eredményei klón, valamint a klón és pozíció kölcsönhatására

Faanyagtulajdonság	Klón hatás	Klón és pozíció ill. évgyűrű együttes hatása
évgyűrűszélesség [mm]	**	**
tracheidahosszúság [mm]	**	**
sejtfal arány [%]	NS	-
mikrofibrillaszög [$^{\circ}$]	**	-
bázissűrűség [kg/m ³]	**	**
térfogati zsugorodás [%]	**	**
permeabilitás [10 ⁻¹⁰ m ³ /m Pa]	**	NS
nyomószilárdság [N/mm ²]	**	**

** szignifikáns 0,01-es valószínűségi szinten

* szignifikáns 0,05-os valószínűségi szinten

NS nem szignifikáns

A fenti eredmények azt is bizonyítják, hogy a lucfenyő esetében a fajtanemesítés jelentős szerepet játszik a faanyagminőség szempontjából.

Annak érdekében, hogy a lucfenyő klónok közül kiválaszthassam azokat, amelyek valamennyi szempontból kedvező tulajdonságokkal rendelkeznek, itt is az erdefenyőhöz hasonló módszert alkalmaztam. Vagyis a Duncan-tesztek alapján (53-59. melléklet) sorbarendezett klónok közül kiválasztottam a legjobb 10-10 klónt, minden egyes mért tulajdonságra vonatkozóan. Ezek után meghatároztam, hogy melyek azok, amelyek a legtöbb tulajdonságnál szerepelnek, azaz a legtöbb szempontból kedvező tulajdonságúnak tekinthetők. Ezek alapján a vizsgált 41 klónból hat klónt választottam ki, melyek ffeldolgozás szempontjából a legjobb tulajdonságokkal rendelkeznek. A hat kiválasztott klón mért átlagértékeit az 5.9. táblázatban foglaltam össze.

5.9. táblázat - A legkedvezőbb tulajdonságokkal rendelkező lucfenyő klónok és mért tulajdonságaik, valamint a teljes vizsgált populáció átlagértékei

Faanyagtulajdonság	Klónok						Populáció átlaga
	'2454'	'25177'	'25194'	'27140'	'28114'	'28396'	
évgűrűszélesség [mm]	3,39	5,24	3,38	3,39	4,1	3,73	4,48
tracheidahosszúság [mm]	2,42	2,09	2,27	2,33	2,16	2,05	2,1
sejtfal arány [%]	70,2	71,6	68,6	70,8	68	73,3	71,4
mikrofibrillaszög [°]	10,6	11,9	16,7	8,4	13,6	12,2	16,7
bázissűrűség [kg/m ³]	330	294,91	330,1	325,99	331,8	317,37	311,3
térfogati zsugorodás [%]	9,53	7,71	8,42	9,01	7,85	7,26	8,39
permeabilitás [10 ⁻¹⁰ m ³ /m Pa]	0,262	1,115	1,907	0,335	1,576	1,272	0,776
nyomószilárdság [N/mm ²]	32,24	26,23	37,01	34,22	33,3	32,68	29,09

A pozíció, ill. az évgűrűnkénti vizsgálatok azt mutatták, hogy a lucfenyőnél a bélkörüli juvenilisfa tulajdonsági nem térnek el jelentősen az érett fáétól.

6. Új módszertani és tudományos eredmények

6.1. Módszertani, mérés technikai eredmények

A gyakorlatban kiemelkedő szerepe van a lucfenyő védőszeres telítésének. A telíthetőség szoros kapcsolatban áll a folyadékáteresztő képességgel. Ez utóbbi vizsgálatokhoz Magyarországon először alakítottam ki mérőrendszert.

A fenyők anatómiai szerkezete és ezzel összefüggésben, a fában a folyadék mozgása lényegesen különbözik a lombosfákban lejátszódó folyamatoktól. A folyadékáteresztési vizsgálatok eredményeként az etilalkohol (C_2H_6O) 80 %-os vizes oldata bizonyult a legjobb áteresztő folyadéknak, mivel kevésbé duzzasztja a faanyagot. A mérések alapján megállapítottam, hogy a lucfenyő átlagos folyadékáteresztési értéke $7,61 \cdot 10^{-6}$ darcy ($0,776 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{Pa} \cdot \text{s}$), ami nagyon alacsony, ez is bizonyítja a lucfenyő nehéz telíthetőségét. Továbbá a klónok közötti vizsgálatok eredményeként bebizonyosodott, hogy a gödörkék aspirációjának mértéke egy törzsön belül is változhat, amely nagymértékben befolyásolja a mérési eredményeket.

A dolgozat keretében elvégzett **mikrofibrillaszög mérés**, amely szintén úttörő jellegű hazánkban, hiszen eddig ilyen vizsgálatok elvégzése nem történt, bebizonyította, hogy a fa szöveti változékonyságából adódó különbségek miatt a klónok közötti eltérések feltárása szinte lehetetlen. A faanyag szövetében történő elváltozások, pl. reakciófa kialakulása, a mikrofibrillák lefutási irányát nagymértékben megváltoztatja, és így már a klónokon belül is nagy változékonyság tapasztalható. A tracheidák sejtfalában elhelyezkedő mikrofibrillák lefutási irányát a „*keresztveződési mező gödörke nyílás irányán alapuló módszerrel*” mértem meg, amely módszer a külföldi kutatók előtt nem ismeretlen. Megállapítottam, hogy ez a módszer nagyszerűen alkalmas a fenyő faanyagban előforduló reakciófa (nyomottfa) meghatározására, amely kimutatása néha nehézkes, mivel előfordulhat, hogy a nyomottfát tartalmazó faanyag semmiféle színváltozást sem mutat. A faipar számára értéktelenebb az a faanyag, amely reakciófát tartalmaz, hiszen műszaki tulajdonságaikat nagymértékben befolyásolja annak jelenléte.

6.2. Új szakmai, tudományos eredmények

A vizsgálatok végzésénél valamint az eredmények értékelésénél a két fafajt kezdetben külön-külön vizsgáltam meg, majd az azonos faanyagtulajdonságok alapján összehasonlítottam. Az erdeifenyő esetében 4 különböző hálózatból történt a mintavétel, szemben a lucfenyővel, ahol egyetlen ültetési hálózat egyedeinek vizsgálatát végeztem el.

Az erdeifenyő esetében arra a következtetésre jutottam, hogy a **faanyag minőségét sokkal nagyobb mértékben befolyásolják a környezeti viszonyok, mint a genetikai jellemzők**. A vizsgált négy hálózat közül a **legjobb faanyagtulajdonságokat a 2x2 hálózat** egyedei produkálták

A **klónok közötti különbségek** feltárására erdeifenyő esetében 3 különböző klón egyedei között végeztem vizsgálatokat, míg a lucfenyőnél 41 klón állt rendelkezésemre. A 3 erdeifenyő klón között statisztikai különbséget csak a mikrofibrillaszög valamint a nyomószilárdság esetében találtam. Összességében azonban megállapítható, hogy fafeldolgozási és papíripari szempontból vizsgálva a **3 klón között nincs különbség**. A lucfenyő esetében 41 klón vizsgálatát végeztem el, a nyolc faanyagtulajdonság közül a sejtfalarány kivételével statisztikailag szignifikáns eltérések adódtak. A **faminőség szempontjából a lucfenyő rendkívül hatásosan befolyásolható fajtanemesítéssel**.

Fafeldolgozási szempontból is megvizsgáltam a lucfenyő klónokat és kiválasztottam a hat **legjobb tulajdonságokkal** rendelkezőt, amelyek nem csak fafeldolgozási szempontok alapján a legjobbak, hanem papíripari célokra is ezek a legmegfelelebbek. A hat klón a következő: '2454', '25177', '25194', '27140', '28114', '28396'.

Az évgyűrűnkénti és pozíció szerinti vizsgálatok azt igazolták, hogy a lucfenyő juvenilisfája alig, ezzel szemben az erdeifenyőé markánsan eltér az érett gesztfu tulajdonságaitól

Az 6.1. táblázatban foglaltam össze a varianciaanalízis eredményeit a két fenyő faanyag között. A kölcsönhatás vizsgálatoknál, ahol a klónok és a pozíció kölcsönhatását vizsgáltam két faanyagtulajdonság esetében véltem felfedezni hasonlóságot, ez a két tulajdonság a tracheidahosszúság és a nyomószilárdság. Az erdeifenyő valamint a lucfenyő esetében is elmondható, hogy a **nemesítők fiatalkori előrejelzésénél fontos figyelembe venni, hogy a különböző klónoknál a növekedésük során a szilárdsági tulajdonságuk, valamint a tracheidahosszúsági értékeik eltérő módon változnak**.

6.1. táblázat - Összehasonlító táblázat lucfenyő és erdeifenyő faanyagok varianciaanalízise alapján

Faanyagtulajdonság	Klón hatása		Klón és pozíció kölcsönhatása	
	erdeifenyő	lucfenyő	erdeifenyő	lucfenyő
évgyűrűszélesség [mm]	NS	**	NS	**
tracheidahosszúság [mm]	NS	**	**	**
sejtfal arány [%]	NS	NS	NS	-
mikrofibrillaszög [°]	*	**	-	-
bázissűrűség [kg/m ³]	NS	**	NS	**
térfogati zsugorodás [%]	NS	**	NS	**
permeabilitás [10 ¹⁰ m ³ /m Pa]	NS	**	-	NS
nyomószilárdság [N/mm ²]	*	**	**	**

** szignifikáns 0,01-es valószínűségi szinten

* szignifikáns 0,05-os valószínűségi szinten

NS nem szignifikáns

7. A dolgozat tézisei

1. A dolgozat keretében elvégzett vizsgálatok eredményeként igazoltam, hogy a vizsgált **erdeifenyő** hálózatok közül (2x2, 8x2, 8x6, 8x16) a 2x2 hálózatban növény egyedek rendelkeznek a legjobb faanyagtulajdonságokkal.
2. Megállapítottam, hogy lucfenyő fajtanemesítés jelentősen befolyásolja a faminőséget a vizsgált 41 **lucfenyő** klón közül kiválasztottam, melyek rendelkeznek fafeldolgozási és papíripari szempontokat figyelembe véve kedvező tulajdonságokkal. Így a következő 6 klón termesztésére tesztek javaslatot: '2454', '25177', '25194', '27140', '28114', '28396'.
3. Megállapítottam, hogy a dolgozatban vizsgált 3 **erdeifenyő** klón esetében a fatest minőségét a fajtanemesítés lényegesen nem befolyásolja. Fafeldolgozási és papíripari szempontokat figyelembe véve, a vizsgált klónok között anatómiai, fizikai és mechanikai tulajdonságok alapján számottevő különbség nincs.
4. A faanyag természetes védelmének növelése a különböző telítési eljárások során, valamint a hidrotermikus kezelésekhez ismernünk kell a faanyag áteresztési tulajdonságait. Hazai viszonyok között először határoztam meg a lucfenyő folyadékáteresztési tulajdonságait. A vizsgálatok eredményeként átlag $7,61 \cdot 10^{-6}$ darcy értéket kaptam az egész populációra, amely bizonyítja a lucfenyő nehéz telíthetőségét.
- 5.1. Magyarországon elsőként határoztam meg az erdeifenyő és lucfenyő faanyag tracheidájának sejtfalában elhelyezkedő mikrofibrillák lefutási irányát a „kereszteződési mező gödörke nyílás irányán alapuló módszerrel”. Megállapítottam, hogy a vizsgált erdeifenyő anyag közel 80%-a nyomott fával rendelkezett.
- 5.2. Javaslatot tesztek a fenyők nyomottfájának kimutatására a mikrofibrillák lefutási irányát meghatározó „kereszteződési mező gödörke nyílás irányán alapuló módszer” használatára, mivel a vizsgálati eredményeim alapján a reakciófa pontos meghatározására megbízhatóan alkalmas.
6. Megállapítottam, hogy a vizsgált hazai származású erdeifenyőnél a „juvenilisfa” 15-17 évgyűrűt foglal magába és a „juvenilis hatás” markánsan tükröződik a fizikai és mechanikai tulajdonságokra. Tehát az erdeifenyő vékonyabb hengeresfa választékai gyengébb műszaki tulajdonságokkal rendelkeznek. A lucfenyő vizsgálatok azt igazolták, hogy a juvenilisfa mindössze 10-12 évgyűrűt foglal magába. A vékonyfalú, korai tracheida állomány miatt a „juvenilis hatás” nem tükröződik a műszaki tulajdonságokon.

8. Irodalomjegyzék

1. Állami Erdészeti Szolgálat (2002), Magyarország erdőállományai, 2001, Budapest
2. Babos K.- Zsombor F. (2002) Néhány nyárfajta faanyagtulajdonságának összefoglaló jellegű ismertetése, Faipar 4: 4-7
3. Babos K.- Filló Z.- Somkuti E. (1979) Haszonfák, Műszaki Könyvkiadó, Budapest
4. Bamber R.K.- Burley J. (1983) The wood properties of radiata pine
In: Butterfield B.G.: Microfibril Angle in Wood, 1997
5. Bánó I.- Retkes J. (1968) Klónjellemező rendellenességek erdeifenyőkön,
Erdészeti Kutatások, 1-3: 135-139
6. Bendtsen B.A. (1978) Properties of wood from improved and intensively
managed trees, For. Prod. J. 28: 61-72
7. Bendtsen B.A.- Senft J.B. (1986) Mechanical and anatomical properties in
individual growth rings of plantation grown eastern cottonwood and
loblolly pine, Wood Fiber Sci. 18: 23-38
8. Booke és Kininmonth (1977) Variation in longitudinal permeability of green
radiata pine wood, New Zealand J. of For. Sci. 8: 295-308
9. Butterfield B.G.- Meylan B.A.- Peszlen I.M. (1997) A fatest háromdimenziós
szerkezete, Faipari Tudományos Alapítvány, Budapest
10. Cave I.D. (1969) The longitudinal Young's modulus of Pinus radiata, Wood Sci.
Techn. 3: 40-48
11. Cave I.D.- Walker J.C.F. (1994) Stiffness of wood in fast grown plantation
softwoods: the influence of microfibril angle, For. Prod. J. 44: 43-48
12. Cave I.D. (1966) Theory of X-ray measurement of microfibril angle in wood, For.
Prod. J. 16: 37-42
13. Chen X.- Hossfeld X. (1964) Effect of viscosity on permeability of Sitka spruce
to aqueous glycerine, Tappi. 47(12):750-752 (idézi: Siau 1984)
14. Cousins W.J. (1972) Measurement of mean microfibril angles of wood tracheids,
Wood Sci & Tech. 6:58
15. Donaldson L.A. (1992) Within- and between tree variation in microfibril angle in
Pinus radiata, New Zealand J. For. Sci. 22:77-88

16. Erdélyi Gy. (1974) A hazai termesztésű fenyők optimális feldolgozási lehetőségei. ERTI Tud. Úlés kiadv. 87-90.
17. Evans, R. (2001): SilviScan: Its Use for Rapid Estimation of Microfibril Angle, Density, and Stiffness in Increment Cores. Conference Paper. Forest product Society 55th Annual Meeting, June 24-27, 2001, Baltimore, Maryland, USA.
18. FAO 1995 Forestry statistics today for tomorrow, Rome
19. Gencsi L. (1973) Az erdeifenyő klónok összehasonlító anatómiai vizsgálata, Erdészeti és Faipari Egyetem tudományos közleményei 3:57-71
20. Gencsi L.- Vancsura R. (1992) Dendrológia, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
21. Halupáné-Grósz Zs.- Mátyás Cs. (1975) Major observetion in examination of characteristics of wood of graft clones os Scotch pine, Erdészeti Kutatások, 71:149-161
22. Harris J.M.- Meylan B.A.(1965) The influence of microfibril angle on longitudinal and tangential shrinkage in *Pinus radiata*, *Holzforschung* 19:144-153
23. Hildebrandt G. (1954) Study of the increment and pure wood content of spruce stand. In: Butterfield B.G.:Microfibril Angel in Wood,1997
24. Huang C.L. (1995) Revealing fibril angle in wood sections by ultrasonic traetment, *Wood and Fiber Sci.* 27:49-54
25. Kellison R.C.- Deal E.- Pearson R.H. (1985) More plantation wood means quality problems, *For. Ind.* 112:24-29
26. Kellogg R.M.- Ifjú G. (1962) Influence of specific gravity and certain other factors on the tensile property of wood. *Forest Products Journal* 12:36-40
27. Koch P. (1972) Utilization of the Southern Pines. US Forest Service Agricultural Handbook, Whasington DC, USA
28. Kovács I. (1979) Faanyagismerettan, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
29. Lewark S. (1979) Wood characteristics in Norway spruce breeding programs. IUFRO Meet Bucharest, Romania
30. Low A.J. (1964) A study of compression wood in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), *Forestry* 37:179-201
31. Mátyás Cs. (1986) Nemesített szaporítóanyag ellátás, Akadémiai Kiadó, Budapest

32. McMillin C.W. (1973) Fibril angle of loblolly pine wood as related to specific gravity, growth rate and distance from the pith, *Wood Sci. Technol* 7:251-255
33. Meylan B.A. (1967) Measurement of microfibril angle by X-ray diffraction, *For. Prod. J.* 17:51-58
34. Meylan B.A. (1968) Cause of high longitudinal shrinkage in wood, *For. Prod. J.* 18:75-78
35. Molnár S. (1995/1) Erdeifenyő, *Magyar Asztalos* 04:72-73
36. Molnár S. (1995/2) Lucfenyő, *Magyar Asztalos* 05:73-74
37. Molnár S. (1999) Faanyagismerettan, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
38. Molnár S. (2001) A világ fagazdasága, fapiaca In: Stark Magdolna: Fakereskedeli és fapiaci ismeretek, Fiaiapri Tudományos Alapítvány, Sopron
39. Norusis M.J. (1993) SPSS for Windows Professional Statistics Release 6.0
40. Olesen P.O. (1977) The interrelation between basic density and ring width of Norway spruce, In: Butterfield B.G.: Microfibril Angel in Wood, 1997
41. Olson R.A., Poletika N.V., Hicoek H.W. (1947) Strength properties of plantation-grown coniferous woods. *Conn. Agri. Expt. Sta. Bull.* 511 (cited by Bendtsen 1978)
42. Orbay L. (1990) A többváltozós regressziószámítások alapjai és fagazdasági alkalmazása, Sopron
43. Paukó A. (1997) Az akác folyadékáteresztő képességének vizsgálata, *Faipar* 3-4:24
44. Pease D.A. (1985) Future timber quality of concern in Canada, *For. Ind.* 112:36-37
45. Pedini M. (1992) The variation in the microfibrillar angle within the juvenile wood of Sitka spruce, *IAWA Bull.* 13:33-44
46. Persson A. (1975) Wood and pulp of Norway spruce and Scots pine at various spacings In: Butterfield B.G.: Microfibril Angel in Wood, 1997
47. Peszlen I. (1993) Influence of site, clone, age and growth rate on wood properties of three *Populus x euramericana* clones. Ph.D. Dissertation in Wood Science and Forest Products. Virginia Polytechnic Institute & state University, Blacksburg, Virginia
48. Peszlen I. (1999) A juvenilisfa jellemzőit és a reakciófa előfordulását befolyásoló tényezők elemzése ültetvények faanyagában, OTKA zárójelentés, Sopron

49. Peszlen I. (2000) A faanyag felépítése sajátosságai. In: Molnár S. Faipari Kézikönyv, Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron, 40-46
50. Pillow M.Y. (1953) Patterns of variation in fibril angles in loblolly pine, In: Butterfield B.G.: Microfibril Angel in Wood, 1997
51. Sauer- Stegmann A. - Kleinschmit J.- Lunderstadt J. (1978) Methoden zur Charakterisierung von Fichtenklonen (*P. abies* K.), *Silvae Genetica* 27.3-4:109-117
52. Scelbourne C.J.- Ritchie K.S. (1968) Relationships between degree of compression wood development and specific gravity and tracheid characteristics in loblolly pine, *Holzforschung* 22:185-190
53. Schimleck, L. R., Evans, R., Ilic, J. & Matheson, A.C. (2001): Near Infrared Spectroscopy: Concepts and Its Application to Estimate Solid Wood Properties. Conference Paper, Forest Products Society 55th Annual Meeting, June 24-27, 2001, Baltimore, Maryland, USA
54. Senft J.F.- Bendtsen B. (1985) Measuring mikrofibrillar angles using light microscopy, *Wood and Fiber Sci.* 17:564-567
55. Shumway R.S. (1971) Relationship of fibril angle to certain factors in plantation-grown red pine, In: Butterfield B.G.: Microfibril Angel in Wood, 1997
56. Siau J.F. (1984) Transport Processes in Wood, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
57. Skaar C. (1988) Wood-water relations, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
58. Smith D.N., Lee E. (1958) The longitudinal permeability of some hardwoods and softwoods, Dep Sci Ind Res For Prod Res Special Report 13, London
59. Szojákné T.K. (2000) Hazai és egzóta haszonfák In: Faipari Kézikönyv I. Faipari Tudományos Alapítvány, Sopron 89-110
60. Thomas R.J. (1985) The characteristics of juvenile wood, Symp Util Chang Wood Res South US North Carolina State Univ Raleigh, North Carolina
61. Timmel T.E. (1986) Compression wood in gymnosperms, Springer-Verlag, Heidelberg
62. Tompa K.- Sziklai O. (1981): Erdészeti növénynevelés, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
63. Újváriné Jármai É. (1980) A lucfenyő nevelése, Kandidátusi értekezés
64. Újváriné Jármai É. (1983) Lucfenyődugvány-klónok növekedése terepi klónkísérletekben, Erdészeti Kutatások, Budapest 29-43

-
65. Újváriné Jármái É. (1984) Karácsonyfa termesztésre alkalmas lucfenyőklónok szelekciója és vegetatív szaporítása, Erdészeti Kutatások, Budapest 21-31
 66. Varga G.- Peszlen I.- Szojákné T.K.- Mátyás Cs. (1998) Ültetési hálózat hatása a nyersanyagminőségre erdeifenyő ültetvényekben, Faipar 1:33-35
 67. Wagenführ R. (1996) Holzatlas, Fachbuch Verlag, Leipzig
 68. Watson A.J.- Dadswell H.E. (1959) Paper making properties of compression wood from *Pinus radiata*, Journal of Pulp and Paper Technology 11:56-70
 69. Wheeler E.A. (1987) Anatomical and biological properties of juvenile wood in conifers and hardwoods, 41st Annual Meeting FPRS Louisville, Kentucky
 70. Wilson J.W.- Ifjú G. (1965) Wood characteristics VII: Intra-increment relationship of Douglas-fir wood density. Pulp Pap Res Inst Can Tech Rep Ser 424 (idézi Zobel & Buijtenen 1989)
 71. Zobel B.J.- Buijtenen J.P. (1989) Wood Variation. Its Causes and Control. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
 72. Walker J.C.F. (1993): Primary Wood Processing. Principle and practice. Co-authors: B.G. Butterfield, J.M. Harris, T.A.G. Langrish, J.M. Uprichard. Chapman & Hall, London - Glasgow - New York - Melbourne - Madras. 595 pp

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom témavezetőmnek Dr. Peszlen Ilona egyetemi tanárnak, aki szakmailag támogatott munkám megírásában; a Faanyagtudományi Intézet intézetvezetőjének Dr. Molnár Sándor professzor úrnak, valamint az intézet minden dolgozójának, akik bármilyen formában is segítettek munkámat. Külön köszönet illeti Dr. Szoják Péternét, aki mind szakmailag mind emberileg mellettem állt és rengeteg segítséget nyújtott.

A munkám során vizsgálatokat végeztem a zólyomi Technical University in Zvolen faanyaglaborában, amelynek lehetőségét Dr. Marian Babiak professzor úr biztosította számomra, ez úton is szeretném megköszönni segítségét.

Köszönetemet szeretném kifejezni családomnak és vőlegényemnek, akik mindenben támogattak és segítettek.

SOPRON, 2003. ÁPRILIS 21.

.....
Paukó Andrea

9. Mellékletek

A mellékletekben használt fontosabb angol kifejezések és rövidítések magyar megfelelői:

<i>mean</i>	számtani közép, minta átlag
<i>R-squared</i>	szórásnégyzet
<i>adjusted R-squared</i>	korrigált szórásnégyzet
<i>std. deviation (standard deviation)</i>	tapasztalati szórás, korrigált empirikus szórás
<i>cv (coeficient of variation)</i>	variációs együttható
<i>df</i>	szabadságfok
<i>mean square</i>	átlag négyzete
<i>F</i>	„F”- próba
<i>Sig.</i>	szignifikancia
<i>N</i>	minta darabszáma