

NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM
FAIPARI MÉRNÖKI KAR

CZIRÁKI JÓZSEF
FAANYAGTUDOMÁNY ÉS TECHNOLÓGIÁK
DOKTORI ISKOLA

Dr. Komán Szabolcs

**Nemesyár-fajták korszerű ipari és
energetikai hasznosítását befolyásoló
faanatómiai és fizikai jellemzők**

Tankönyv

a „Talentum program”-* PhD disszertációk kiadása
támogatásával



UNIVERSITY OF WEST HUNGARY
PRESS

2013

A tankönyv kiadása a Talentum – Hallgatói tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-magyarországi Egyetemen c. TÁMOP 4.2.2. B-10/1-2010-0018 számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Impresszum

Dr. Komán Szabolcs
**Nemesnyár-fajták korszerű ipari és energetikai hasznosítását
befolyásoló faanatómiai és fizikai jellemzők**

Tankönyv
a PhD disszertáció átdolgozott anyaga

Programmegvalósító/Felelős kiadó:
Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar,
Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola
9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky u. 4.

Szakmai vezető:
Prof. Dr. Tolvaj László, Cziráki József Doktori Iskola vezetője

A disszertáció átdolgozása a TALENTUM – Hallgatói
tehetséggondozás feltételrendszerének fejlesztése a Nyugat-
magyarországi Egyetemen c. TÁMOP – 4.2.2. B - 10/1 – 2010 - 0018
számú projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai
Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Kiadvány borítóterve:
Orosz Ferenc

Nyomdai előkészítés, kivitelezés:
PALATIA Nyomda és Kiadó Kft., Győr Viza u. 4.

Minden jog fenntartva, beleértve a sokszorosítást, a mű bővített vagy rövidített kiadásának jogát is. A kiadó írásbeli hozzájárulása nélkül sem a teljes mű, sem annak része semmiféle formában nem sokszorosítható, illetve semmilyen más adathordozó rendszerben nem tárolható.

ISBN 978-963-359-015-7

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék.....	3
1 Bevezetés	5
2 A nyárak jellemzése	6
2.1 <i>Termesztési, nemesítési, erdővédelmi jellemzők.....</i>	6
2.2 <i>Faanyagtudományi és hasznosítási kutatások, gyakorlati eredmények.....</i>	11
2.2.1 Faanatómiai jellemzők	11
2.2.2 Fafizikai és hasznosítási kutatások, gyakorlati eredmények	14
2.2.3 Energetikai célú nemesnyár ültetvények.....	18
2.2.4 Feldolgozási sajátosságok, felhasználási területek.....	23
3 Vizsgálati anyagok és módszerek.....	26
3.1 <i>Felhasznált anyagok.....</i>	26
3.2 <i>Vizsgálati módszerek.....</i>	28
3.2.1 Faanatómiai, fafizikai vizsgálatok.....	28
3.2.2 Energetikai vizsgálatok	31
3.2.3 Szilárdsági vizsgálatok.....	36
4 Az eredmények értékelése	41
4.1 <i>Az anatómiai jellemzők és a faanyag-sűrűség kapcsolata.....</i>	41
4.1.1 Rosthosszúság	41
4.1.2 Évgyűrűnkénti testsűrűség	44
4.1.3 Évgyűrűszélesség	44
4.1.4 Az évgyűrűszélesség, rosthosszúság és a testsűrűség kapcsolata	46
4.1.5 A füstök (libriform rostok) falvastagsága, a kettős sejtfal és lumen aránya	48
4.2 <i>Az életkor szerepe a nyár faanyag energetikai jellemzőit befolyásoló tulajdonságok alakulásában.....</i>	49
4.2.1 Fatest-kéreg arány	49
4.2.2 Testsűrűség, szárazanyagtartalom.....	51

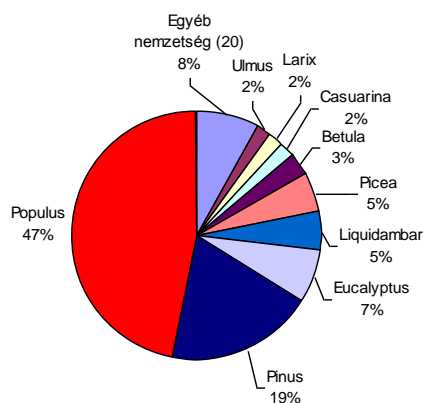
4.2.3	Fűtőérték.....	53
4.2.4	Hamutartalom.....	54
4.2.5	Hamuösszetétel.....	56
4.3	<i>A nyár ággöcsök hatása a faanyag egyes szilárdsági jellemzőire</i>	<i>57</i>
5	Összefoglalás	67
6	További kutatási feladatok.....	72
	Irodalomjegyzék.....	74

1 Bevezetés

A nyárak könnyű, homogén sokoldalúan felhasználható faanyaguk révén egyre növekvő szerepet játszanak a hazai és nemzetközi fagazdaságban. Ezt igazolandó elég megemlíteni, hogy ma a hazai bruttó fakitermelés közel 1/5-e nyárfa, az erdőtelepítésekben pedig 30-40% a nyárások részaránya. E magas arány gyors növekedésüknek, rövid vágásfordulójuknak és jól értékesíthető faanyaguknak köszönhetően az elkövetkezendő években fokozatosan növekedni fog. Ezt segítheti elő a gazdaságosan nem művelhető mezőgazdasági területek erdősítése is.

Mivel az ültetvényszerű fatermesztés elvi és gyakorlati feltételeit leginkább a nyárak elégítik ki, ezért az ültetvényszerűen termeszthető fafajok között ma világszerte a legnépszerűbbek közé tartoznak. A nemesítési, termesztési és hasznosítási kérdéseiket a Nemzetközi Nyárfa Bizottság (International Poplar Commission) koordinálja. Jelentőségüket az is mutatja, hogy 2008-ban megalakult az Európai Parlament által is elismert Pro-Populus nemzetközi non-profit szervezet, amely tevékenységének középpontjában a nyárfa ágazatot érintő stratégiák kidolgozása, összehangolása és megvalósítása áll. Fő célkitűzési között szerepel a hatékony információcserére alapozva a nyárfa alapanyag stratégiai pozicionálása, illetve a nyár fafaj termesztési valamint felhasználási módjainak bemutatása, védelme és képviselése.

Az, hogy mekkora lehetőség rejlik még a nyárakban jól mutatja, hogy világviszonylatban a különböző génmódosításokhoz kapcsolódó kutatások (1. ábra) csaknem fele a főbb fanemzetségeket figyelembe véve a nyárakhoz köthető.

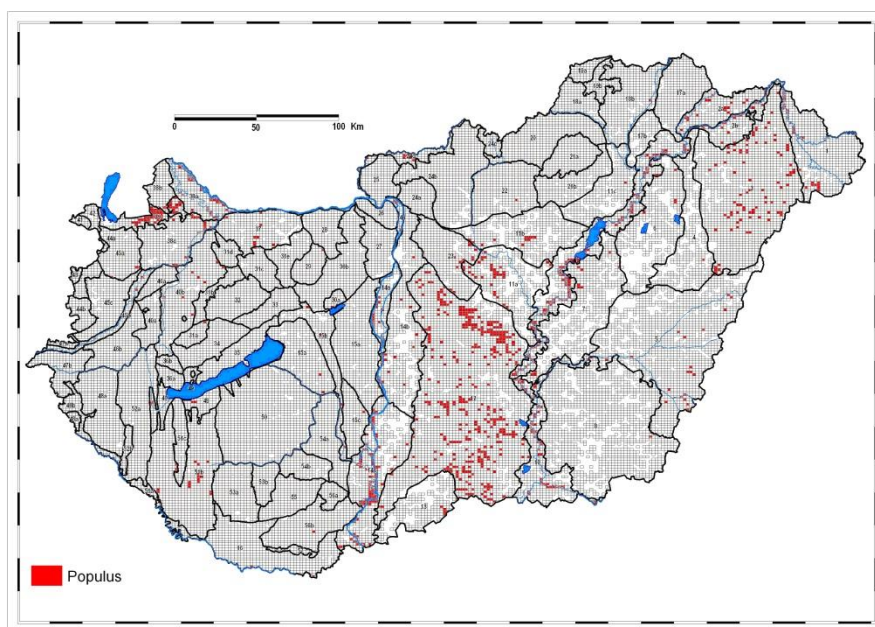


1.ábra Génmódosítási kutatások a főbb nemzetségek viszonyában (Marchadier, Sigaud 2005)

2 A nyárok jellemzése

2.1 Termesztési, nemesítési, erdővédelmi jellemzők

A szomorú trianoni békeszerződés eredményeként hazánk elvesztette erdeinek 84%-át. A Kaán Károly által meghirdetett alföldfásítási programhoz kapcsolódóan az 1920-30-as években megindultak a nyárok termesztésével kapcsolatos kutatások (Koltay 1953). A fásítási program eredményeként 1938-ban már 20 ezer ha-ra becsülhető a nyárasok területe (Keresztesi 1962). A nyárfatermesztés mai (2. ábra) magyarországi helyzetének a kialakulása több, a második világháborút követő nyárfatelepitési programnak az eredménye. Ennek köszönhetően 1968-ra 102 ezer ha, 1981-ben pedig már 167 ezer ha volt a nyárasok területe (Tóth 2006).



2.ábra Nyárok területi eloszlása Magyarországon (NÉBIH)

A kezdeti időszakban még őshonos nyárasok (*P. alba*, *P. x canescens*, *P. nigra*) álltak rendelkezésre, majd az 1930-as évektől kezdődött a telepítése a nemesített fajták közül a *Populus x euramericana* cv. Marilandica ('Korai' nyár), a *Populus x euramericana* cv. Serotina ('Késői' nyár) és a *Populus x euramericana* cv. Robusta ('Óriás' nyár) fajtáknak. Az 1960-as évek végéig

ezeknek a telepítése volt a jellemző (a késői nyár elterjedése kisebb volt a többinél).

Keresztesi B. (1978) vezetésével a múlt század közepén erőteljes nemesítő munka folyt az ERTI kísérleti állomásain. A fajtanemesítés keretében nagyszámú külföldi (olasz, francia, belga stb.) fajta hazai kipróbálása, honosítása mellett, sikeres hazai nemesítések is történtek ('Pannonia', 'Koltay', 'Koepecky'). Az 1966-ban indított mezőgazdasági cellulóznyáras program alkalmával nagy léptékű telepítések valósultak meg a *Populus x euramericana* cv. I-214 (olasz nyár) fajtaival. Ma mintegy 30 államilag minősített nemesnyár fajta és fajtaminősítési bírálóat alatt álló nemesnyár klón áll a termesztők rendelkezésére.

Fontos megjegyezni, hogy a korábban telepített korai, késői és óriás nyárok közel azonos fatechnológiai tulajdonságokkal rendelkeztek, ezért a hazai fafeldolgozásban kialakult egy egységes „nemesnyár” fogalom. Később azonban a fakitermelésben tömegesen megjelent az 'I-214' olasz nyár. Ennek fája 20-25%-al alacsonyabb sűrűségű és szilárdságú, mint a korábbi fajtáké, ami jelentős gondokat okozott a fa- és cellulóziparban egyaránt (Molnár, Bariska 2002). Ennek oka az volt, hogy a különböző nyárfajtákat a termelők és a feldolgozók nem különítették el.

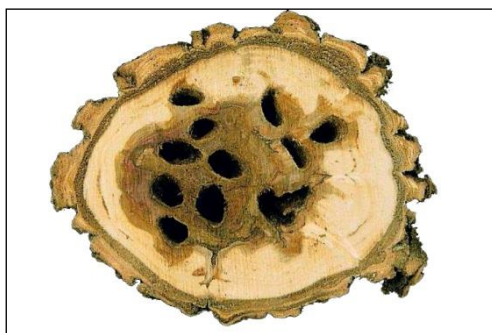
Magyarországon napjainkban fontos szerepet játszik a 'Pannonia', 'I-214', 'Koltay', 'Koepecky', de kiemelkedő termesztési értékük alapján a jövőben nagyobb arányú termesztésre javasolható további nemesnyár fajták: 'Agathe-F', 'BI-Constanzo', 'Triplo', nyárok és várhatóan a 'Raspalje' illetve az 'Unal' balzsamosnyár hibridek is (Tóth, 2006).

Említést érdemelnek még az őshonos nyárok közül kiemelkedő jelentőségű fehér nyár hibridek. Ezek jelentősége egyre nő a száraz homokos termőhelyeken. Az e területen folyó értékes termesztési, nemesítési kísérleteket elsősorban a Duna-Tisza köze szélsőséges termőhelyein végzik (Rédei 1994/a,b,c, 1997). Faanyagtudományi és hasznosítási szempontból a figyelem pedig a „szurkos gesztűség” mérséklésére irányul (Molnár et al. 2002). Igen fontosak azon kutatások is, amelyek a termőhelyi kérdésekkel, az öntözéssel, a szennyvíz és a hígtrágya hasznosítással függnek össze (Halupa, Tóth 1988, Szodfridt 2001, Führer et al. 2003).

A monokultúrákban telepített nyár ültetvényekben jelentős károkat okoznak a gomba és rovar kártevők. Az ilyen irányú kutatások (Szontagh, Tóth 1977, Szontagh 1989) mellett a nemesítésben is fontos szerepet játszik a „rezisztenciára” való nemesítés, vagyis az ellenállóbb fajták létrehozása. Az újabb nemesnyár fajták ültetése és nemesítése tehát segíthet a monokultúrális nyárfatermesztés veszélyének feloldását célzó fajtaváltoztatosság megteremtésében.

A 2011. évi erdőkárok felvételében (Koltay 2011) is megtalálhatóak azok a biotikus károsítók, amelyek a nyárasokban jelentős károkat okoznak. A

faipari feldolgozás szempontjából elsősorban azok a fontosak, amelyek a fatestet is károsítják. Annak ellenére, hogy a fatestben nem okoz elváltozást, jelentős szerepet játszik a nyárasokban a Nyárkéregtetű (*Phloeomyzus passerinii*). Ez gyakran az 5-10 éves nyárfák sima kérgű részén károsít, aminek hatására a kéregrész elhal. A Nyár karcsúdíszbogár (*Agrius suvorovi populneus*) elsősorban a nem megfelelő helyre telepített nyárasok veszélyes kártevője. Az álcák rágásának következményeként egy erősebb szél a fákat derékba törí. A hazai nyárasokon károsítása ritkábban fordul elő. A faipari felhasználás szempontjából különösen káros a Nagy nyárfacincér (*Saperda carcharias*), mivel a törzs műszakilag legértékesebb alsó 1-2 méteres szakaszát furkálja össze (3. ábra), és ennek következtében álgesztetedést is okozhat. A fa belsejében rejtetten él, elsősorban idősebb állományokban, de néha már 3-5 éves telepítésekben is károsít.



3.ábra Nagy nyárfacincér károsítása (Csupor)

Növényegészségügyi szempontból az energetikai faültetvényekre nagyfokú tápanyag-koncentráció, fokozott stressz és korlátozott önszabályozó képesség jellemző. Ez gyakoribb, gyorsabb és súlyosabb lefolyású kártételek formájában nyilvánulhat meg, amely miatt indokolt lehet, elsősorban a rovarok elleni védekezés. A hazai nemesítésű fajták kellő ellenálló képességgel rendelkeznek a gombabetegségekkel szemben, így csak esetenként válhat szükségessé a védekezés. Az ültetvényekben a rovaroknál a kis nyárfacincér (*Saperda populnea*), a bögölyszitkár (*Paranthrene tabaniformis*) és a tarka égerormányos (*Cryptorrhynchus lapathi*), a levélbogarak közül pedig a nagy nyárlevelész (*Melasoma populi*) és a kis nyárlevelész (*Melasoma tremulae*) kártételét kell megemlíteni. A kórokozók közül a kéregfekély (*Cryptodiaporthe populea*), a nyárlevél foltosító gomba (*Drepanopeziza punctiformis*), a rozsdagombák (*Melampsora populina*, *Melampsora salicina*) és a venturia fajok (*Pollacia* sp.) a legjelentősebbek (Borovics et al. 2013).

A Nemzetközi Nyárfa Bizottság (International Poplar Commission) statisztikai és információs anyaga alapján megállapítható, hogy Európa mellett Észak-Amerikában és Ázsiában is megnőtt a nyáraknak, mint ültetvényes fáknak a szerepe (1. táblázat).

1.táblázat A természetes (bal) és ültetvényes (jobb) nyárak területi aránya (IPC 2008)

Ország	Terület (1000 ha)	Ország	Terület (1000 ha)
Kanada	28300	Kína	4300
Oroszország	21500	Franciaország	236
USA	17700	Törökország	125
Kína	3000	Olaszország	119
Franciaország	40	Németország	100
Spanyolország	25	Spanyolország	99
Románia	24	Románia	55
Horvátország	9		
India	9		
Dél-Korea	6		

Az utóbbi években az Európai Unió szintjén is különös figyelmet fordítanak a rövid vágásfordulójú energiaerdőkre és ezen belül a nyárak termesztésére (Aylott et al. 2008, Bunn et al. 2004, Kauter et al. 2003, Mitchell et al. 1999, Pellis et al. 2004). A fajtanemesítéshez kapcsolódóan kiemelt szerepet kapott a *Populus nigra*, amely fajnak a megőrzését az EUFORGEN hálózat és az EUROPOP projektek biztosítják (Van dam, Bordacs 2002).

A fajtanemesítés általában kettős célt szolgál. Egyrészt a nagyobb ellenállóság biztosítását, másrészt a jó minőségű nagyobb fatérfogat nyerését. Európai viszonylatban ilyen szempontból kiemelkedő figyelmet fordítanak a nyárak termesztésére és hasznosítására például Franciaországban, Olaszországban és Belgiumban.

Franciaországban a Nemzeti Mezőgazdasági Kutatóintézet (INRA) valamint az Erdészeti és Cellulózipari Egyesület (AFOCEL) biztosítja a kutatási hátteret a nyárak termesztéséhez és ipari felhasználásához. Ma mintegy 25 klón van köztermesztésben, amelyek közül a leggyakrabban alkalmazottak a *P. x canadensis* taxonok, amelyek közül például a 'Ghoy' és a 'Raspalje' Francia eredetű (Paillassa 2004). Kiemelkedő értékű ültetvények vannak a Loire folyó völgyében és ehhez kapcsolódóan számos rétegeltlemez gyár is működik (Cagelli, Lefevre 1995, Imbert, Lefevre

2003). A fajtanemesítés során különös figyelmet fordítanak a *Melampsora* elleni rezisztenciára (Legionnet et al. 1999, Pinon 1992, Frey, Pinon 1997).

Olaszország hasonlóan kiemelkedő szerepet játszik a nyár fajtanemesítésben, amelynek központja a Pó folyó völgyében található casale monferrato nyárfa kutatóintézet. Az olaszországi nyárnemesítés leghíresebb fajtája az 'I-214' olasz nyár, amely ma is a legszélesebb körben telepített nyár klón világszerte annak ellenére, hogy már 1929-ben szelektálták. Ma mintegy 49 köztermesztésben lévő klónnal rendelkeznek és további nyolc áll elbírálás alatt. Az utóbbi időben nagyobb figyelmet fordítanak a fehérszár hibridekre különösen a biomassa termesztés szempontjából (Bisoffi, Gullberg 1996, Ricciotti et al. 2004, Mareschi et al. 2005).

Belgiumban elsősorban a *P. generosa* taxonra fókuszálva sikerült a nálunk is ismert 'Beaupre' és az 'Unal' klónokat kinemesíteni a 60-as évek vége felé (Steenackers, 1996). Az aktuális honosítási program a *P. nigra*, *P. deltoides*, *P. trichocarpa* és a *P. maximowiczii* fajtákat öleli fel. A Vallón tartományban mintegy 15 ezer, míg Flandriában 20 ezer hektárra tehető a nyárasok területe (Deterck 2013).

Spanyolországban elsősorban a furnér- és a papírgyártás miatt kezdek el a nemesnyárakkal foglalkozni. Az újabb kutatások már a megújuló energiát előállító cégeknek szánt klónok szelektálásával, és az ehhez kapcsolódó vizsgálatokra pl. hamutartalom, fűtőérték terjed ki (Alba et al. 2007, Hernandez et al. 2007, Sixto et al. 2006). A nyárasok csaknem egésze két folyó mentén található meg. A Duero folyónál az összterület 75%-a, míg az Ebronál 20%-a helyezkedik el (Garnica 2013).

A Skandináv államokban a termőhelyi viszonyokkal összhangban elsősorban a rezgőnyár alapú nemesítésekre fókuszálnak. Finnországban a 90-es évek közepe felé lendült fel a nyáarak iránti érdeklődés, amikor is a cellulóz- és papírgyárak fontos szerepet kezdtek tulajdonítani neki rost alapanyagként hosszú távon is. Svédországban elsősorban a megújuló energiaforrások alapanyagaként tekintenek a nyáarakra és ennek a jegyében végzik a nemesítési kísérleteket is. Az elsődleges célpontjuk a biomassa produkció és a megfelelő faanyagminőség előállítása (Christersson 1996, 2006, Rytter 2002, Rytter, Stener 2003).

Déli szomszédjaink közül Horvátország és Szerbia is figyelmet érdemel ezen a területen. Szerbiában a vajdasági Alföldi Erdészeti és Környezetvédelmi Intézet (korábban Nyárfa Kutató Intézet) a központja a nyárhonosításnak, illetve a faanyagok fizikai és anatómiai tulajdonságainak feltárásában is szerepet tölt be (Guzina, Vujovic 1986, Pilipovic et al. 2005). Horvátországban jelenleg 16 államilag minősített *Populus* fajtával találkozhatunk, amelyek között megtalálható a hazánkban nemesített 'Pannonia' is. Elsősorban itt is a rövid vágásfordulójú, nagy tömegű biomassa előállításra alkalmas klónok nemesítése folyik.

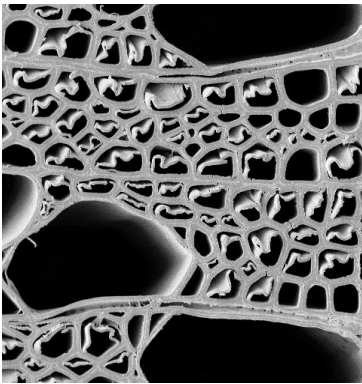
2.2 Faanyagtudományi és hasznosítási kutatások, gyakorlati eredmények

2.2.1 Faanatómiai jellemzők

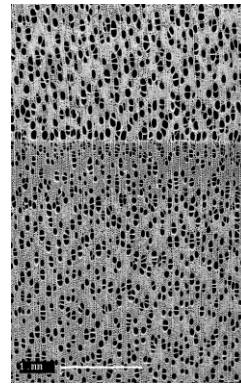
A nyárak anatómiai felépítését (10-11. ábra) az alapvető irodalmak (Gencsi 1973, Wagenführ, Scheiber 1974, Chovonec 1986, Wagenführ 1989, Babos et al. 1979, Molnár et al. 2007) általánosságban jól bemutatják: szórtlikacsú fatest, elmosódott évgyűrűhatár, egy sejt soros bélsugár, vékonyfalú, bőüregű 1-1,3 mm hosszú libriformrostok, gyakori ikeredények, előforduló tiliszesedés.

A fenti irodalmak általános megállapítása, hogy az egyes nyárfajták megbízhatóan nehezen különíthetők el a mikroszkópos szerkezet alapján. Meg kell azonban jegyezni, hogy a világhírű hazai faanatómus Gregus P. (1959) „Az európai lombos fák és cserjék faanatómiája” című német nyelvű könyvében tíz nyárfaj és nyárfajta részletes leírását adja meg, ezért az előző általános megállapítás csak idézőjelesen fogadható el.

Az egyes fajták évgyűrűstruktúrájában is már jelentős eltérések figyelhetők meg. Pl.: a *Populus x euramericana* cv. Robusta (’Óriás’ nyár) esetében a két pászta határozottan elkülönül (a korai pászta edényei nagyobb átmérőjűek), ami általánosságban nem jellemző a nyárakra (5. ábra).



4.ábra ’I-214’ nyár SEM felvétele a libriformrostoknál elváló géles „G” réteggel (Peszlen)



5.ábra Nyár faanyag (’Óriás’ nyár) elektronmikroszkópos felvétele (Bariska)

A faanyag tulajdonságai alapján az idősebb fáknál a geszten belül megkülönböztetnek egy bélkörüli fatestet, az un. juvenilisfát. Az elnevezés nem a fa korára, hanem a bél körül kialakuló fiatal évgyűrűkre utal. Kortól

függetlenül a fa csúcsának közelében, a törzs felső részén mindig képződik juvenilisfa. A fa különböző magasságaiban vizsgált sejtípusok méretei és mennyiségei döntő többségében növekvő tendenciát mutatnak az első években (Huda et al. 2012). Az érett fa és a juvenilisfa tulajdonságai azonban jelentős különbségekkel rendelkeznek, ezért sem beszélhetünk egy fatörzsön belül egységes faszervezetről. A különböző tulajdonságok változásával több publikáció is foglalkozik (Zobel, Bujitenen 1989, Megraw 1985, Koch 1985, Bendtsen 1978, 1986).

Annak ellenére, hogy a juvenilis farészhez kapcsolódó kutatások már a 19. század végén megjelentek (Bary 1884), nagyobb hangsúlyt csak az elmúlt évtizedekben kaptak. Gartner (1996) a juvenilis és az érett fa rész határát az úgynevezett fotoszintetizáló és nem fotoszintetizáló kéreg közötti átmenethez kapcsolja. Egyes kutatók (Yang et al. 1994, Lancitan, Hughes 1973) a kambium kezdeti állapota és a juvenilisfa évgyűrűinek száma között mutattak ki összefüggést. Ezzel ellentétben mások a juvenilis rész beltől való távolságát helyezik előtérbe (Chalk 1959, Dodd, Fox 1991, Kucera 1994).

Az érett fa és juvenilis rész tulajdonságai közötti különbségekből adódóan a két farész határát különböző kémiai és fizikai vizsgálatokkal meg lehet határozni (Latorracai et al. 2011). A libriform rostok és a tracheidák hosszúságának mérése is alkalmas erre a célra, de a sűrűségi és keménységi értékek között (2. táblázat) is lehetnek különbségek (Molnár 2004/a).

2.táblázat A keménység (Brinell-Mörath) változása az akác jellemző részein (u = 12%)

A fatest részeinek megnevezése	Keménység (N/mm ²)			Relatív szórás
	min.	max.	átlag	%
Juvenilisfa	42,6	55,2	48,9	13
Érett geszt	78,9	84,7	81,8	4
Szijács	62,3	83,6	72,9	15

A fiatalabb korban kivágott törzsek nagyobb juvenilisfa hányaddal rendelkeznek, mint az idősebbek. Ez a farész alkalmatlan számos ipari felhasználásra és kedvezőtlen gazdasági szempontokból is az elérő fizikai, mechanikai és kémiai tulajdonságai miatt.

Az anatómiai sajátosságok, rendellenességek tekintetében kiemelkedő Peszlen munkássága (Peszlen 1993, Peszlen, Molnár 1996), aki elsőként hívta fel arra a figyelmet, hogy a nyárasoknál igen gyakori a géles rostú reakciófa (4. ábra) előfordulása. Munkássága kiterjedt az ültetvényes fáknál a juvenilisfa szerepének feltárására is.

A nyárok rendellenes gesztesedésével több irodalom is foglalkozik (Eckstein et al. 1979, Göbölös 1998, Molnár, Bariska 2002). Fűrész- és furnérüzemi tapasztalatok azt igazolják, hogy a színes geszt (6. ábra) két szempontból okoz problémát. Egyrészt a rétegtelmez gyártásnál a nyár borítófurnér amennyiben színes geszt mentes, akkor értéke sokkal nagyobb. Ennek megfelelően a furnéripari nyár alapanyagánál nagyon fontos szempont a geszt (álgeszt) mentesség. Másrészt a fehér nyár hibrideknél előforduló sötét „szurkos geszt” szintén akadályozza a faanyag értékeesebb ipari hasznosítását (pl. bútorelemek, tömör fa panelek, gyufagyártás).



6.ábra 'Pannonia' nyár rendellenes gesztesedése (Bariska)

Az említett irodalmak szerint a gesztesedés részben genetikai, részben termőhelyi és vágáskori összefüggésekre vezethető vissza. Olasz, francia tapasztalatok azt mutatják, hogy a furnéripari alapanyagot célszerű már 13-15 éves korban kitermelni a gesztesedés megelőzése céljából. A fehér nyár hibridek a színtelen gesztű rezgő nyár és a színes gesztű fehér nyár természetes hibridjei. Gazdasági szempontból fontos lenne a színes geszt nélküli előfordulások tudatosabb továbbzaporítása (mikroszaporítás). Sajnos e probléma megoldása így, a nagyobb költségek miatt pénzügyi akadályokba is ütközik.

Egyes kutatások szerint a nyárok rendellenes gesztesedése, károsodása jelentősen összefügg a különböző mechanikai sérülésekkel (Molnár, Schmitt 1994, Fehér 1997, Fehér, Gerencsér 2003). Ilyenek például a vad hántáskárok. Érdekes gyakorlati tapasztalat, hogy a szarvas különösen szereti a nemesített fehérnyár fajtát a 'Villafrancát'.

2.2.2 Fafizikai és hasznosítási kutatások, gyakorlati eredmények

A nyárok műszaki tulajdonságaival kapcsolatos első hazai kutatásokat Pallay (1938) professzor vezetésével a Soproni Egyetem Fatechnológia Tanszékén végezték. Az őshonos nyár fajok mellett a vizsgálatok tárgyát képezték az akkor új fajtáknak számító 'Óriás', 'Korai' és 'Késői' nyárok is. A téma jelentőségét a nemesített nyárfajták fokozatos elterjesztése is indokolta. A későbbiek során az 1960-80-as években a Faipari Kutató Intézet munkatársai folyamatosan foglalkoztak a nyár fajok és fajták vizsgálatával (Babos et al. 1979). Az új fajták és fajtajelöltek tömeges megjelenésével az 1980-90-es években a műszaki tulajdonságok vizsgálata jórészt áttevődött Sopronba a Faanyagtudományi Tanszékére (Molnár in Halupa, Tóth 1988, Peszlen, Molnár 1996, Molnár, Komán in Tóth 2006). E területen értékes munkát végeztek még a Növénynemesítő Intézet és az ELTE kutatói is (Bach 1993, Babos, Zombori 2002, 2003).

A gyakorlatban többnyire különböző fahibával rendelkező faanyagok kerülnek felhasználásra, amelyek az egyes fizikai és mechanikai tulajdonságokat jelentősen torzíthatják. A fahibák közül az egyik leggyakoribb és legfontosabb a göcsösség, amely a faanyag normál szöveti felépítéséhez viszonyítva eltérő szerkezetet eredményez és ezáltal a terhelések hatására is másképp viselkedik. Tovább bonyolítja a problémát az is, hogy több fafajcsoport genetikailag más és más anatómiai felépítéssel rendelkezik. Ennek következtében várhatóan eltérő módon reagálnak a különböző igénybevételekre.

A nyárok különböző szerkezeti célú felhasználását a fahibák közül is elsősorban a göcsösség befolyásolja. A göcsösség szilárdságra gyakorolt hatásainak vizsgálatára például a fenyők és a kőris esetében találhatunk módszereket és eredményeket (Panshin, de Zeeuw 1964, Zhou, Smith 1991, Divós, Tanaka 1997, Falk et al. 2003, Lam et al. 2005). Nem születtek azonban olyan irodalmi közlések, amelyek a nyárok göcsössége és szilárdsági tulajdonságai közötti összefüggéseket vizsgálták volna. E terület azért is fontos, mivel a nyárat méltánytalanul háttérbe szorítják a szerkezeti célú felhasználás terén.

A fentiekén kívül a nyárok műszaki tulajdonságainak vizsgálatával nagyszámú egyéb tanulmány is foglalkozik (Bosshard 1974, Kovács 1978, Koloc 1984, Ugolev 1986, Niemz 1993, Wagenführ 1996, Göbölös 1998, Molnár 2004/b). E munkák egyértelműen igazolják, hogy az alacsony sűrűségű értékekhez alacsony szilárdsági és keménységi értékek kapcsolódnak. Fontos azonban figyelembe venni az egyes nyárfajták faanyagjellemzői között előforduló 20-30 %-os különbségeket is. A

minőségi, igényes fahasznosításban ezért feltétlenül indokolt az egyes fajták határozott elkülönítése.

A szórtlikacsú lombos fákról - így a nyákról is - elterjedt az az általános vélemény, hogy a szélesebb évgyűrű alacsonyabb sűrűséget és ezáltal kisebb szilárdságot eredményez. Ennek az általánosításnak a tisztázása azért is különösen fontos, mivel például a nyárok egyik fő felhasználási területére - a rakodólapgyártásra - vonatkozó MSZ EN 13698-1:2004 számú európai szabvány is kikötést tesz a különböző fafajok felhasználhatóságára. Az előírás szerint a túlevelű fák és a nyárok esetében 10 évgyűrűn mérve az évgyűrűk átlagos szélessége nem haladhatja meg a 7 mm-t, amely ezáltal a nyárok felhasználását erősen korlátozza.

A nyár faanyag tulajdonságainak modifikálásával számos külföldi és hazai kutatás foglalkozik (Sailer ET AL. 2000, Ladner, Halmschlager 2002, Scheiding 2004, Csonkáné 2005, Horváth 2008, Bak et al. 2009, Újvári 2009). Ezek célja a nyár faanyag igényesebb felhasználását gátoló jellegtelen szín, rajzolat, az alacsony tartósság, keménység és szilárdság javítása. Ezeknek a tulajdonságoknak a különböző célú felhasználások számára célzottan történő módosításával végeznek kísérleteket a NymE Faipari Mérnöki Karán is.

Tolvaj (Tolvaj in Molnár 2005) vezetésével gőzölési kísérletek folytak a faanyag színváltoztatása céljából. A gőzölés során bekövetkező színváltozást elsősorban a faanyagban lévő járulékos anyagok kémiai változásai okozzák. A nyár faanyag alig tartalmaz járulékos anyagokat, ezért a gőzöléssel történő színváltoztatásához megfelelő körülményeket kell biztosítani. Ennek ismeretében a nyár gőzölést járulékos anyagokban gazdagabb faanyagokkal (akác és bükk) együtt is elvégezték. A kísérletek során megállapították, hogy a gőz kiold az akác illetve bükk faanyagból olyan színeképző vegyületeket, melyek a gőz segítségével átjutnak a nyár faanyagba, és elszínezik azt. A nyár faanyag akáccal együtt történő gőzölése a nyár jellegtelen szürkésfehér színét kellemes, barnás árnyalatúvá változtatja, tehát a faanyag esztétikai értékét jelentősen növeli.

Az ipari gőzölőkamrákban bükkal való gőzölés során megállapították, hogy a nyár faanyag rajzolata jól láthatóvá vált. A kellemes barnás árnyalat, a szép rajzollattal pedig dekoratív látványt mutat. A vizsgálatok rámutattak, hogy a kevés extrakt anyagot tartalmazó nyár faanyag sikeresen gőzölhető akác vagy bükk faanyaggal együtt, relatíve hosszú gőzölési idővel. A gőzölés a faanyag keménységére, szilárdságára és tartósságára nem volt számottevő hatással. Az esztétikus gőzölt nyár felhasználása elképzelhető beltéri falburkolatoknál, alacsony mechanikai igénybevételű, könnyű bútoroknál (pl. óvodai bútor).

Másik kezelési eljárás a száraz termikus kezelés, amely során a hőbomlás egyik velejárója a faanyagok színének változása, mely lehetővé teszi az

egzóta fajok helyettesítését is. Bourgeois et al. (1991) a színváltozás méréséből próbálták a bomlás fokáról információt szerezni. A kedvező színmódosító hatás segíthet az alacsonyabb értékű nyár faanyagok értéknövelésében. Laborvizsgálatok eredménye alapján a hőkezelt faanyagok a farontó gombákkal szemben ellenállóbbnak mutatkoznak és a folyamatosan végzett kültéri vizsgálatok kezdeti eredményei azt sejtetik, hogy a faanyag természetes tartóssága is növelhető az eljárással (Scheiding 2004). Ezt erősítik meg Horváth (2008) laborvizsgálati eredményei is, amelyek alapján elmondható, hogy a hőkezelésnek kedvező hatása van a gombaállóság javulására, így ez lehetővé teszi az így modifikált nyár faanyagok kültérben való szélesebb körű alkalmazhatóságát. A kezelés negatív hatását is meg kell azonban említeni, mivel a rostirányú nyomószilárdság kivételével a faanyagok szilárdsága a hőbomlás előrehaladtával jelentősen csökken. Niemz (2004) a sejtfalakban bekövetkezett repedések keletkezésére is felhívja a figyelmet, mely az alapanyagok viselkedését erősen befolyásolja.

Korábbi vizsgálatok (Sailer et al. 2000) kimutatták, hogy a gázatmoszférában történt hőkezeléshez képest jobb faanyag tulajdonságokat lehet elérni, ha a hőkezelést növényi olajban végzik (OHT). Minden eljárás alapja, hogy oxigéntől valamilyen módon elzárva történjen a faanyag hőkezelése. Az ilyen irányú kísérletek Németh R. (2012) vezetésével igazolták, hogy a természetes olajokban való termikus kezelés (7. ábra) perspektivikus módszer lehet a nyárak dimenzió-stabilitásának, keménységének és nyomószilárdságának növelésére. Negatívumként jelentkezik azonban az ütő-hajlító szilárdság csökkenése, vagyis a faanyag ridegedése. Az olajban való termikus kezelés további felhasználási területeket nyithat a nyárak előtt (pl. ajtó, ablakgyártás).

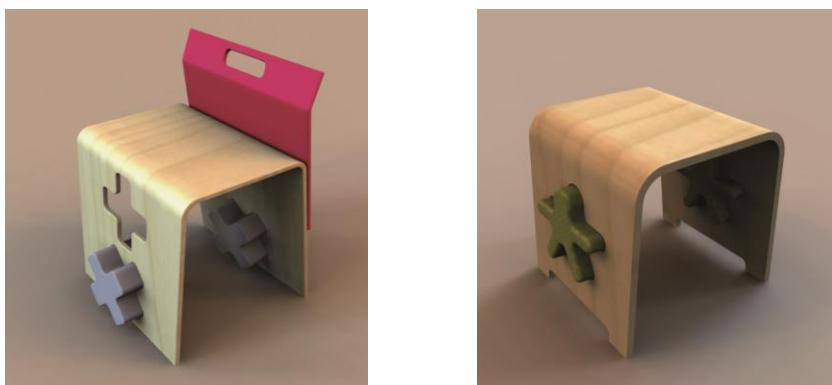


7.ábra Növényi olajban kezelt 'Pannonia' nyár különböző hőmérsékleteken illetve időtartamon (Bak)

A témában folyó további kutatások (Bak 2012, Bak, Németh 2012/a,b, Bak et al. 2012, Horváth et al. 2012, Ábrahám, Németh 2012) alapján megállapítható, hogy a nyár faanyag színe, keménysége és szilárdsága különböző modifikálási módszerekkel, mint pl. gőzöléssel, hidrotermikus

kezeléssel, olajban való főzéssel, tömörítéssel a felhasznált céloknak megfelelően módosítható.

Az alap kutatások eredményeiből kiindulva érdekes termékfejlesztői eredmények születtek a NymE Alkalmazott Művészeti Intézetében. Erre példa a gőzölt nyárfából készített lakossági asztal- és székcsalád (Koós 2008), az óvodai bútorcsalád (Lukács 2007, 8. ábra), az elemes korpuszbútor család (Vajtó 2008) vagy a közületi székcsalád tervezése formapréselt nyár furnér felhasználásával (Vajtó 2008). Ezek a példák is jól érzékeltetik, hogy nyárak faanyagát szélesebb körben is alkalmazhatóvá lehet tenni.



8.ábra Óvodabútor nyár faanyagból (Lukács)

A nyárak termesztésével és hasznosításával összefüggésben végzett nemzeti szintű kutatási programban (Molnár et al. 2008) a legkülönbözőbb felhasználási területek kerültek meghatározásra. E projekt keretében többek között vizsgálták az MDF és HDF farostlemezek gyártását ültetvényes fafajok, köztük különböző korú nyárak felhasználásával (Alpár et al. 2006, 2007). Ezek előzményeként a nyárak forgácslap ipari hasznosítása területén már korábban is folytak nemzetközileg is figyelemre méltó kutatások (Takáts 1978, Winkler 1987).

Gerencsér és Pásztori (2008) új fűrészipari modell technológiákat dolgoztak ki az ültetvényes faanyagok (nyár, akác) optimális feldolgozására.

A nyárak furnér- és rétegeltlemez ipari hasznosítása területén pedig a NymE Fa- és Papíripari Technológiák Intézetében folytatnak különböző - a nyárak szélesebb körű felhasználását elősegítő - kutatásokat (Takáts 1978, Németh et al. 2003, Winkler et al. 2004, Alpár, Rácz 2006). Érdemes felfigyelni arra a tényre is, hogy ma már a bükk és a nyír előtt a nyárak a rétegelt lemezipar legfontosabb fafajai Európában.

2.2.3 Energetikai célú nemesnyár ültetvények

Napjainkban egyre inkább központi kérdéssé válik a természeti erőforrások fenntartható felhasználása. A fejlődés üteme és iránya nem tartható tovább, egy fenntartható pályára kell átállni, amihez elengedhetetlenek a megújuló energiaforrások (Eichhorn 1999, Szendrei 2005). Ennek megfelelően az elmúlt időszakban fokozottan előtérbe kerültek a megújuló energiaforrásokat hasznosító technológiák fejlesztései, ill. az azokkal kapcsolatos kutatások. Különösen szükséges ez Magyarországon, mivel nálunk az energetikai növénytermesztésnek számos akadálya van, mint pl. a nehéz termelői-társadalmi elfogadtatás, a feldolgozó módszerek nehéz beilleszthetősége a meglévő agrártechnológiákba, az átalakítás gyenge energetikai input/output hatékonysága vagy a biomassza hasznosításának nagy beruházási igénye (Kacz, Neményi 1998).

A biológiai eredetű megújuló energiaforrások egyik csoportját az energiaerdők és az energetikai faültetvények képezik (Monoki 2006). Az energiaerdők speciális céllal létesített, vastagabb tűzifát biztosító erdők, míg az energetikai faültetvények vékony faanyagot adó, rövid vágásfordulójú faültetvények.

Felmérések szerint (Führer, Járó in Molnár 2004) mintegy 700 000 ha olyan terület áll rendelkezésre, ahol a növénytermesztés gazdaságossága megkérdőjelezhető. Ezek jelenthetik a bázist az új erdők telepítéséhez. Meg kell azonban jegyezni, hogy a nagy hozamú gazdaságos energetikai ültetvények létesítése nem lehetséges gyenge termőhelyeken. Reálisan 50 000 ha energetikai ültetvény létesítése és fenntartása tervezhető 8-10 éven belül. Az eddigi kísérletek és gyakorlati tapasztalatok azt igazolják, hogy átlagosan 20 m³/ha/év hozammal lehet számolni (nyáráknál 30-40 m³ is elérhető). Az ERTI nagyszámú új nyár, fűz- és akácfaültetvényt állított elő, de megjelentek már az olasz fajta is. Az összes energetikai lehetőség az energetikai ültetvényekből és energiaerdőkből 1 millió m³/év.

Energetikai faültetvényeknél különösen a gyorsan növekvő fafajok (nyár, fűz, akác) jöhetnek szóba (Bai et al. 2002, Führer et al. 2003, Murach et al. 2007). Ennek több oka is van, pl. a nagy szárazanyag-produkció és a jó sarjadzó képesség.

A nyárak szerepe ezért az utóbbi időben megnövekedett az energia célú felhasználásban is. Ennek oka széles termőhelyi skálán való alkalmazhatóságuk, gyors növekedésük és jó sarjadzóképeségük, ami miatt nem szükséges a letermelt ültetvények rendszeres újratelepítése. A nyár ültetvények további előnye, hogy több évtizedes gazdálkodói tapasztalat halmozódott fel velük kapcsolatban, amelyek könnyen adaptálhatók rövid

vágásfordulóval kezelt energetikai faültetvények létesítésére és kezelésére (Borovics 2007).

A vonatkozó hazai jogszabály (71/2007. Korm. rend.) sarjzattatásos és hengeres energetikai faültetvény kategóriákat határoz meg. A sarjzattatásos energetikai faültetvény esetén a vágásforduló nem haladhatja meg az 5 évet, a hengeresé pedig a tizenöt évet (9.ábra).

Mindemellett korábbi, a hasznosításhoz közelebb álló lehatárolást hoz létre a következő csoportosítás, ahol a vágásforduló hossza szerint beszélhetünk:

- mini (1-5 év),
- midi (5-10 év),
- rövid (10-15 év),
- közepes (15-20 év),
- hosszú (20-25 év) vágásfordulójú faültetvényekről.

A sarjzattatásos üzemmódnál a vágásforduló, azaz a betakarításra kerülő állomány kora 1-3 év, maximum 5 év, és az ültetvény üzemeltetési ideje maximum 15 év lehet, míg az újratelepítéses üzemmódnál a maximális vágásforduló 5-15 év (Barkóczy, Ivelics 2008).



9.ábra 2 és 10 éves nemesnyár ('Pannonia') ültetvények (Ivelics)

Bármilyen energianövény termesztése abban az esetben végezhető gazdaságosan, ha a végfelhasználóig tartó teljes termesztési, előállítási

folyamatnak jó az energiamérlege. Az energetikai faültetvény esetében jó ez az arány vagyis viszonylag kevés bevitt energia mellett nagy mennyiségű energia állítható elő.

A szelektált szaporítóanyag felhasználásával létesült, valamint intenzív mezőgazdasági módszerekkel, rövid vágásfordulóban és sarjaztatással kezelt ültetvények jelentős mennyiségű biomassza előállítására képesek. Az ilyen ültetvények évente akár 30-40 élőnedves tonna hektáronkénti hozamra is képesek a hagyományos erdőgazdálkodás 3-4 tonnájával szemben. Az energetikai ültetvényekben megtermelt faapríték kiváló energetikai és égéstechnológiai jellemzőkkel bír, tulajdonságai nagyon hasonlóak az erdőből származó faanyagéhoz (Borovics et al. 2013).

Az energetikai faültetvények SWOT analízisét (3. táblázat) megvizsgálva látszik, hogy a sok erősség és lehetőség mellett, sajnos pár gyengeség is jellemzi őket, viszont veszélyeik száma elhanyagolható. A jövőben az erősségekre támaszkodva, a lehetőségekre építve (és ezeket folyamatosan kutatva), a gyengeségek és veszélyek leküzdésével remélhetőleg egy megfelelően működő, általánosan alkalmazott technológiáról beszélhetünk majd.

3.táblázat Az energetikai faültetvények SWOT analízisének összefoglaló táblázata (Horváth et al 2013)

BELSŐ TÉNYEZŐK, ERŐFORRÁSOK	
ERŐSSÉGEK	GYENGESÉGEK
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Megfelelő minőségű és jelentős mennyiségű terület Magyarországon a fás szárú energetikai ültetvények telepítésére; ➤ Földhasznosítás; ➤ Mindig újratermelhető; ➤ Rentábilis termelés; ➤ Hátrányos termőhelyi adottságok (pl. erodált talaj → akác) esetén is telepíthető; ➤ CO₂ csökkentés, O₂ termelés, pormegkötés, üvegházhatás mérséklése; ➤ Faanyagának elégetése kisebb környezet-szennyezéssel jár, ellentétben a fosszilis szén égetésével; ➤ Erózió, defláció csökkenés; ➤ Saját energiaigény 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Befektetési és járulékos költségek viszonylag magasak; ➤ A faapríték szállítása a vezetéken szállított energiaforrásokkal szemben drágább; ➤ Állami szerepvállalás alacsony szintje; ➤ 50-80 km-es távolságon túli szállítása már kevésbé gazdaságos; ➤ Faanyag tárolásának problémája, magasabb költsége; ➤ Hosszabb megtérülési idő (3-5 év); ➤ Felvevőpiac (logisztikai központ, erőmű, fűtőmű) esetenkénti hiánya; ➤ Jogszabályi rendezetlenség,

<p>megtermelés, ami olcsóbb;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ A nyereség helyben termelődik; ➤ Egyre bővülő tapasztalati háttér; ➤ A kialakult gyökérrendszerrel rendelkező ültetvényekre gyakorolt időjárási és éghajlati hatások kisebb mértékűek, mint a mezőgazdasági ültetvényekre gyakorolt hatás; ➤ Gáz árával folyamatosan mozog (nő) a fa ára, így folyamatosan emelkedő ár és bevétel; ➤ Pozitív hatással van a biodiverzitásra. 	<p>joghézag, hiány;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ A fás szárú ültetvényeken alkalmazott technológiák gépesítésének hiányosságai; ➤ Jogszabályok szükségességének kérdése pl. a hiányos központi nyilvántartások miatt; ➤ Betakarítás szezonálisan, felhasználás egész évben; ➤ Energiasűrűsége alacsonyabb, mint a fosszilis energiahordozóknak; ➤ Nedvességtartalma változó, sokszor magas; ➤ Újabb ismeretek szükségesek a gazdák részéről (eltérő technológia a mg-i kultúráétól), melyek néhol még hiányoznak, illetve hiányosak. ➤ A felhasználást biztosító kazán- és tüzelőberendezés-technológia bonyolultabb és drágább, mint a fosszilis berendezéseknél.
---	---

KÜLSŐ TÉNYEZŐK	
LEHETŐSÉGEK	VESZÉLYEK
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Teljes termékpályát (ültetés, betakarítás, logisztika, felhasználás, energiamérleg) bemutató modellek kialakítása; ➤ Adóbevétel növelése; ➤ Település- és régiófejlesztés; ➤ Javul országunk környezetvédelmi megítélése az EU-ban; ➤ Termesztés, hasznosítás, feldolgozás munkalehetőségei → munkahelyteremtés; ➤ CO₂ stabilizálás, csökkentés; ➤ Helyi nyersanyagbázis hasznosítása, ezzel a 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Negatív ellenérvek (monokultúra, élelmiszer termelés visszaszorulása, stb.), további támadások; ➤ Csökkenő telepítési kedv az értékesítési és fajta-választási kudarc miatt; ➤ Jelenlegi támogatások bizonytalansága; ➤ Felvevőpiac (logisztikai központok, fűtőművek, erőművek) bővülésének hiánya.

<p>decentralizált energiatermelés megteremtése;</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Importfüggőség csökkentése, ezzel az energiaellátás-biztonság növelése; ➤ Egyre több helyen működő biomassza kazán (iskolák, önkormányzatok stb.), ➤ Szaporodó biomassza vagy biomasszát is hasznosító fűtőművek, erőművek; ➤ Piaci kereslet növekedése faapríték tekintetében; ➤ Szaporodó gépfejlesztések; ➤ Fenntartható energiagazdálkodás kialakítása; ➤ Nemzeti és Európai Unió energetikai célkitűzések elérése; ➤ Szemléletformálás, a lakossági környezettudatosság növelése; ➤ Szennyvíziszap, szennyvíziszap-komposzt vegetációs időszakban történő elhelyezése; ➤ Fahamu kihelyezési lehetősége a vegetációs időszakban; ➤ Szennyvízzel történő öntözés a vegetációs időszakban; ➤ Nem-veszélyes mezőgazdasági melléktermékek kihelyezése a vegetációs időszakban; ➤ 2013-2020 között az EU költségvetés által a megújuló energiák felhasználásának támogatása. 	
---	--

Az energetikai hasznosítás szempontjából is fontos a különböző fafajok fatest-kéreg aránya. A kéreg vastagsága függ a fafajtól, a kortól és az ökológiai tényezőktől. Fontosabb fafajaink kéregszázalékát elemezve (4. táblázat) megállapítható, hogy a hazai fakitermelésben döntő szerepet játszó nyárok viszonylag nagy kéreghányaddal rendelkeznek.

4.táblázat A kéreg térfogati aránya %-ban fafajonként a törzsátmérő függvényében (Schopp 1974)

Fafaj	Törzsátmérő cm-ben		
	6-15	16-25	26-
Bükk	7	6	5
Gyertyán	11	9	8
Cser	29	21	16
Kocsányos tölgy	24	19	15
Kocsánytalan tölgy	25	20	16
Erdeifenyő	11	9	10
Korai és kései nyár	18	18	17
Óriás nyár	15	15	15
Hazai nyárák	15	12	14
Akác	28	26	24

Az átmérő mellett a kor is befolyásolja a kéregvastagságot, mert ugyanolyan átmérő mellett a fiatal fának vékonyabb, az idősebb fának vastagabb a kérgé. Mivel jó termőhelyen a törzsek előbb érnek el bizonyos átmérőt, azonos átmérő esetén kisebb kéregvastagságot adnak, mint a rosszabb termőhelyeken.

A különböző faanyagok energetikai hasznosításával foglalkozó számos irodalom elsősorban az ültevények hozamával foglalkozik, amelyet igen sok tényező befolyásol. Elsősorban a termőhely-típus, de ezen kívül a fafaj, fafajta, és a különböző termesztés-technológiához szorosan hozzátartozó tényezők. Fontos azonban az ültevények korának, mint befolyásoló tényezőnek a tisztázása is.

2.2.4 Feldolgozási sajátosságok, felhasználási területek

Az energetikai célú termesztésen kívül a - fenti irodalmak és gyakorlati tapasztalatok tükrében - a nyárák fájának felhasználását az alábbi szakmai területekre lehet csoportosítani:

- rétegeltlemez- és gyufaipari felhasználás
- fűrészipari termékek
- bútór- és épületszerkezeti elemek
- cellulóz-, farostlemez- és forgácslapgyártás

A rétegeltlemez- és gyufaipari felhasználás a hámozott furnérgyártáson alapul. A számításba vehető fajták elsősorban: 'I-214', 'Pannonia', 'Triplo', 'Kopecky', 'Agathe-F', 'Unal', 'Luisa Avanzo', 'Beupré', 'BL', 'Raspalje'.

A feldolgozni kívánt alapanyagok megfelelő minőségének biztosítása érdekében, a természetessel szemben az alábbi követelményeket kell támasztani:

- kisebb mérvű göcsösség (ezért legalább 6 m magasságig a törzseket nyesni kell)
- álgeszt, geszt mérsékelt mennyiségben (ezért célszerű a fakitermelés korát kb. 15 évre csökkenteni).

A kitermelt nyárrönköket a nagy nedvességtartalmuk miatt 3-4 hónapig védelem nélkül tárolhatják és a hámozás előtt nem szükséges a hidrotermikus kezelés (főzés). A hámozott furnér szárításakor gondot okozhat a geszt és a szíjácsrészek eltérő kezdő nedvességtartalma. A nyár furnérokban elsősorban rétegelt lemezeket gyártanak, amelyek szilárdsága a furnérok tömörítésével fokozható. A nyár és a bükk furnérok kombinációjával együttes préselésével nagy szilárdságú lemezek gyárthatók. A hámozott nyár furnérokat felhasználják a lécs- és furnérbetétes bútorlapok, sőt a gyümölcs ládák gyártására is, de a hámozási technológia szolgál a gyufagyártás alapjául is. A nyárfa ma a gyufagyártás legfontosabb alapanyaga.

A *fűrészipari feldolgozás* során elsősorban rakodólap, láda, alátétfa, és különböző fűrészárakat készítenek a nyárakból. Ezekhez a termékekhez kivétel nélkül minden nyárfajta felhasználható, az alapanyag pedig feldolgozható szalag-, keret- és körfűrész technológiával egyaránt. A korszerű rakodólapgyártásnál azonban javasolhatók a nagy pontosságot és jó minőségű felületet biztosítható körfűrész technológiák, a ládagyártáshoz pedig a jobb kihozattal eredményező szalagfűrész megoldások.

A jellemző nyár fűrészipari termékek közül a rakodólapelemek gyártása jelenti a legnagyobb volument. A kész rakodólapoknál gondot okozhat a faanyag magas nedvességtartalma (mesterséges szárítási ill., sterilizálási igény). A szárítás kezdeti szakaszában a faanyag könnyen „kérgesedik” (a felszíni réteg erősen kiszárad). Ebben szerepet játszik a geszt és a szíjács eltérő nedvessége, a nyárak ún. „vizes gesztúsége” is.

A nyárak jól fűrészelvek, gyalulhatók, de a felszín könnyen bolyhosodik, szálkásodik. Így a fenyőkhöz viszonyítva (30-40%-al) kisebb előtolással dolgozhatók fel. Egyes kutatások szerint a különböző megmunkálási folyamatoknál a sűrűbb nyár faanyag esetében kedvezőbb minőség tapasztalható (Hernández et al. 2011).

A *bútor és épületszerkezeti* elemek előállítására a szilárdsági követelmények miatt csak a nagyobb sűrűségű fajták (‘Agathe-F’,

'Aprólevelű', 'Beaupré', 'Koltay', 'Pannonia', 'I-273', 'Kopecky', 'Unal') felhasználása javasolható.

A bútortipar elsősorban kárpitos keretek, bútorlapok és egyéb (nem látható) elemek készítéséhez, míg az építőipar ragasztott tartók és tetőszerkezeti elemek (pl. szarufa) gyártására használja fel a jó minőségű nyár alapanyagot. A nyárak ragasztása, felületkezelése általában gond nélkül elvégezhető, de az erősen álgesztes anyagnál (pl. fehéryár) előfordulnak ragasztási rétegelválások.

A szárított nyárfát fatömecikkek (pl. faedények, teknők, cipők) készítésére is előnyösen használják. Különleges értéket képviselnek a csomoros fekete nyárak. Az ilyen dekoratív faanyagot kedvelik a belsőépítészetben és az egyedi bútorok gyártásánál.

A cellulóz-, farostlemez- és forgácslapgyártáshoz felhasználható az összes nyárfajta, de különösen előnyösek az alacsonyabb sűrűségű (vékonyabb sejtfalú) fajták ('I-214', 'Tripló', 'Villafranca', 'Blanc du Poitou', 'Adonis', 'BL', 'I-45/51', 'Sudár').

A hazai farostlemez- (Mohács) és a forgácslapgyártás (Szombathely) pótolhatatlan értékű alapanyagai a különböző nyárfajták, mivel a könnyű nyárfaanyag kisebb energiaszükséglettel aprítható és alacsonyabb sűrűséget biztosít a készlemezeknek.

Másik jelentős mennyiségű nyár alapanyagot feldolgozó iparág a cellulózgyártás. Itt elsősorban félcellulózként (hullámpapír alapanyag), valamint keverék fafajként használják a minőségi papírok gyártására. (Sajnálatosan a dunajvárosi félcellulóz gyártás mára már megszűnt)

A nyárak - az egyre jelentősebb alapkutatói eredményeiknek köszönhetően - ma már olyan felhasználási területeken is megjelentek, amelyeknél korábban nem vették számításba őket. Ennek ékes bizonyítéka a francia Etaples városában létesült sportlétesítményekben történő felhasználásuk. A Transpop program keretében megvalósult fedett lelátó (10. ábra) és tornacsarnok tetőszerkezete új alkalmazási területek lehetőségét vetik fel.



10.ábra Nyárból készült lelátó tetőszerkezete Franciaországban (Mourlan)

3 Vizsgálati anyagok és módszerek

3.1 Felhasznált anyagok

Magyarországon különös jelentősége van a különböző nyárfajtáknak (4. táblázat), mind az erdőgazdálkodásban, mind a fafeldolgozásban. Összességében a hazai- és a nemesnyárok az erdőterület 10,5%-át, az összes fakitermelés 16%-át teszik ki. Külön értékelve a nemesnyár klónokat, azok közel 7%-os területi részaránya, mintegy 15% a bruttó fakitermelés megoszlásában, valamint közel 8%-os részarányú az erdősítésekben (NÉBIH 2012). Ezek az adatok arra utalnak, hogy ezen fafajták jelenlétével, ill. erdőgazdálkodási szerepével folyamatosan számolni kell.

A nyárok által képviselt erdőterület több mint 70%-án 4 fajtából létesült ültetvények találhatók. A 'Pannonia' 36%, az 'I-214' 21%, az 'Agathe F' 9,4%, míg a fokozatosan visszaszoruló 'Óriás nyár' 7%-os részarányal bír. Ugyanezen négy fajtának van csak 5% feletti területaránya a nyáron belül.

Ebben nyilván nagyban közrejátszanak ezen nyárfajták termesztésével szerzett kedvező gyakorlati termesztői tapasztalatok (jó gyökeresedési és megmaradási képesség, kedvező alaki tulajdonságok, kiváló kezdeti növekedési erély, jó tűrőképesség a leggyakoribb nyárfabetegségekkel szemben). A szaporítóanyag-termesztési adatokból egyértelműen kitűnik, hogy az 'Óriás' nyár termesztése a nemesnyárasok telepítésében teljesen visszaszorult; a 'Korai nyár' pedig teljesen eltűnt a termesztésből (viszonylag lassúbb növekedése és egyes betegségek iránt mutatkozó fogékonyága miatt).

Látva a különböző fajták erdőterületeken belüli mennyiségi eloszlását illetve a rendelkezésre álló szaporítóanyagból következő a később telepítendő fajtákra, a vizsgálatokba azok a nyár klónok kerültek bevonásra, amelyek a jövőben a feldolgozóipar számára a legnagyobb mennyiségű faanyagot fogják szolgáltatni. Ezek alapján elsősorban az 'I-214', és a 'Pannonia' valamint a 'Koltay' és a 'Kopecky' fajták kerültek előtérbe.

A kutatási céloknak megfelelően kerültek kidolgozásra az alkalmazott komplex faanatómiai és fafizikai módszercsoportok, amelyek az alábbi 3 csoportban oszthatóak:

- Faanatómiai és fafizikai vizsgálatok (az évgyűrűszélesség és a juvenilisfa szerepének tisztázása)
- Energetikai vizsgálatok (a kor hatása a faenergetikai jellemzőkre)
- Szilárdsági vizsgálatok (a göcsösség szilárdságra gyakorolt hatása)

5.táblázat Nyár fajtaszortiment (Borovics 2008)

Államilag elismert és állami elismerésre bejelentett nemesnyár fajták Magyarországon						
Fajtacsoport (szekció)	<i>Aigerios</i> <i>fekete nyárok</i>		<i>Tacamahaca</i> <i>balzsamos nyárok</i>		Leuce <i>fehér nyárok</i>	
Földrajzi elterjedés	Eurázsia	Észak-Amerika	Észak-Amerika	Kelet-Ázsia	Eurázsia	Észak-Amerika
Fajok	<i>P. nigra</i>	<i>P. deltoides</i>	<i>P. trichocarpa</i> <i>P. balsamifera</i>	<i>P. maximowiczii</i> <i>P. laurifolia</i>	<i>P. alba</i>	<i>P. grandidentata</i>
Fajtaváltozatok, hibridek, fajták, klónok		<i>P. deltoides</i> x <i>P. deltoides</i>	<i>P. maximowiczii</i> x <i>P. trichocarpa</i> : 'Meggylevelű'		<i>P. alba</i> x <i>P. alba</i> : 'Villafarnaca' 'Homoki'	
		<i>P. x euramericana</i> 'Robusta' 'I-214' 'I-273' 'I-154' 'I-45/51' 'Pannonia' 'Kopecky' 'Koltay' 'Parvifol' 'Sudar' 'Agathe F' 'Bl' , 'Blanc du Poitou' 'H-328' 'Luisa' 'Avanzo' 'Rábamenti'			<i>P. nigra</i> cv. 'Italica' x <i>P. berolinesis</i> (<i>P. laurofolia</i> x <i>P. nigra</i> 'Italica') 'Kornik 21'	<i>P. alba</i> x <i>P. grandidentata</i> 'Favorit' 'Sudarlós'
		<i>P. deltoides</i> x <i>P. x euramericana</i> 'Adonis' 'S 298-8' 'Triplo'				
			<i>P. trichocarpa</i> x <i>P. deltoides</i> 'Beaupré' 'Raspelje' 'UNAL'			

3.2 Vizsgálati módszerek

3.2.1 Faanatómiai, fafizikai vizsgálatok

3.2.1.1 Évgyűrűszélesség - testsűrűség mérés

A faipari feldolgozás szempontjából fontos az évgyűrűszélesség és a fizikai mechanikai tulajdonságok kapcsolata. Mivel a természetes faanyagok sűrűsége viszonylag szoros függvénykapcsolatban áll a szilárdsági, rugalmassági jellemzőkkel, így általában elegendő a sűrűség és az évgyűrűszerkezet kapcsolatainak elemzése.

Az évgyűrűszélesség és a sűrűség kapcsolatának megállapításához szükséges mintatörzsek azonos termőhelyről származó, 21 éves 'I-214', 'Pannonia', 'Koltay' és 'Kopecky' fajták voltak.

A mellmagasságban (1,3m) kivágott korongokon a beltől a kéreg felé haladva húzott illetve nyomott irányokban történtek az évgyűrűszélességi mérések. A két irányban mért adatok átlagai szolgáltatták az évgyűrűszélességeket (11. ábra).



11.ábra Évgyűrűszélesség meghatározása

Az évgyűrűszélesség lemérése után évgyűrűnként felszeletelésre kerültek a faanyagok. A sűrűség meghatározásához a tömeg és térfogat ismeretére volt szükség. A tömeg meghatározása Sartorius típusú analitikai mérlegen történt 4 tizedes pontossággal. A térfogat mérése pedig Breuil-féle készülékkel, amely eszközzel higanyba való merítéssel határozható meg a faanyag térfogata. A mérések előtt a faanyag Binder típusú klímaszekrényben került klimatizálásra normál klímán ($t=20^{\circ}\text{C}$, $\varphi=65\%$). A normál sűrűséget az ismert összefüggéssel határozható meg:

$$\rho_n = \frac{m_n}{V_n} \quad [g/cm^3], \text{ ahol}$$

m_n és V_n a normál klímának ($t=20^\circ\text{C}$, $\varphi=65\%$) megfelelő légszáraz állapotú (kb. 12% nettó nedvességtartalmú) faanyag tömege illetve térfogata

A sűrűség meghatározására többféle vizsgálati módszer létezik, amely alapulhat a tömeg és a térfogat mérésén, kizárólag tömegmérésen, de történhet sugárzásos vagy valamilyen más módszerrel is.

A sugárzásos módszerek előnye, hogy az évgyűrűn belüli változásokat is jelzik. Hátrányuk azonban, hogy drága berendezéseket igényelnek. A próbatestekről először röntgenfilmet készítenek, majd az előhívott filmekről densitóméteres elemzést követően egy szoftver segítségével származtathatóak a sűrűség görbék.

Az elektromos fűrők forgácsolás teljesítményszükséglete alapján is meghatározható a sűrűség. Abban az esetben, ha a fűrő egy nagyobb sűrűségű anyagban halad, nagyobb teljesítmény szükséges az előrehaladáshoz, mint kisebb sűrűségű esetén. A készülék a grafikont a fűrőshöz használt teljesítmény és a faanyag sűrűségének kapcsolata alapján veszi fel.

A Pilodyn nevű készülék egy ismert rugóerő hatására egy tű behatolási mélységét méri, amely alapján következtethetünk a sűrűsége. A készülék gyors, olcsó méréseket tesz lehetővé, amellyel a lábon álló fák és beépített faszerkezetek károsodásai is kimutathatóak.

3.2.1.2 Rosthosszúság, juvenilisfa, sejtfalvastagság meghatározása

A rosthosszúság méréséhez a faanyagot Jeffrey-féle (10% HNO_3 és 10% CrO_3 vizes oldata) macerátummal való kezeléssel sejtjeire lehet bontani. Az így előkészített mintában 30-30 ép farost hosszúságának mérésére került sor sztereómikroszkóp és Image-pro Plus 4.0 számítógépes képelemző program segítségével. Az évgyűrűnkénti rosthosszúsági értékeknek a bétől kifelé haladó irányban való növekedéséből lehet következtetni a juvenilisfa határára

A juvenilis rész határának megállapításához a legújabban elfogadott tudományos eredmények alapján a regressziós modellel történt. Ez a módszer a rosthosszúság eloszlását veszi alapul a távolság függvényében (Zhu et al. 2005, Shiokura 1982). A rosthosszúságot a kor függvényében ábrázolva, az eloszlásokra logaritmikus függvény illeszthető. A juvenilis kor határának Shiokura (1982) által megállapított 1% alá eső görbe csökkenést kell alapul venni, amelynek helyességét Csóka (2007) is igazolta.

Mivel a nyár vizsgálatoknál nagy jelentősége miatt az 'I-214' nyárat, mint kontroll fajtát mindig vizsgálják, ezért ezen a klónon kerültek elvégzésre a sejtfalvastagsági mérések elektronmikroszkóp segítségével. A libriform rostok sejtfalvastagságának elemzéséhez egy átlagos sugár mentén 1cm széles csík került kivágásra a nyár korongból (12. ábra). Ezt a mintadarabot kell az évgyűrűk mentén - az évgyűrűszélességtől függően - olyan méretekre felvágni, hogy azok a scanning elektronmikroszkópos (SEM) felvételhez megfeleljenek. A korai - bélkörűli - erőteljesebb növekedési szakaszban a minták 1-2, míg a palásthöz közelebb esők már 3-5 évgyűrűt foglaltak magukba.

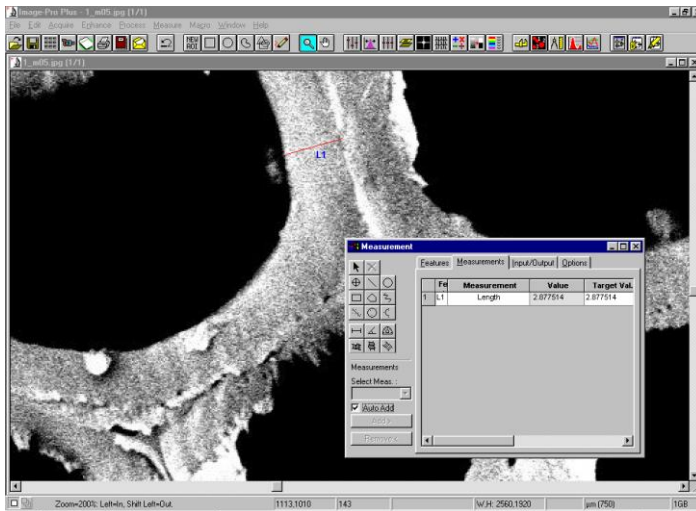


12.ábra SEM-os elemzéshez előkészített 'I-214' nyár minták

Az elemezhető felületek kialakítása mikrotóm metszetvágó készülékkel történt. A faanyagot metszés előtt főzéssel meg kell puhítani, annak érdekében, hogy az könnyebben vágható legyen, mivel a mikroszkóppal akkor kapunk megfelelő minőségű (elemzésre alkalmas) képet, ha a vizsgált felületek oly módon lettek előkészítve, hogy azokon a különböző szöveti elemek nem gyűrődnek össze, nem szakadnak szét.

A jobb minőségű kép elérése érdekében a minták felülete Polaron SC7620 típusú gép segítségével került 'bearanyozásra'.

A SEM segítségével a bélkörűli juvenilis farészről, valamint a palásthöz közeli érett farészről készültek felvételek 750-szeres nagyításban. Az évgyűrűn belül mindkét esetben a korai és a kései pásztákról készített képek elemzése történt meg. Egy-egy felvételen - a minőségtől függően - több libriform rost sejtfalvastagsága került meghatározásra. Az analízis Image-Pro Plus 4.0 képelemző szoftverrel történt (13. ábra).



13.ábra Libriform rostok sejtfalvastagságának mérése Image-Pro Plus 4.0 szoftverrel

A sejtfalvastagsággal egyidőben lemérésre került a libriform rostok lumen átmérője is. A különböző fajok anatómiai jellemzésekor meg szokták adni a kettős sejtfal (2F) és a lumen arányát (L) amelyből következtetni lehet a porozitásra.

3.2.2 Energetikai vizsgálatok

A különböző fajok energianyerés célú felhasználását azok fűtőértéke, hamutartalma, égés jellemzői, a kibocsátott égéstermékek, valamint a hamutartalom kémiai összetevői jelentősen meghatározzák. Az egyes fajok energetikai jellemzőire viszont az adott faj genetikai tulajdonságai, szöveti szerkezete, fizikai és kémiai jellemzői, ill. az állomány kora lehetnek hatással. A fa, mint tüzelőanyag szempontjából a fa tulajdonságai közül négy összetevő az, amely az energetikai hasznosítás tekintetében meghatározó, a sűrűség, a fűtőérték, a nedvességtartalom valamint a hamu mennyisége és összetétele (Tóth et al. 2007).

A vizsgálatok a különböző korú energiatermelésre alkalmas fajokból álló állományok energetikai jellemzőinek meghatározására, továbbá az egyes paraméterek összefüggéseinek kimutatására irányultak. A kutatási célok közül különösen fontos a kor szerepének tisztázása, mivel a vékonyabb, juvenilis faanyagok még kevésbé gesztesednek és anatómiai szerkezetük

sem stabilizálódott. Ugyancsak szükséges a jelentős arányú (12-20%) kéreg energetikai szerepének korrekt tisztázása is.

3.2.2.1 Fatest-kéreg arány

Az energetikai célú ültevények esetében a fűtőértéket befolyásolhatja a geszt, szijács, kéreg aránya a törzsátmérő mentén. Ha ezeknek a szövetrészeknek a fűtőértéke között különbségek vannak, akkor igen fontos ezek százalékos részaránya a törzsön belül. A fűtőérték és hamutartalom vizsgálatához felhasznált mintatörzseken - húzott és nyomott irányokban - kerültek elemzésre a jellemző makroszkópos tulajdonságok. Ezekon belül az átlagos átmérő, a geszt-szijács valamint a kéregarány került meghatározásra százalékosan az átmérőhöz viszonyítva.

3.2.2.2 Fűtőérték

A fűtőérték meghatározása Berthelot-Mahler féle kaloriméterben történt, amelyben a mintákat tablettá formában kell égetni, ezért a vizsgálandó farészből tablettázó présel megfelelő tablettát (1g) kell készíteni.

A mintából tablettázás előtt táramérlegben kell lemérni a szükséges mennyiséget, majd az ebből elkészített tablettá tömegét kell analitikai pontossággal ellenőrizni. Az összeszerelt kaloriméterbombát ezután oxigénnel kell feltölteni.

A mért tömegű mintát oxigénnel töltött kaloriméterbombában elégetve a kaloriméteredényben lévő víz hőmérsékletemelkedését határozzák meg. A kaloriméter hőkapacitásának ismeretében a hőmérséklet emelkedéséből a minta fűtőértéke számítható.

Fajtánként és korosztályonként véletlenszerű mintavételi eljárással 6-6 db átlagos méretű törzs került kiválasztásra a különböző korú állományokban (6. táblázat) a vizsgálatokhoz. A mintatörzsek származási helye a Kisalföldi Erdőgazdaság Dél-hansági Erdészete, ahol az egyes fajták korosztályonként átlagos termőhelyű területekről kerültek kiválasztásra. Minden egyes törzs mellmagassági átmérőjénél (1,3m) történtek a korong kivágások, amelyekből forgácsolással lettek előállítva a mérésekhez szükséges minták. A forgácsok elkészítése kör- illetve szalagfűrészen történt.

6.táblázat A 4 különböző korosztály kialakítása

Fajta	Korosztályok (év)			
	I.	II.	III.	IV.
<i>Populus x euramericana</i> cv. 'I-214'	-	7	10	19
<i>Populus x euramericana</i> cv. 'Pannonia'	4	6	10	19

Az 'I-214' fajtából az I. korosztályhoz kapcsolódó telepítés sajnos nem volt a térségben.

A vizsgálatok az eltérő korosztályú nyárfajták fő farészeire terjedtek ki. Így meghatározásra kerültek külön-külön:

- geszt
- szijács
- kéreg
- együtt a három fő farész jellemzői.

Azoknál a fiatal egyedeknél, amelyeknél a geszt még nem különült el a szijácstól illetve még olyan kicsi volt, hogy a vizsgálatokhoz szükséges mennyiséget nem lehetett belőle előállítani, ott a két fő farész nem került elkülönítésre.

3.2.2.3 Szárazanyagtartalom és testsűrűség

A vizsgált törzsek fűtőértékeinek vizsgálatával párhuzamosan az MSZ 6786-3:1988 szabvány szerint meghatározásra kerültek az alábbi sűrűség típusok is:

- normál sűrűség ($u=12\%$)

$$\rho_n = \frac{m_n}{V_n} \left[g / cm^3 \right], \text{ ahol}$$

m_n és V_n a normál klímának ($t=20^\circ C$, $\varphi=65\%$) megfelelő légszárak állapotú (kb. 12% nettó nedvességtartalmú) faanyag tömege illetve térfogata

- abszolút száraz ($u=0\%$)

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} \quad [g / cm^3], \text{ ahol}$$

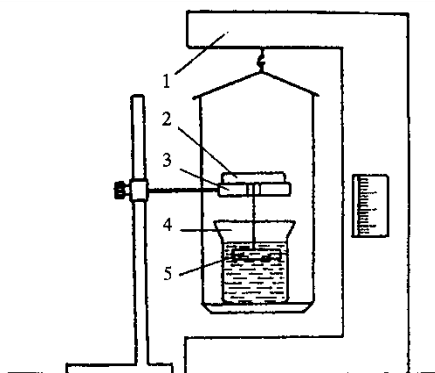
m_0 és V_0 az abszolút száraz állapotra kiszáritott ($u=0\%$) faanyag tömege illetve térfogata.

A fentiekén kívül meghatározásra kerültek még a bázissűrűségi értékek is. Ezt a sűrűség típust „biológiai” sűrűségeknek, vagy „térfogat tömötségi számnak” is nevezik. A bázis sűrűség azt fejezi ki, hogy az élő vagy frissen kitermelt fáknak mennyi a száraz faanyag tartalma. Ennek az értéknek az ismeretében meghatározható a faállományok szárazanyag produkciója:

$$\rho_b = \frac{m_0}{V_{\max}} \quad [g / cm^3], \text{ ahol}$$

m_0 az abszolút száraz ($u=0\%$) fatömeg

V_{\max} az élőnedves, vagy minimum rosttelítettségi határt ($u \sim 30\%$) elérő nedvességű, maximális térfogatú faanyag



14.ábra A bázissűrűség meghatározásához alkalmazott térfogatmérés elvi vázlata (1-mérleg, 2-tű a próbatest függesztésére, 3- konzolos tartó, 4-edény vízzel, 5-próbatest)

A folyadékba való merítéses eljárás lehetőséget ad a szabálytalan alakú próbatestek térfogatmérésére (21. ábra). Ezt kihasználva a különböző korosztályú törzsekből 2-3 cm vastag korongok kerültek kivágásra. Ezeknek a tömeg és térfogatmérése analitikai mérleggel került meghatározásra. A térfogat mérése a korongok vízbe való merítésével történt. A korongok egy mérlegre helyezett vízzel telt edénybe lettek belemerítve úgy, hogy a korongokat egy konzolra erősített tű tartotta a víz alatt. Ennél a felhajtóerő elvén működő mérési módszernél a mérlegről leolvasott érték adta a minta

térfogatát. A próbatestek nedvességtartalma élőnedves (rosttelítettségi határ feletti) volt, tehát a nedvesítés nem okozott térfogati változást.

3.2.2.4 Hamutartalom, hamuösszetétel

A biomassa energetikai hasznosítása során keletkező éghetetlen salak, a nagyobb teljesítményű tüzelőberendezéseknél speciális üzemeltetési gondokat vet fel. Ez egyrészt tüzelőberendezés károsodásával, másrészt a nagy mennyiségben keletkező hamu elhelyezésével kapcsolatos. Ezen problémák elsősorban a tüzelőanyag megtermelése során a talajból a biomasszába beépülő kémiai elemek jelenlétével és azok hatásával magyarázható. A környezetkímélő eltüzelés szempontjából elsősorban a N, Cl és S tartalom érdekes, míg tüzeléstechnikai szempontból – főleg a salaklágyulás és olvadás – az alkáli (Na, K) és alkáli földfémek (Mg, Ca) jelenléte lényeges.

A hamutartalom és a hamuösszetétel meghatározásához abszolút száraz nedvességtartalmi fokozatra szárított forgácsolt mintákat kellett készíteni. A vizsgálatok a fűtőérték meghatározásához elkészített mintákból kerültek ki. A két nemesnyár fajta esetében a II., III, és IV. korosztályoknál az alábbi ásványi anyagok kerültek meghatározásra a három fő farészt (gesz, szijács, kéreg) magába foglaló minták esetében:

- Klór (Cl)
- Kén (S)
- Kálium (K)
- Foszfor (P)
- Kalcium (Ca)
- Magnézium (Mg)
- Vas (Fe)
- Szilícium (Si)
- Nátrium (Na)

A mérési eljárások az alábbi szabványok alkalmazásával történtek:
DIN ISO 11465; DIN 51719 mell, DIN EN ISO 10304-2, DIN ISO 11466, EN ISO 11885.

3.2.3 Szilárdsági vizsgálatok

A szerkezeti faanyag szempontjából a göcsösség a legkedvezőtlenebb fahiba. Az ágnak a törzsben maradó, a fatest által körbezárt részét nevezzük ággöcsnek. A göcsök fája mindig sűrűbb, keményebb, mint az őt körülvevő farészé, az eltérő évgyűrűszerkezet és a rostirány miatt pedig eltérően zsugorodik. A göcsök ezek alapján 'idegen testként' viselkednek a fapalástban. A göcsösség hatása a minősítések alapjául szolgáló hajlítoszilárdság esetében meghatározó szerepű, azonban mértéke a különböző fafajok esetében más és más (7. táblázat).

7.táblázat A göcsösség hatása a statikus hajlítoszilárdságra (Ugolev, 1986)

A göcsök együttes mérete az alkatrész szélességének %-ában	Szilárdság a hibamentes fáéhoz viszonyítva (%)			
	erdeifenyő	tölgy	bükk	nyír
0,1	86	88	92	84
0,2	77	85	72	76
0,3	67	85	65	70
0,4	58	77	56	-
0,5	49	-	47	-

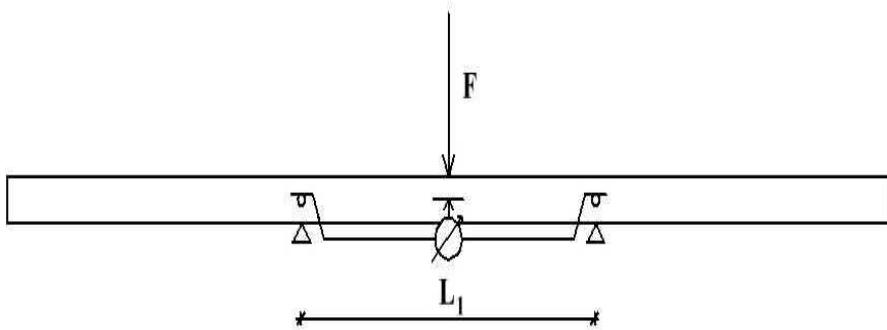
A vizsgálatok több, a hajlítoszilárdságot befolyásoló tényező fontosságát elemezték, mint pl. a rugalmassági modulust, a göcsök hatását. A mérések meghatározták a göcsök, a faanyagban elfoglalt pozíciója alapján kifejtett hatását a hajlítoszilárdságra, továbbá a rugalmassági modulusra.

A vizsgálatokhoz két nemesnyár klón került kiválasztásra, a *Populus x euramaricana* cv. 'I-214' és a *Populus x euramaricana* cv. 'Pannonia'. Az 'I-214' fajta sűrűsége általában nem éri el a 0,380 g/cm³-es határt, de jelentősége a hazai viszonyok között olyan mértékű, hogy nyár vizsgálatoknál, mint kontroll fajtát használni kell. A fenyők közül a vizsgálati anyagnak fafaja az erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.) volt, mivel hazánkban a fenyők élőfakészletének több mint felét ez adja. A két nyárfajta, valamint az erdeifenyő közel hasonló adottságú termőhelyről került kiválasztásra, hogy a külső hatások jelentősége csökkenjen. A hajlító vizsgálatokhoz a próbatestek mérete 1200x140x21 mm volt, ami megfelel a rakodólapok fedőlap elemének. Mivel nem volt lehetőség a minták kiszáritására a próbatestek nettó nedvességtartalma 45%-ra lett beállítva.

Sorozatanként 40-40 darab elem szilárdsági tulajdonságai kerültek meghatározásra.

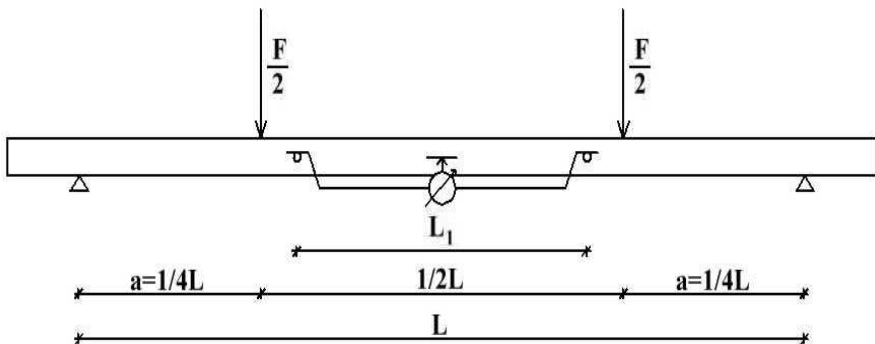
A statikus rugalmassági modulus (MOE_{stat}) méréséhez kétféle módszer alkalmazására került sor, három pontos illetve négy pontos hajlítás (MSZ EN 408:2011).

A 3 pontos hajlításnál (15. ábra) mért rugalmassági modulus (MOE_{stat3p}) értékére hatással van az alátámasztások között ébredő nyíróerő.



15.ábra Három pontos hajlítás mérési elrendezése

A 4 pontos hajlítás (16. ábra) során meghatározásra került rugalmassági modulus (MOE_{stat4p}) értékét már nem befolyásolják a nyíró erők, mivel a két terhelési pont közötti szakaszra ezek már nincsenek hatással.



16.ábra Négy pontos hajlítás mérési elrendezése

A 3 és a 4 pontos hajlítás meghatározása az (1) és a (2) összefüggések alapján történt:

$$MOE_{stat.3p} = \frac{\Delta FL_1^3}{48I\Delta w} \quad (1) \quad MOE_{stat.4p} = \frac{\Delta FaL_1^2}{16I\Delta w} \quad (2)$$

ahol, ΔF : alkalmazott erő, L_1 : alátámasztási köz (1), valamint mérési hossz (2), a : terhelési pont és a legközelebbi alátámasztási pont távolsága, I : inercia nyomaték, Δw : behajlás

A $MOE_{stat.3p}$ és a $MOE_{stat.4p}$ meghatározásával, a 20. és a 21. ábrák mérési elrendezését használva, lehetőség van a nyíró modulus kiszámítására (3):

$$G = \frac{Kh^2}{L_1^2 \left[\frac{1}{MOE_{stat.3p}} - \frac{1}{MOE_{stat.4p}} \right]} \quad (3)$$

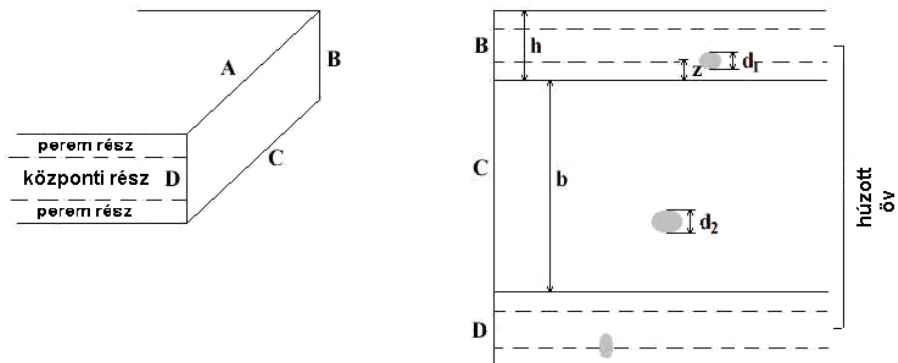
ahol, $K=1,2$ négyszög keresztmetszetű tartóknál, h : a próbatest magassága

A hajlítószilárdság (MOR) meghatározása a négy pontos vizsgálat (24. ábra) segítségével zajlott le, amelynek kiszámítása a (4) összefüggéssel történt:

$$MOR_{4p} = \frac{3F_{max} a}{bh^2} \quad (4)$$

ahol, F_{max} max. törő erő, a : az alátámasztási köz $1/4$ -ed része, b : a próbatest szélessége, h : a próbatest magassága

A göcsösség hatásának vizsgálata a Japanese Agricultural Standard for Structural Softwood Lumber (JAS 1997) előírásai alapján történt, a göcs átmérő arány (KDR) felhasználásával. A göcs átmérő arány kiszámításához több módszer alkalmazható, figyelembe véve a göcsök elhelyezkedését, pozícióját. A kutatás során így meghatározásra került a húzott övben a minta széles oldalán lévő göcs átmérő arány, $KDR_{széles}=d_2/b$, és a húzott öv oldalán, peremén lévő göcs átmérő arány, $KDR_{perem}=d_1/h$ (17. ábra).



17.ábra A göcs átmérő arány meghatározásának paraméterei

A göcsök értékelése során többször előfordult, hogy azok csoportosan helyezkednek el. A csoportok hatásának vizsgálatára a koncentrált göcs átmérő arány (CKDR) szolgál. Egy korábbi vizsgálat (Divos, Tanaka 1997) kimutatta a módosított koncentrált göcs átmérő arány (CKDR_m) fontosságát, amely figyelembe veszi a feszültség eloszlást a faanyagban a terhelés alatt (5).

$$CKDR_m = \sum_{15cm\ rész} KDR_{széles} + KDR_{perem} \left[1 - \left(\frac{2z}{h} \right)^2 \right] \quad (5)$$

A vizsgálatok eredményeinek a kiértékeléséhez a különböző statisztikai módszerek a legalkalmasabbak. A mérési sorozatok adatainak általános jellemzésére a leíró statisztika paramétereinek meghatározására került sor. Az egyes jellemzők közötti eltérések valódiságának a kimutatása, azaz hogy az eltérés lényeges, vagy elhanyagolható, varianciaanalízis (ANOVA) használatával történt. A függvénykapcsolatok, ill. a befolyásoló tényezők hatásának a feltárására, pedig a regresszió analízis alkalmazása a legkézenfekvőbb.

A göcsös anyagok esetében a gyakorlati tapasztalatok arra utalnak, hogy a tönkremenetel a göcsök környezetében, a göcs és a „normál” faanyag határán következik be, mivel a faanyag szöveti szerkezete eltér a göcsétől. Egyes esetekben a két rész nem is kapcsolódik össze. Ennek a vizsgálatára, hogy a göcs és az őt körülvevő szövetek hogyan kapcsolódnak egymáshoz 'Pannonia' nyár és erdeifenyő (*Pinus sylvestris* L.) faanyagokból különböző típusú és méretű göcsöket előkészítése történt a Scanning Elektronmikroszkópos (SEM, 28. ábra) vizsgálatokhoz (18. ábra).



18.ábra Scanning Elektronmikroszkóp

A felületek kialakításához mikrotóm metszetvágó készülékkel történt. A faanyagot metszés előtt főzéssel meg kell puhítani, annak érdekében, hogy az könnyebben vágható legyen. A göcs és a körülötte lévő szövet sűrűségbeli és keménységbeli különbsége miatt a metszéskor nagyon nehéz volt a két részt síkba vágni. A keményebb göcsös rész – főként az erdeifenyő esetében – gyakran kitöredezett. A másik probléma, hogy a SEM felvételekhez a legmegfelelőbbek az alacsony nedvességtartalmú mintadarabok, mivel a megfelelő minőségű felület kialakításához a mintadarabokat meg kellett főzni, ezért ezek nedvességtartalma is jelentősen megnőtt. A metszés utáni szárítás megoldás lehetne, azonban a repedések megjelenése illetve a felület bolyhosodása miatt – elsősorban a nyárnál – ez nem célszerű technológia.

A 'Pannonia' nyár és az erdeifenyő (*Pinus sylvestris L.*) esetében a göcsöt körülvevő faanyag három fő anatómiai irányának megfelelően kerültek kialakításra a mintadarabok, amelyeken a göcsök határfelületéről készültek felvételek.

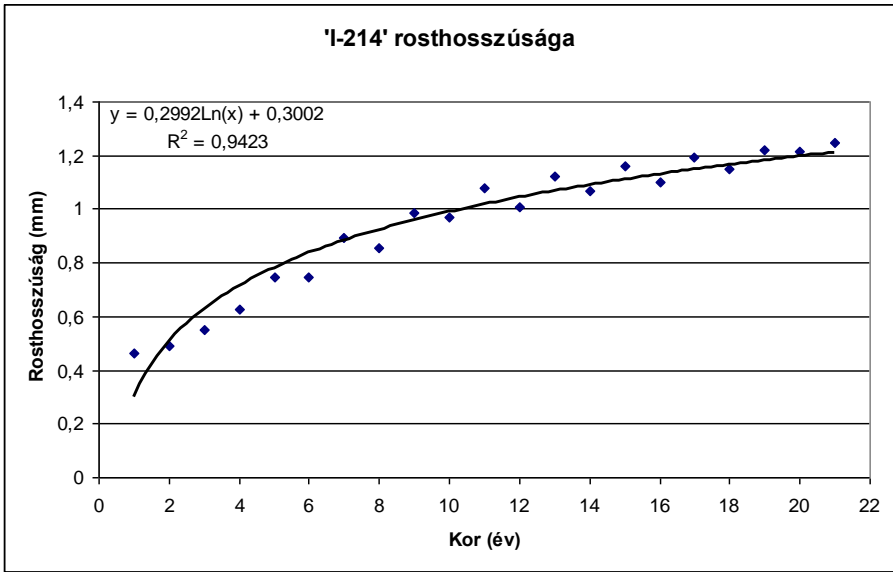
4 Az eredmények értékelése

4.1 Az anatómiai jellemzők és a faanyagúsűrűség kapcsolata

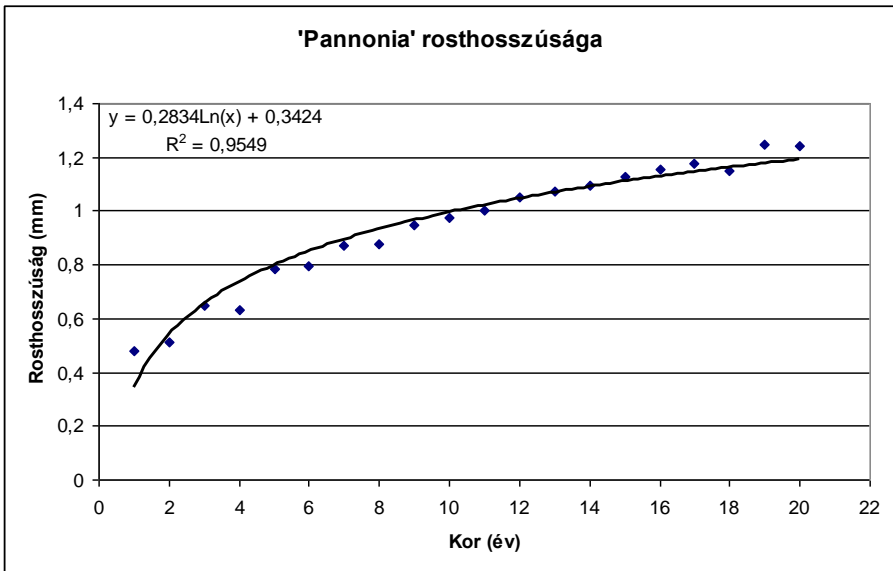
4.1.1 Rosthosszúság

A rostok hosszúsága fontos tényező a faanyag rostipari célból történő felhasználásánál. Így a papír-, a cellulóz- és a farostlemezgyártás szempontjából - amelyek az egyik legfontosabb felhasználási területei a nyár klónoknak - meghatározó jelentőségűek. Ebből a szempontból kedvezőek a minél hosszabb rostok. A nyárfajtáknál 1 mm-nél hosszabb rost már jónak tekinthető, mivel a lombos fák átlagosan 1 mm körüli rosthosszúsággal rendelkeznek. A fenyő fajokra jellemző 3-3,5 mm tracheida (rost) hosszúság egyértelműen előnyösebb a minőségi papírgyártásban.

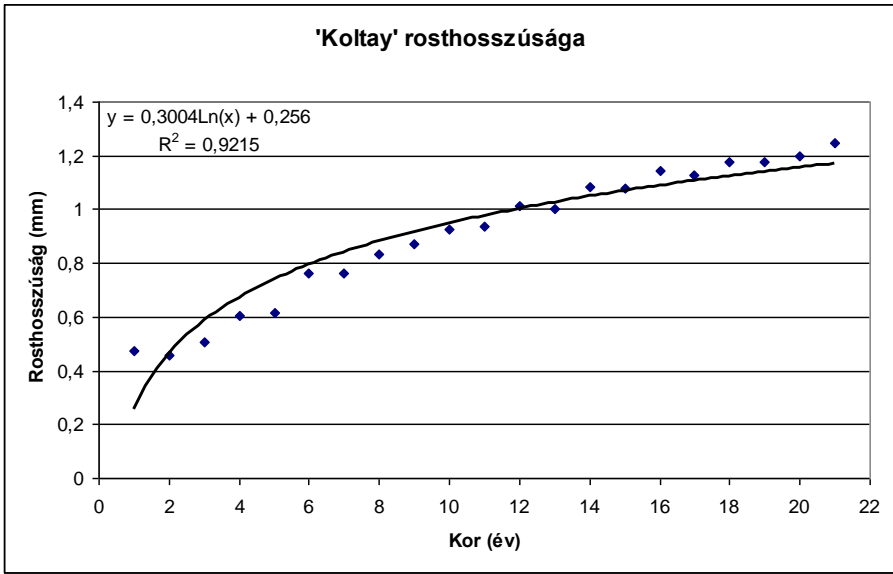
Az 'I-214', 'Pannonia', 'Koltay', és 'Kopecky' fajtára elvégzett rosthosszúsági mérések (19-22. ábra) eredményeiből látható, hogy a kor előrehaladtával a rostok hossza folyamatosan növekszik. A vizsgált rostok fajtától függetlenül nagyjából 0,5 mm-es értéktől indultak és 1,2 mm-ig növekedtek. A kezdeti intenzívebb növekedési szakaszt megálla foglalo néhány évgyűrű után, az 1 mm-es rosthosszúságot 12 év környékén érték el. A négy fajta hasonló értékei azt igazolták, hogy nemesítési célként nem reális a hosszúrostú fajták létrehozásának megjelölése.



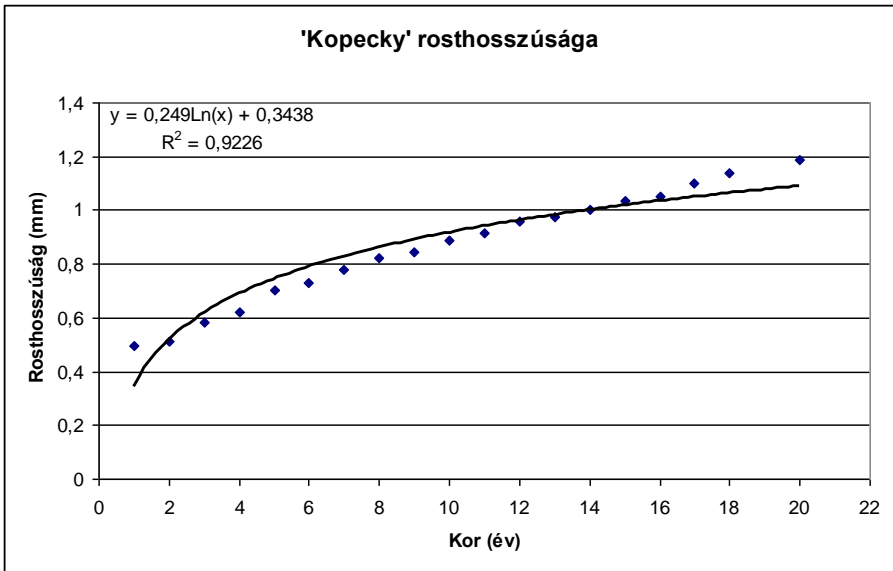
19.ábra 'I-214' nyár rosthosszúsága



20.ábra 'Pannonia' nyár rosthosszúsága



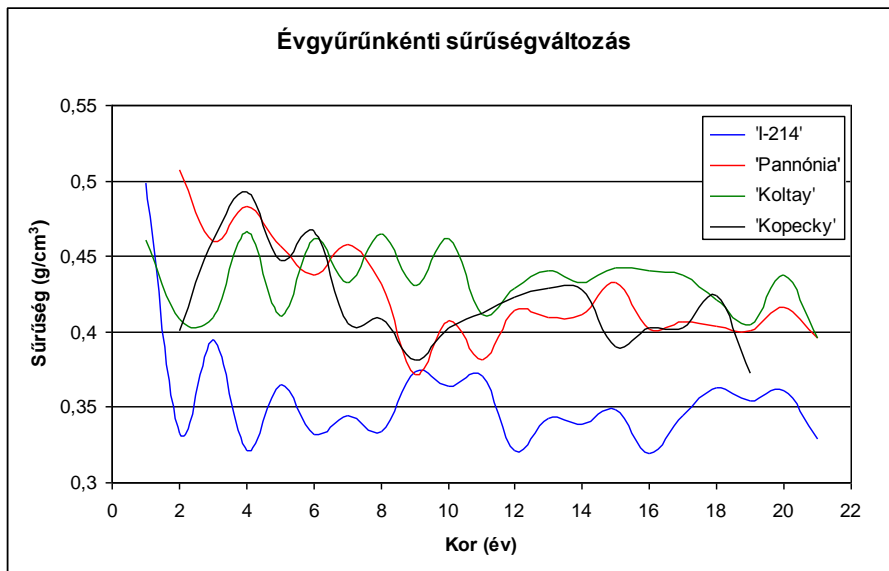
21.ábra 'Koltay' nyár rosthosszúsága



22.ábra 'Kopecky' nyár rosthosszúsága

4.1.2 Évgyűrűnkénti testsűrűség

A sűrűség értékei kisebb változatosságot mutatnak a kor előrehaladtával; hol némileg nőnek, hol csökkennek az előző évgyűrű sűrűségi értékeihez képest (23. ábra).



23.ábra Évgyűrűnkénti sűrűségváltozás

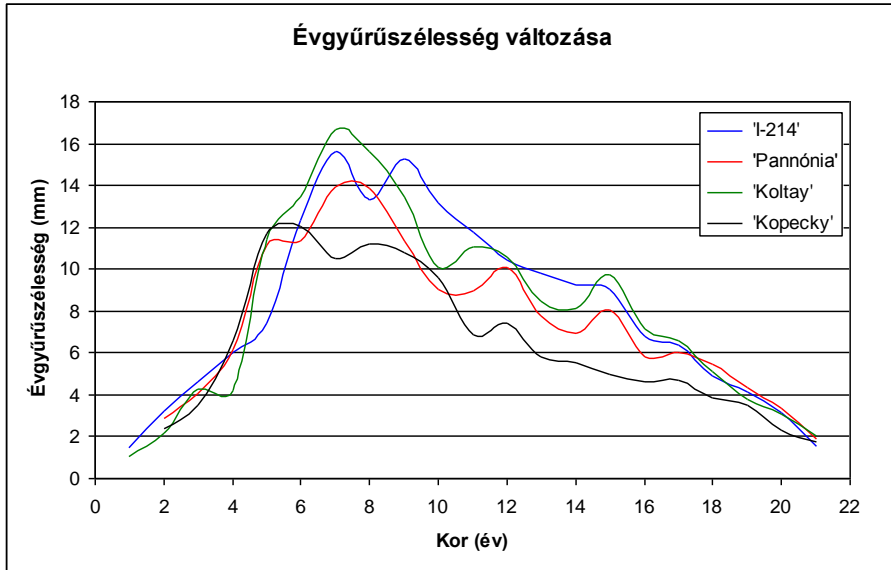
A vizsgált 4 nyárfajta esetében az tapasztalható, hogy az első néhány évgyűrűben a testsűrűség még valamivel nagyobb, mint az átlagos értékek. Ez a kor előrehaladtával fokozatosan csökken, az egymást követő évgyűrűk értékeinek ingadozása ellenére is. Az olasz nyár évgyűrűnkénti adatai mindvégig a többi klóné alatt maradnak. Átlagosan a legkisebb sűrűséggel az 'I-214' rendelkezik 0,35 g/cm³ körüli értékkel, míg a másik három klón nagyjából azonos 0,42 g/cm³-es értéket mutat.

A mérési eredmények regressziós analízise nem vezetett eredményre, ezért az évgyűrűnként mért átlagos sűrűség értékek és a kor között nem lehetett szoros összefüggést megállapítani.

4.1.3 Évgyűrűszélesség

Az évgyűrűszélesség növekedése szempontjából elmondható, hogy a vizsgált fajták a 4-5. évtől kezdődően mutatnak intenzív vastagsági növekedést, ami 10-12 éves kor környékén fejeződik be. A legnagyobb

növedék 7 éves kor környékére tehető. A későbbi években az átlagos évgűrűszélesség fokozatosan, egyenletes mértékben csökken (24. ábra). A kapott eredmények összhangban vannak azon erdészeti kutatásokkal (Tóth 2006), amelyek a 'Pannónia' esetében 12-15, az 'I-214'-nél 10-15, míg a 'Kopecky' klónnál 6-8 éves korra teszik a növekedési ütem mérséklődését.



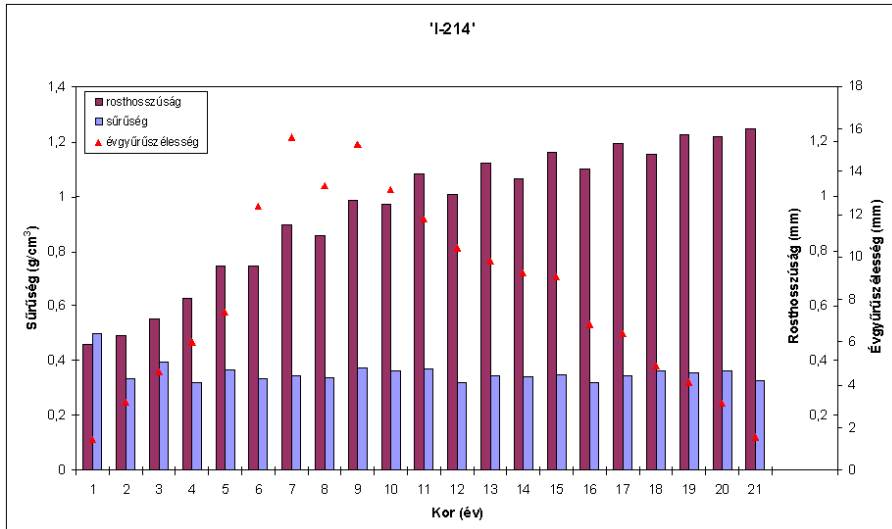
24.ábra Évgűrűszélesség változása

Az eloszlásokra illesztett logaritmusos görbék hasonló tendenciát mutatnak mind a 4 klón esetében. A magas korrelációs értékek alapján a görbék jól jellemzik a növekedési tendenciát. A logaritmusos görbék meredekségének elemzése alapján *a vizsgált nemesnyárok mindegyike még a juvenilis szakaszban van*. Annak ellenére, hogy a rosthosszúság növekedése a kezdeti erőteljes szakasz után fokozatosan lelassul, az illesztett görbe nem mutat 1%-nál kisebb csökkenést. Ez azért is érdekes, mert a fiatalkori fa és az érett fatest határát az irodalmak (Xiaomei et al. 2003, Németh 2006, Taghiyari et al. 2008) a nyárok esetében 10-12 évgűrűre teszik. Vizsgálataim szerint, azonban ez a kor még ennek a kétszeresénél is fennáll.

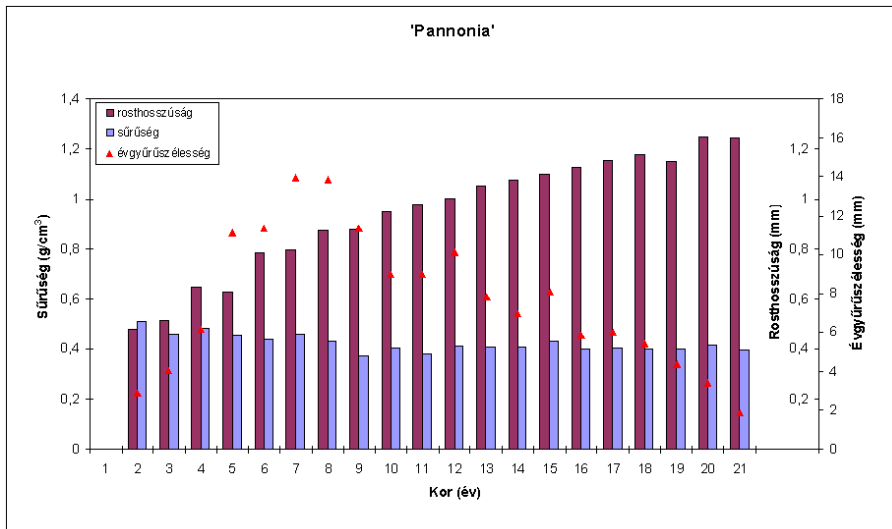
Említést érdemel, hogy a juvenilisfa egy folyamatosan változó szerkezetű fatest. A kambium érésével összhangban permanensen nő a sejtfaalak vastagsága és a rostok hosszúsága. A vizsgálatok is igazolták (28-31. ábra), hogy az első években markánsabbak a változások, az illesztett görbék futása 8-10 éves korig meredekebb. Ugyanezen kezdeti időszakra esik az intenzív vastagsági növekedés is, igen széles évgűrűvel. E szempontok alapján érthető, hogy az említett kutatások 10-12 évben jelölték meg a juvenilis kor határát.

4.1.4 Az évgyűrűszélesség, rosthosszúság és a testsűrűség kapcsolata

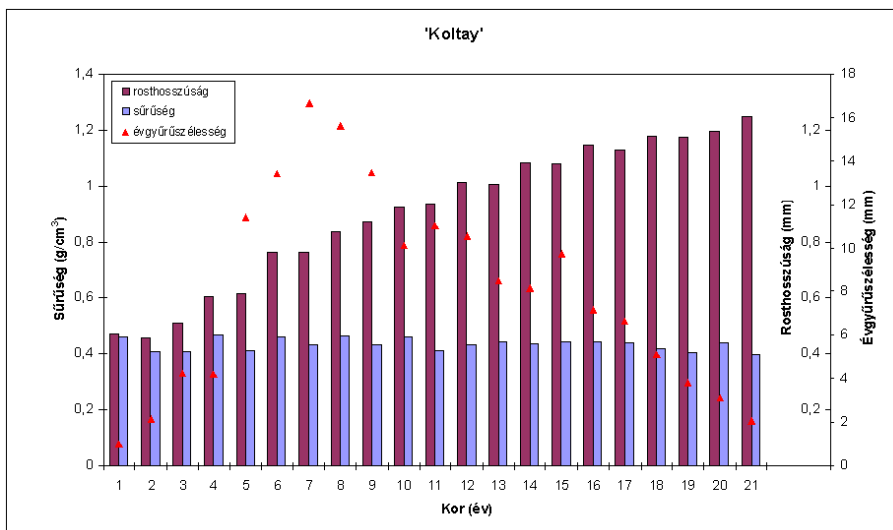
Az azonos termőhelyről származó 4 vizgált klón esetében a rosthosszúság, a sűrűség és az évgyűrűszélesség összefüggései a 25-28. ábrán láthatóak. A grafikus ábrázolás jól érzékelteti a jellemzők változását. Az összefüggés vizsgálatok (regresszió analízis) nem mutattak kapcsolatot.



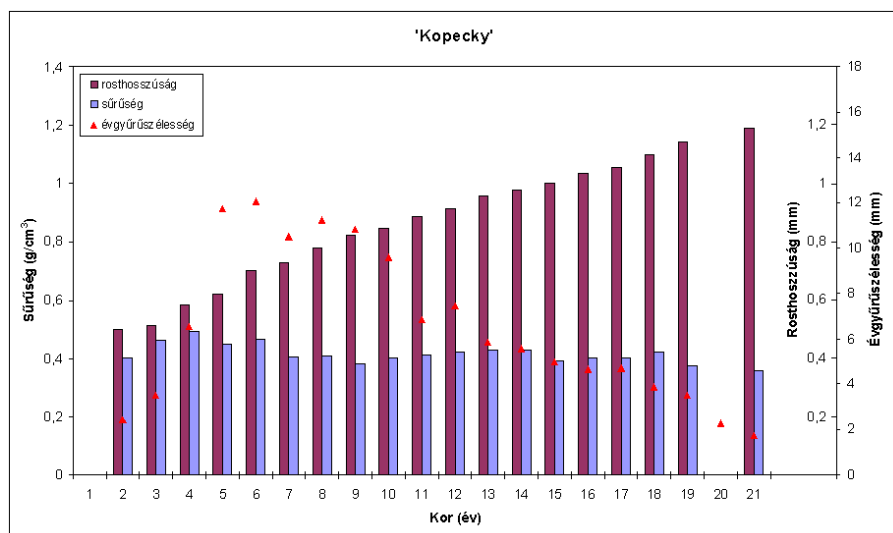
25.ábra Az 'I-214' klón vizsgálati eredményei



26.ábra A 'Pannonia' klón vizsgálati eredményei



27.ábra A 'Koltay' klón vizsgálati eredményei



28.ábra A 'Kopecky' klón vizsgálati eredményei

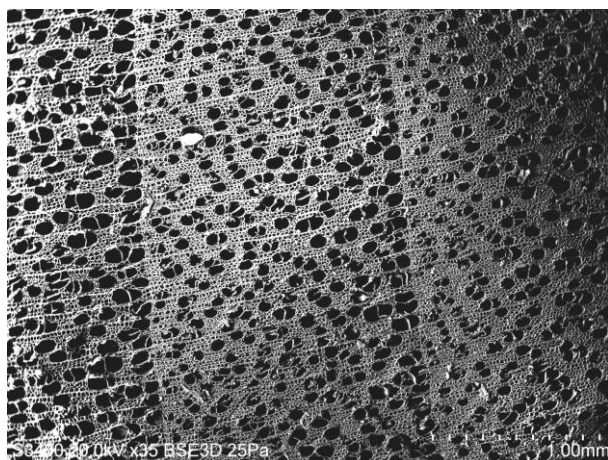
Az évgyűrűszélesség és a sűrűség között általában határozott függvénykapcsolatok a szórtlikacsú fák esetében nincsenek. Így a vizsgált nemesnyár fajtáknál a sűrűség és az évgyűrűszélesség kapcsolatában megállapítható, hogy az erőteljesebb vastagsági növekedéshez nem tartozik egyértelműen kisebb sűrűség. Annak ellenére, hogy az évgyűrűszélesség a kezdeti időszakban fokozatosan növekszik a sűrűség nem követi ezt a

tendenciát. A vastagsági növekedés csökkenése pedig szintén nem eredményezi a sűrűség egyértelmű változását. *Ezeknek a fényében kijelenthető, hogy a szélesebb évgűrű a nyárak esetében nem jár együtt a sűrűség és ezáltal a szilárdság csökkenésével. Szintén kijelenthető, hogy a rosthosszúság fokozatos növekedése sem mutat összefüggést a testsűrűséggel.*

4.1.5 A farostok (libriform rostok) falvastagsága, a kettős sejtfal és lumen aránya

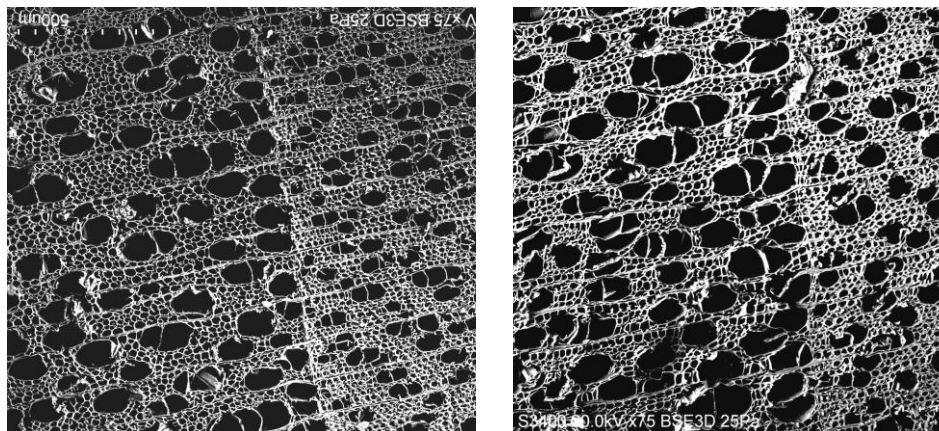
A scanning elektronmikroszkóppal készített kisebb nagyítású felvételeken (29. ábra) jól megfigyelhető volt az 'I-214' nyár évgűrűszerkezete. Az évgűrűhatárok jól kivehetőek, elsősorban a nagyobb üregű, az évgűrűhatáron felsorakozó tracheák tették ezt érzékelhetővé. Az évgűrűn belül szembetűnő volt, hogy a korai pásztaban több és nagyobb üregű edény található, a pászta határát azonban pontosan megállapítani nem lehet.

Az edények közötti területet a szilárdítást biztosító kis átmérőjű farostok (libriform rostok) töltik ki. A SEM-os felvételen kivehetőek még a keskeny (1 sejt sor széles) bélsugarak is. A farostok sejtfalvastagsága, illetve a kétszeres sejtfalvastagság és a sejtüreg (lumen) hányadosa kitüntetett jelentőségűek a faanyag sűrűsége szempontjából. Ennek megfelelően a sejtfalvastagsági méréseket egy évgűrűn belül a korai és a kései pásztaban is elvégeztem. Mivel a pászta határokat megállapítani nem lehet, ezért az évgűrűhöz közeli területekről vettem mintát, amelyek biztosan az adott pásztaból valók.



29.ábra 'I-214' nyár érett fájának keresztmetszeti SEM felvétele

A bél körüli farészben és az idősebb évgyűrűkben is kisebb különbség mutatkozott a sejtfalvastagságok tekintetében a pásztaék között. A kései pászta rostjai közel azonosak vagy átlagosan 0,1-0,3 µm-rel nagyobb falvastagsággal rendelkeztek. A kapott eredmények közel az irodalmaknak (Wagenführ 1996, Babos et al. 1979, Zhongzheng 1982) megfelelő nagyságrendűek voltak. Az ezekben említett 2,5-2,7 µm-es értékeknek a méréseknél inkább az idősebb kori farész rostjai feleltek meg, ezek átlaga 2,5 µm körül alakult. A közvetlen bél körüli részben valamivel vékonyabb falú (1,9-2,2 µm) libriform rostok voltak mérhetőek.



30.ábra 'I-214' nyár bélkörüli (bal) és érettebb fájának (jobb) évgyűrűhatára a keresztmetszeten, SEM felvétellel

A vizsgálatok szerint a 18-19 évgyűrűben (érettebb fa) az átlagos kettős sejtfal (2F) és a lumen (L) aránya 0,28 ezzel szemben a bélközeli 1-2. évgyűrűben 0,33. Tehát a porozitást jellemző 2F/L arány szempontjából a bélközeli rész tömöttebbnek bizonyult a kisebb lumenátmérők miatt. (30. ábra). Az érettebb fa nagyobb porozitásához (kisebb sűrűségéhez) némileg hozzájárul az edények 10-15%-kal nagyobb átmérője is.

4.2 Az életkor szerepe a nyár faanyag energetikai jellemzőit befolyásoló tulajdonságok alakulásában

4.2.1 Fatest-kéreg arány

A különböző korban mért átlagos átmérők értékei jól tükrözik a fajtákra jellemző növekedési intenzitást. Az 'I-214' esetében - amelyik az egyik

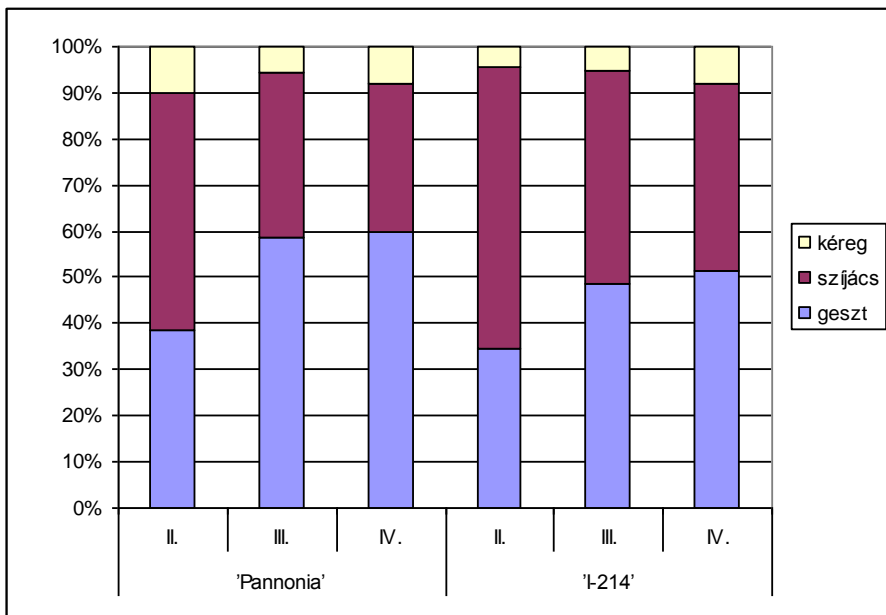
leggyorsabb és legerőteljesebb növekedésű fajta Magyarországon - a kezdeti erőteljes növekedés 10-15 éves korban erőteljesen lelassul vagy megáll. A 'Pannonia' fajtánál a növekedési ütem 12-15 éves korban mérséklődik, majd 18 év környékén le is állhat (Tóth 2006). A vizsgált mintáknál a fiatalabb korosztályban az olasz klóné, a II. és III. korosztálynál azonban már a 'Pannonia' növedéke a nagyobb.

A geszt arány mindkét nyárfajta esetében a kor növekedésével egyre nagyobb részarányú és a legfiatalabb korosztály kivételével megközelíti vagy meghaladja az 50%-ot (8. táblázat). A 'Pannonia' nagyobb geszt aránnyal rendelkezik mindhárom korosztályban, azonban ezt befolyásolhatja a nagyobb törzsátmérő is.

8.táblázat A vizsgált makroszkópos jellemzők

Vizsgált jellemzők	'Pannonia'			'I-214'		
	II. (6 év)	III. (10 év)	IV. (19 év)	II. (7 év)	III. (10 év)	IV. (19 év)
Átlagos átmérő (mm)	117,32	210,56	233,99	159,95	166,29	199,85
Geszt-szíjács vastagsági arány (%)	38,55	58,53	60,02	34,39	48,74	51,38
Kéreg vastagsági arány (%)	10,20	5,49	8,11	4,33	5,39	7,94

A kéregvastagság az 'I-214' esetében a kor előrehaladtával fokozatosan növekszik, ezzel szemben a 'Pannoniánál' az értékek hullámzóak, de csökkenő tendenciát mutatnak. A kéreg arányok a III-as és a IV-es korosztályoknál közel azonosak, a legfiatalabb csoport esetében azonban a 'Pannonia' értéke duplája a másik klónénak (31. ábra). A 'Pannonia' nyár azon tulajdonságát, hogy már fiatal korban durva, parásodott kéreggel rendelkezik, a mérések is igazolták.



31.ábra Átlagos geszt-szíjács és kéregarány

4.2.2 Testsűrűség, szárazanyagtartalom

Az energetikai jellemzők vizsgálatával párhuzamosan meghatározásra kerültek a vizsgált nyár klónok sűrűségi értékei is, amelyeknek az energetikai hasznosítás szempontjából két okból is jelentőségük van:

- egyrészt a faanyag bázis (biológiai) sűrűségének (ρ_b) ismerete közvetlenül lehetővé teszi az adott térfogatú faanyag száraz tömegének meghatározását:

$$\rho_b = \frac{m_0}{V_{\max}} \text{ , [t/m}^3\text{]} \quad \text{ebből következik: } m_0 = V_{\max} \cdot \rho_b \text{ , [t],}$$

ahol, m_0 az abszolút száraz ($u=0\%$) fatömeg [t]

ahol, V_{\max} az élőnedves, vagy minimum rosttelítettségi határt ($u \sim 30\%$) elérő nedvességű, maximális térfogatú faanyag [m^3]

ρ_b bázissűrűség [t/m^3]

Ebből következik, hogy a ρ_b ismeretében meghatározhatjuk a faállományok, ültetvények szárazanyag termelését, vagy a szállított energiafa „átrotonnás” átvételénél visszaszámítható a nedves térfogat. A gyakorlati szakemberek a bázissűrűséget „átrotonna/ m^3 ” tényezőként használják.

- másrészt a faanyag abszolút száraz sűrűségének ismerete lehetővé teszi a fűtőérték fatérfogatra történő átszámítását. E jellemző meghatározása elősegíti a tüzelőberendezés és az anyagmozgatási rendszer megfelelő kialakítását.

A fafajonkénti és korosztályonkénti sűrűségértékek a 9. táblázatban kerültek összegzésre.

9.táblázat Sűrűségi jellemzők [kg/m³]

Fajta	Korosztály	Sűrűség típus			
		Abszolút száraz	Normál (u=12%)		Bázis
			átlag	szórás [%]	
'Pannonia'	I. (4 év)	422	457	3,8	376
	II. (6 év)	423	448	8,4	369
	III. (10 év)	415	439	4,1	361
	IV. (19 év)	443	469	7,2	386
'I-214'	II. (7 év)	342	362	6,9	298
	III. (10 év)	322	340	2,9	280
	IV. (19 év)	369	390	10,0	321

A vizsgált nyárfajták sűrűségei a különböző irodalmakban megtalálható értékeknek megfelelő nagyságrendet mutattak. A két fajta közötti 20-30%-os különbség is azt támasztja alá, hogy a nyárfajtákat a felhasználás során nem szabad azonos minőségű alapanyagként tekinteni.

A fajtákon belüli különböző korosztályok sűrűség értékei azt mutatják, hogy a vékony sejtfalú nyáráknál az ültetvény kora nincs számottevő hatással a faanyag sűrűségére. Mind a 'Pannonia', mind az 'I-214' nyár esetében elmondható, hogy a kor előrehaladtával nem lehet egyértelmű tendenciát megállapítani a sűrűség változásában. Ezen szabványos vizsgálat is alátámasztja az évgyűrűnkénti sűrűségmérés eredményeit.

4.2.3 Fűtőérték

Az energetikai jellemzőknek, abszolút száraz értékben a faanyag tömegéhez viszonyított vizsgálata kimutatta, hogy a két nyárfajta között az egész mintára vonatkoztatva lényeges eltérések nincsenek (10. táblázat).

10.táblázat Az égési jellemzők vizsgálata ($u=0\%$)

Fajta	Korosztály	Fűtőérték (MJ/kg)			
		Geszt	Szijács	Kéreg	Összes (G,Sz,K)
'Pannonia'	I. (4 év)	17,92		17,86	18,21
	II. (6 év)	18,96	19,24	17,92	18,91
	III. (10 év)	18,15	18,55	17,68	18,02
	IV. (19 év)	17,68	18,95	18,09	18,57
'1-214'	II. (7 év)	19,04	19,26	18,03	19,09
	III. (10 év)	18,34	18,71	18,44	18,6
	IV. (19 év)	18,82	18,99	18,23	18,91

A geszt esetében mindkét klónnál megfigyelhető, hogy a kor növekedésének függvényében nem állapítható meg egyértelmű tendencia a fűtőérték változására. A két fajta és az azokon belüli korosztályok közötti csekély különbség azt mutatja, hogy a gesztetés nincs érdemi hatással a fűtőértékre.

A szijács esetében is hasonló állapítható meg, mint a gesztnél. Sem a korosztályok sem a két klón közötti különbségek nem jelentősek. A szijács értékei ugyan magasabbak, mint a geszté, azonban nem annyival, hogy ezt valódi különbségként értékelhetnénk.

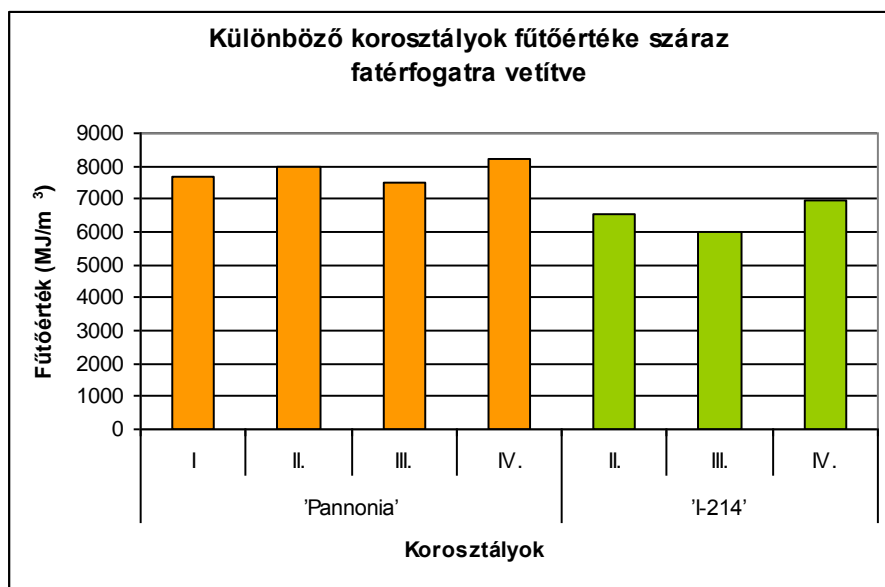
A nyárok kérgének fűtőértékéről általánosságban elmondható, hogy valamivel (1-5%) elmaradnak a fatestétől. A korosztályok illetve a fajták között nincs lényeges különbség. Mivel a fő farészek fűtőértékei közötti különbségek elhanyagolhatóak, ezért a gesztet, szijácsot és kérget is magába foglaló minták esetében sem lehet érdemi eltérést kimutatni a kor illetve a klónok viszonyában.

A fűtőérték vizsgálat eredménye némileg eltér a szakirodalmi adatoktól (Bai et al. 2002, Molnár 2004/a). Átlagosan, a korosztálytól függetlenül a 2-5%-al magasabb értéket mutat és ugyanez mondható el az egyes farészek esetében is. A fenti pozitív eltérések elsősorban az anyagsűrűség, valamint a termőhelyi viszonyok eltéréseiből adódhatnak. A fent említettekből arra

lehet következtetni, hogy a klón, a fajta is meghatározza a fűtőértéket, ha nem is nagymértékben, de befolyásoló hatással lehet rá.

A logisztikai, anyagmozgatási és előkészítési feladatok, valamint a tüzelőberendezések kialakításai egyaránt igénylik, hogy ismereteink legyenek a fatérfogatra eső fűtőérték jellemzőkről. Ennek értékeit az abszolút száraz sűrűség alapján határozhatjuk meg.

Megállapítható, hogy a térfogatra számított fűtőértéket a faanyag sűrűsége jelentősen befolyásolja. Amíg a tömeghez viszonyított fűtőérték esetében a két fajta között nem volt lényeges különbség, addig ugyanezt térfogatra átszámítva már 15-20%-os eltérést láthatunk. A korosztály szerepe - akárcsak a sűrűsénél és a tömeghez viszonyított fűtőértéknél - itt is kevésbé jelentős (32. ábra).

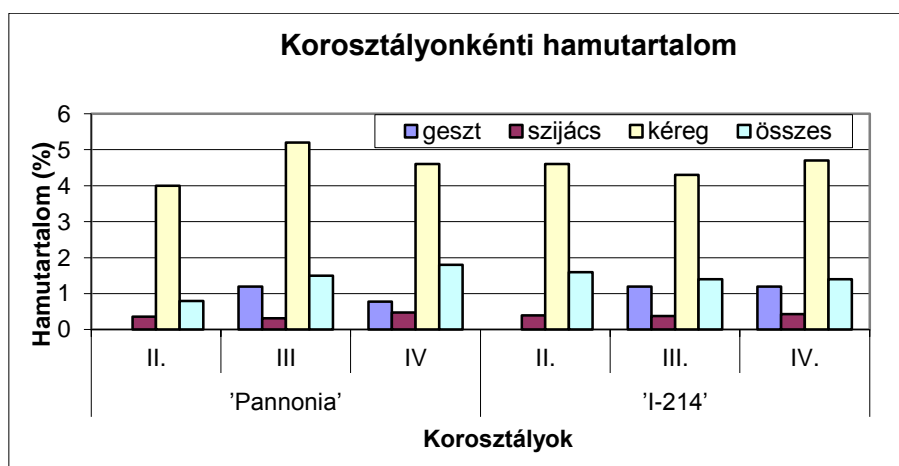


32.ábra Fűtőérték jellemzők a száraz fatérfogat figyelembevételével [MJ/m³]

4.2.4 Hamutartalom

A hamutartalom mérésekor az I. korosztály hamutartalma nem került vizsgálat alá, mivel az 'I-214' klónból ez a korosztály nem állt rendelkezésre. A II. korosztályból a jelentéktelen gesztesedés miatt nem lehetett elegendő hamut biztosítani, ezért a geszt hamutartalma csak a két idősebb korosztálynál került meghatározásra (33. ábra).

Az eredmények azt mutatják, hogy a fatest részei közül a szijácsnak kedvezőbb a hamutartalma, mint a geszté. A gesztésedés 3-4-szeres értékre növeli azt meg. A kéreg hamutartalma 10-15-ször haladja meg a fatestét, tehát a nagy kéreghányad jelentősen befolyásolja a tüzelő berendezés kialakítását (hamutárolás, eltávolítás). Ezen kívül minden 1% hamutartalom emelkedés 0,2 MJ fűtőérték-csökkenést okoz szárazanyag-kilogrammonként (Gyulai 2009). A fatestet és a kérget is tartalmazó minták esetében a két klón értékei korosztályoktól függően kisebb nagyobb eltérést mutatnak. A 'Pannonia' nyárnál a III. korosztály (10 év) hamutartalma közel duplája a II. korosztályénak (6 év), és csak 20 %-al marad el a legidősebbtől (19 év). Az 'I-214'-nél már kisebb különbségek jelentkeznek. A II. korosztály értéke közel 20 %-al magasabb az idősebb korúakénál. A két klón viszonyában jelentős különbség csak a II. korosztály esetében figyelhető meg, ahol az olasz nyár hamutartalma kétszerese a másik klónénak.



33.ábra Korosztályok hamutartalma a fő farészek függvényében

A fatestet és a kérget is magába foglaló minták hamutartalmának mennyiségét összevetve az irodalmi adatokkal (Bai et al. 2002, Mahendra et al. 1993) kitűnik, hogy azok elmaradnak az irodalomban megadottaktól, mintegy 10-50%-al korosztálytól függően. A 33. ábra alapján jól látható, hogy az adatok ilyen mértékű eltérését a farészek közötti különbségek adják. A hamutartalom mennyiségének eltérését az irodalmi adatoktól, ebben az esetben is a genetikai tulajdonságok, valamint a termőhelyi adottságok, jellemzők generálhatják.

4.2.5 Hamuösszetétel

A fás biomasszák viszonylag alacsony N, Cl, és S tartalommal rendelkeznek, és - a kéreg kivételével - alacsony a hamutartalmuk is. Hamujuk azonban legtöbbször viszonylag magas nehézfém-tartalommal (pl. Zn, Cu, Cr, Co, Pb, Cd, Ni) jellemezhető, ami az emisszió és a hamu-hasznosítás szempontjából hátrányos tulajdonság (Paulovics, Bokányi 2010). A hamu összetétele természetesen függhet a fa termőhelyétől, kortól, fafajtól, fa részeitől, (ág, tuskó, hajtás, geszt, álgeszt, kéreg).

11.táblázat Korosztályok hamuösszetétele abszolút száraz tömegre vonatkoztatva (TS: u=0%)

Vizsgált alkotóelemek	Mértékegység	'I-214'			'Pannonia'		
		II.	III.	IV.	II.	III.	IV.
Szárazanyag-tartalom	%	65,4	89,5	93,1	90,5	92,3	92,3
Hamutartalom	% TS	0,8	1,5	1,8	1,6	1,4	1,4
Cl összesen	mg/kg TS	32,4	40,4	42,4	9,84	48,9	31,3
Kén mint SO ₃	mg/kg TS	24 000	35 000	22 000	38 000	29 000	27 000
Kén összesen	mg/kg TS	96 000	140 000	88 000	152 000	116 000	108 000
Kálium K ₂ O	mg/kg TS	15 000	110 000	120 000	99 000	110 000	140 000
Foszfor mint P ₂ O ₅	mg/kg TS	33 000	34 000	21 000	57 000	30 000	80 000
Kalcium mint CaO	mg/kg TS	500 000	550 000	280 000	450 000	460 000	510 000
Magnézium mint MgO	mg/kg TS	100 000	93 000	52 000	75 000	86 000	87 000
Vas mint Fe ₂ O ₃	mg/kg TS	60 000	16 000	6 500	11 000	13 000	2 000
Szilícium mint SiO ₂	mg/kg TS	13 000	52 000	56 000	43 000	47 000	11 000
Nátrium mint Na ₂ O	mg/kg TS	5 300	17 000	23 000	13 000	14 000	27 000

A vizsgálatba bevont nyárak hamualkotóinak mértéke (11. táblázat) megfelel a fás biomasszák nagyságrendjének (ASTM C 618-94:1994). A korosztályok értékeinek egymáshoz való viszonyából nehéz konkrét következtetéseket levonni, mivel azokat nagyban befolyásolja az adott termőhely, illetve a vizsgált minta összetétele a fő farészek (geszt, szijács, kéreg) tekintetében. Megállapítható azonban, hogy a durvább kérgű 'Pannonia' nyár esetében a korosztálynak nincs hatása a keletkező hamu arányára. Az 'I-214' esetében a vékony, kevésbé parásodott kéreg és a gesztessedés hiánya fiatalon alacsony hamutartalmat eredményez.

Mindenképp említést érdemel, hogy az a gyakorlatban elterjedt nézet, mely szerint a fa tüzelésekor visszamaradó hamu kéntartalma nem jelentős, nem helytálló. Amíg az irodalmak a biomasszával kapcsolatban 1-2 %-os kéntartalmat említenek (Hakkila 1989, Monoki 2006) addig a vizsgálatok a hamu tömegén belül 9-15%-os kén arányt mutatnak. A hamu közel felét a CaO adja, de jelentős a Mg, K és a Fe oxidok aránya is. Pozitív azonban a Cl tartalom szinte elhanyagolhatóan kicsi mértéke.

4.3 A nyár ággyöcsök hatása a faanyag egyes szilárdsági jellemzőire

Az erdei választékoknál a legnagyobb gondot a göcsösség okozza. A göcs az ág törzsben fekvő része, amelynek jelenléte a fatestben a fa felépítésének természetes következménye, tehát nem jelent rendellenes szöveti elváltozást. A göcsösség mégis kedvezőtlen fahibának számít, mivel jelentős évgyűrűtorzulásokat eredményez, és a fatest szerkezete rendkívül inhomogénné válik.

A két nyár klón, valamint az erdeifenyő göcsös faanyagának vizsgálata egyértelmű eredményt szolgáltatott a göcsösség hatásáról. A mérési adatok statisztikai értékelésének eredményét a 12. táblázat mutatja.

12.táblázat A szilárdsági mérések statisztikai értékelése

Fafaj/ fajta	Vizsgált szilárdsági jellemzők	Leíró statisztikák				ANOVA
		Min.	Max.	Átlag. ¹	Std. dev.	szign.szint 0,05
Erdeifenyő	MOE _{stat3p} (GPa)	3,9	12,8	7,5*	2,1	0,000
	MOE _{stat4p} (GPa)	4,7	13,4	7,8*	2,4	0,137
	MOR _{4p} (MPa)	18,7	47,5	31,2	6,8	0,000
	G (MPa)	50,1	7746,5	834,0*	1389,4	0,260
'Pannonia'	MOE _{stat3p} (GPa)	4,0	13,1	8,4*	1,4	0,137
	MOE _{stat4p} (GPa)	4,0	21,9	10,1	3,7	0,000
	MOR _{4p} (MPa)	16,0	68,1	38,4*	10,8	0,000
	G (MPa)	47,4	954,5	780,4*	15,7	0,260
'I-214'	MOE _{stat3p} (GPa)	3,7	13,8	8,0*	1,8	0,137
	MOE _{stat4p} (GPa)	5,6	15,4	8,6*	2,0	0,000
	MOR _{4p} (MPa)	16,5	69,8	37,8*	9,1	0,000
	G (MPa)	36,5	4929,1	584,6*	846,3	0,260

¹ A Duncan teszt eredményei. A homogén csoportok csillaggal jelölve.

Általánosságban elmondható, hogy a MOE_{stat3p} értékei mindhárom minta esetében alacsonyabb értéket szolgáltattak, mint a MOE_{stat4p} esetében, mivel a 3 pontos terhelés esetén a hajlításon kívül nyírőerők is ébrednek.

Mindkét vizsgálati módszernél a 'Pannonia' klón adta a legmagasabb értékeket, míg a legkisebbeket az erdeifenyő. A Duncan teszt alapján azonban az erdeifenyő és az 'I-214' klón rugalmassága hasonlóan tekinthető. Mivel az MOE és a MOR között szoros összefüggés van, ezért a hajlítószilárdság vizsgálata is hasonló eredményt hozott, azaz a göcsös faanyagoknál az erdeifenyő szilárdsága (31,2 MPa) elmarad a nyarakétól (37-38 MPa).

A különböző faanyagok nyíró modulusa (G) között nincs számottevő eltérés, bár az adathalmazok szórása igen különböző. A mérési eredmények szórása a 'Pannonia' fajtánál volt a legkedvezőbb.



34.ábra 4 pontos hajlítószilárdsági tönkremenetel erdeifenyő (bal) és 'Pannonia' nyár (jobb) esetén

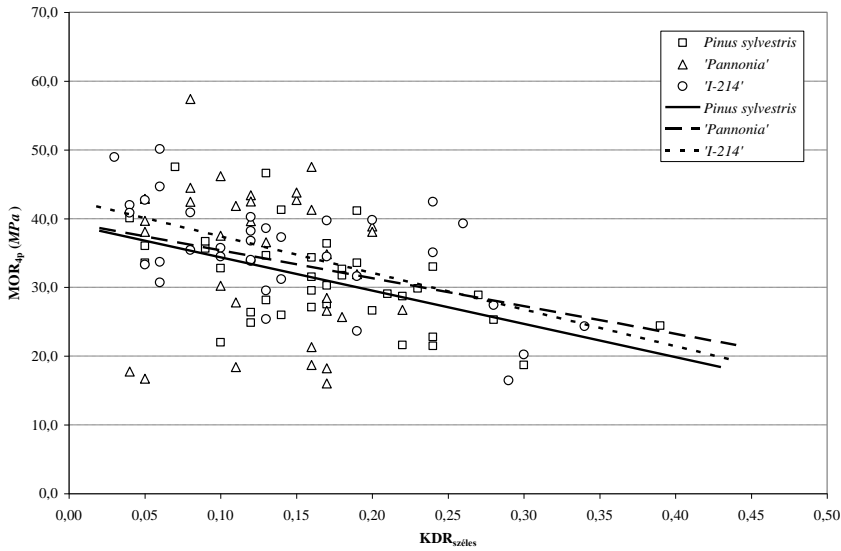
A hajlítószilárdságot számos tényező befolyásolja. A mérések két tényező hatására terjedtek ki, a rugalmassági modulusra valamint a fahibák közül a göcsök hatására (34. ábra). A különböző módszerekkel meghatározott rugalmassági modulusok, valamint az egyéb befolyásoló tényezők hatásának a nagyságát, a korrelációs együtthatókkal lehet a legjobban leírni (13. táblázat).

A rugalmassági modulus és a hajlítószilárdság összefüggését vizsgálva egyértelműen megállapítható, hogy közöttük szoros függvénykapcsolat van. Mind a 3 illetve 4 pontos hajlítás esetén a nyáraknál mutatható ki szorosabb összefüggés az erdeifenyővel szemben. A két nemesnyár közül az 'I-214' korrelációs értékei minimálisan, de magasabbak.

13.táblázat A hajlítószilárdságot befolyásoló tényezők korrelációs együttható

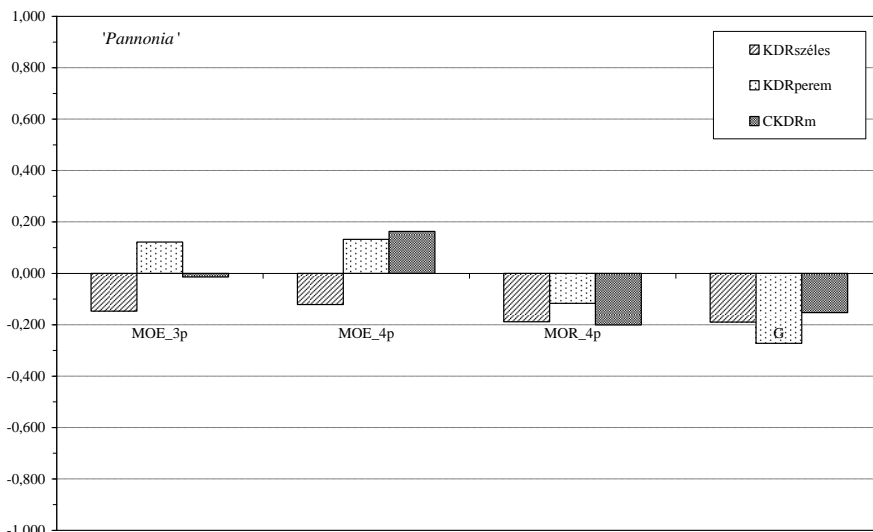
Vizsgált szilárdsági jellemzők	Erdeifenyő	'Pannonia'	'I-214'
MOE _{stat3p}	0,645	0,708	0,714
MOE _{stat4p}	0,672	0,732	0,753
KDR _{széles}	-0,532	-0,188	-0,596
KDR _{perem}	-0,716	-0,117	-0,432
CKDRm	-0,142	-0,201	-0,402

A göcsösség hatásának vizsgálatára kapott eredmények értékelése szintén lineáris regresszió alkalmazásával történt (12. táblázat). A korrelációs együtthatók nagyon jól mutatják, hogy a módosított koncentrált göcs átmérő arány (CKDRm) nem adott értékelhető eredményt. A legmagasabb érték is csak -0,402, ami az 'I-214' esetében volt kimutatható. Ezzel szemben a két másik átmérő arány, KDR_{széles} és a KDR_{perem} már szorosabb összefüggést mutatott a hajlítószilárdsággal. A húzott öv szélesebb oldalára kifutó göcsök (KDR_{széles}) szilárdság csökkentő hatása igen jelentős (35. ábra). Kivételt képez ez alól a 'Pannonia' fajta, ahol a korrelációs együttható gyenge kapcsolatra utal. A másik nyár fajta illetve az erdeifenyő esetében hasonló nagyságrendű a göcsök szilárdság csökkentő hatása a hajlítószilárdságra. A KDR_{perem} esetében szintén nem lehet összefüggést kimutatni a 'Pannonia' nyárnál, ami összességében azt fejezi ki, hogy a göcsösségnek ennél a klónnál nincs jelentős hatása a hajlítószilárdságra. Ennél a göcs elhelyezkedésnél, azonban az erdeifenyő esetében már igen magas a korrelációs együttható értéke (-0,716).



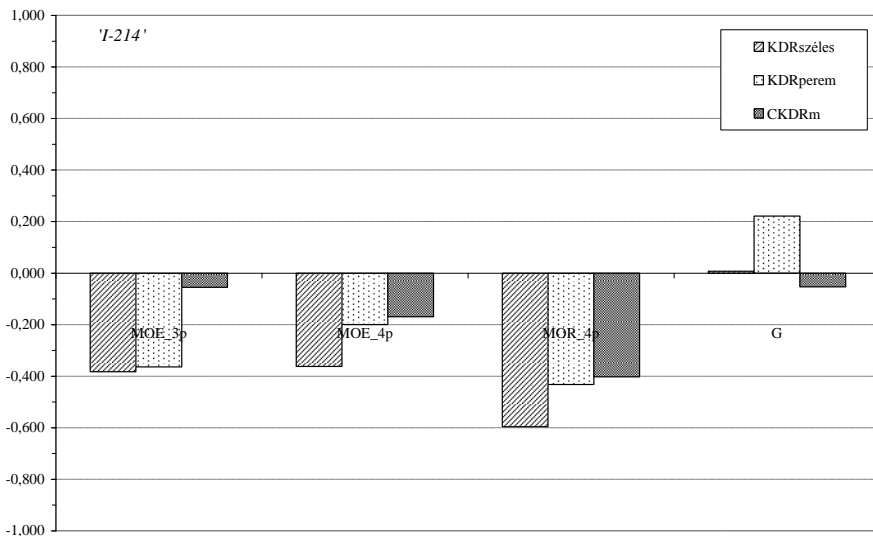
35.ábra A hajlítószilárdság és a húzott öv széles oldalán elhelyezkedő göcs átmérő arányának összefüggése

A göcsösség hatása a rugalmassági modulus, valamint a nyíró modulus változékonyságának szempontjából is elemzésre került. A korrelációs együtthatók alapján egyik göcs átmérő arány (KDR, ill. CKDRm) sincs különösebb hatással a 'Pannonia' nyárra. Ugyanez mondható el a rugalmassági modulusra, a hajlítószilárdságra és a nyíró modulusra (36. ábra). A korrelációs együttható értéke a hajlítószilárdságnál (MOR_{4p}), valamint a statikus rugalmassági modulusoknál (MOE_{stat}) kb. 0,1-0,2 között mozog, ami elhanyagolható függvénykapcsolatra utal. Hasonló megállapítás tehető a nyíró modulusra esetében is.



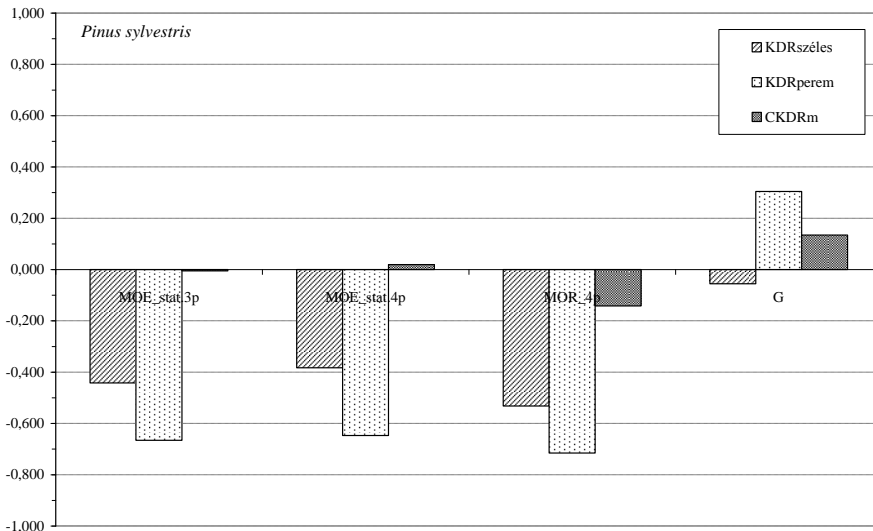
36.ábra A göcsösség hatása a 'Pannonia' nyár különböző faanyagjellemzőire

Az előzőekkel szemben a göcsösségnek az 'I-214' fajtára gyakorolt hatását vizsgálva, megállapítható, hogy a korrelációs együtthatók szorosabb függvénykapcsolatot mutatnak (37. ábra), amely arra utal, hogy ez a nyárfajta érzékenyebb a göcsök jelenlétére. A korrelációs együtthatók értéke változó. A rugalmassági modulusnál megközelíti a 0,4 értéket, elsősorban a két göcs átmérő arányánál (KDR). A hajlítószilárdságra gyakorolt hatása, különösen az oldal göcsöknél (KDR_{perem}) már megközelíti a 0,6-t, ami jelentősebb mértékű szilárdság csökkést idézhet elő. A nyíró modulusra kifejtett hatás itt is elhanyagolható.



37.ábra A göcsösség hatása a 'I-214' nyár különböző faanyag jellemzőire

A három vizsgált fafaj, ill. fajta közül, a mérési eredmények alapján a göcsösségnek az erdefenyőre gyakorolt hatása igen nagy (38. ábra). A minták húzott övének a széles lapján lévő göcsök (KDR_{széles}) és a rugalmassági modulusok közötti összefüggések korrelációs együtthatói megközelítik, ill. meghaladják a 0,4-et (MOE_{stat3p}). A hajlítószilárdságnál pedig ez az érték már 0,5 fölött van. A nyíró modulusra gyakorolt hatás azonban itt is alacsony.



38.ábra A göcsösség hatása az erdefenyő különböző faanyag jellemzőire

A húzott övben lévő oldal göcs átmérő arány (KDR_{perem}) és a különböző faanyag jellemzők közötti korrelációs együtthatók értéke jóval magasabb (0,65-0,85), mint a $KDR_{széles}$ mutató értékei. Ez arra utal, hogy az erdefenyő anyagjellemzői erősen függenek az oldal göcsöktől (KDR_{perem}). Ez olvasható ki az erdefenyő és a nyárfajták korrelációs együtthatóinak összevetéséből is, ahol egyértelműen látszik, hogy az erdefenyőnél kapott értékek magasabbak, s különösen igaz ez az oldal göcsök hatására.

A nyár és a fenyő faanyag viszonyában elmondható hogy a különböző fafaj csoportok faanyagára a göcsök eltérő hatással vannak.

A göcsös erdefenyő faanyaga szignifikánsan alacsonyabb hajlítószilárdsággal rendelkezik, mint a vizsgált nemesnyár fajták. A nyárok között a 'Pannonia' értékei jelentősen nagyobbak voltak, ami arra enged következtetni, hogy a különböző nyárfajták közül a nagyobb sűrűségű fajták kevésbé érzékenyek a göcsösség okozta hajlítószilárdság csökkenésre, mint az alacsonyabb sűrűségűek.

Az erdefenyőnél kimutatott korrelációs együtthatók a vizsgált faanyagjellemzők és a göcsösség mértékét megadó paraméterek között kiemelkedően magasabbak, mint a nyár klónoknál. Mindez arra utal, hogy az erdefenyő hajlítószilárdsága, valamint rugalmassági modulusa nagyobb mértékben függ a faanyag göcsösségétől, mint a nyárfajták esetében. Az erdefenyő faanyag oldallapján (húzott övben) lévő göcsök, azaz a KDR_{perem} faktor, nagyobb hatással van a hajlítószilárdságra és statikus rugalmasság modulusra. Ennek következtében a terhelés során a törések kiinduló pontjai gyakran a faanyag húzott övében lévő oldal göcsök voltak.

A vizsgálatok szerint a rugalmassági modulusok hatása a hajlítószilárdságra igen nagy, különösen igaz ez a két nemesnyár fajtára. Az erdefenyőnél gyengébb összefüggés mutatható ki. Az eredmények alapján mindhárom fafajnál/fajtánál elmondható, hogy a göcsösség nem befolyásolja jelentős mértékben a nyíró modulust.

Az elvégzett vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy a nyárok szerkezeti célú felhasználását, a göcsösség negatív hatásának tekintetében nem indokolt háttérbe szorítani a fenyőkkel szemben. A nyár fatest szilárdságát a göcsösség lényegesen kevésbé befolyásolja, mint a fenyőkét.

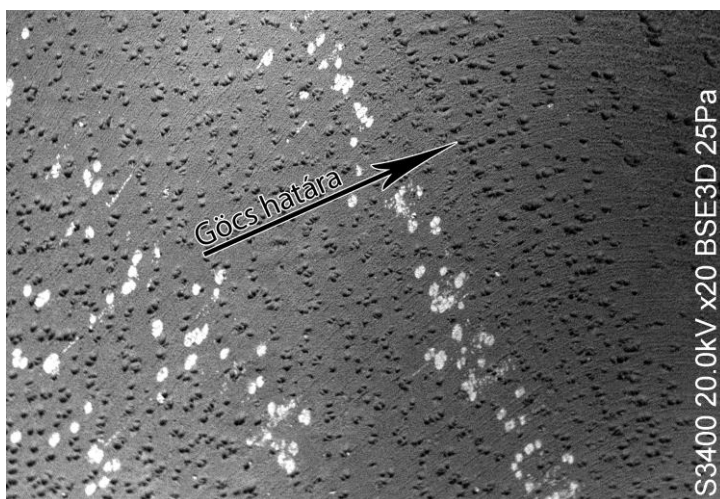
A mechanikai vizsgálatokból látszik, hogy a különböző faanyagok anatómiai felépítése nagyban meghatározza a göcsök jelentőségét szilárdsági szempontból.

A göcsök és a körülöttük lévő szövetek Scanning Elektronmikroszkópos elemzése azt a célt szolgálta, hogy a mechanika vizsgálatoknál tapasztalható - a göcsök határvonalán bekövetkező - törések okaira, a szöveti szerkezet elemzésén keresztül magyarázatot szolgáltatasson.

A göcsök típusait figyelembe véve elmondható, hogy a nyárok esetében jóval kevesebbszer találkozhatunk részben benőtt vagy kihulló göcsökkel. Fenyők esetében a göcs és fapalást között gyakori a nagyobb mennyiségű gyanta illetve a göcsök felületén található kérgesedett rész. Ennek megfelelően a nyárok esetében szorosabb kapcsolatot lehet feltételezni a göcs és a fapalást között.

A mintadarabokról készült elektronmikroszkópos felvételeken látható, hogy a fatest és a göcs eltérő évgyűrűszerkezetű és rostirányú. Az igazából fontos szakasz azonban a két különböző farész közötti zóna; annak a vizsgálata, hogy az itt található szöveti elemek hogyan módosulnak, miként kapcsolódnak egymáshoz, milyen az átmenet típusa közöttük. A különböző szöveti elemek elhelyezkedéséből és a bélsugarak lefutásából már kisebb nagyításon is kivehető a két különböző rész határsávja.

A nyár és az erdeifenyő esetén az átmenet más-más formában volt látható. A vizsgált nyár mintákon megfigyelhető volt, hogy a göcs határát a határvonallal párhuzamosan rendeződött edénysor is jelezte (39.ábra).

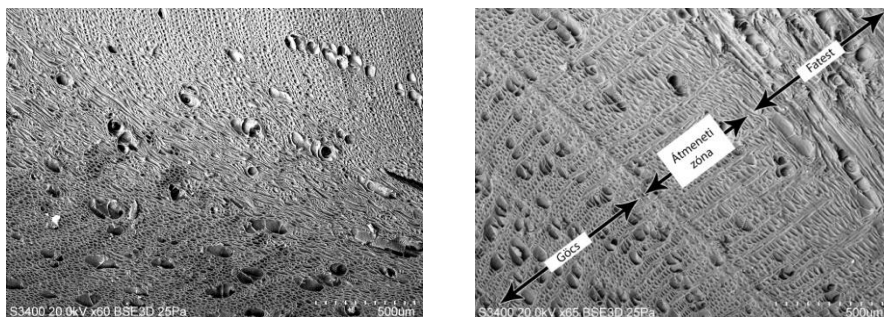


39.ábra 'Pannonia' nyár göcs határzónája

A nyár esetében egy szélesebb átmeneti zóna figyelhető meg. A 49. ábra bal oldali képén látható, hogy a göcs és a fatest találkozásánál a két farészre majdnem merőleges irányba futnak a különböző szöveti elemek, azonban ebben a zónában is láthatóak a másik két iránnyal azonos módon elhelyezkedő farostok, edények.

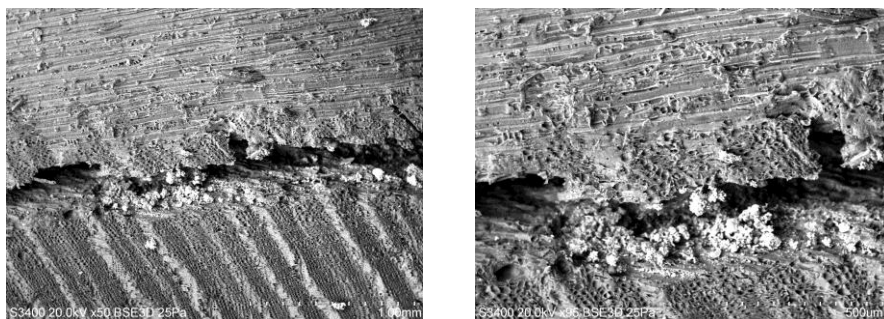
A 40. ábra jobb oldali felvételén a fokozatos átmenet még szembeütőbb. A kép bal alsó részében található göcs szövetnek közel a keresztmetszetét láthatjuk, középen az átmeneti zónát, jobb oldalán felül pedig a normál

fatestet. Különösen a bélsugarakon és az alapállományt alkotó farostokon látható, hogy a keresztmetszeti állapotból hogyan hajolnak el fokozatosan, míg végül már egy radiális irányú metszetét láthatjuk a faanyagnak.



40.ábra 'Pannonia' nyár göcs , és normál fatestének határai

A fenyő esetében az átmenet sokkal drasztikusabban megy végbe. Az átmeneti zónát általában nem is lehet látni, szinte a szomszédos sejtek már más-más szöveti részhez tartoznak. A rétegek egymástól könnyebben elválnak, amit a SEM-ben alkalmazott vákuum hatására megjelenő repedések is jeleznek. A 41. ábra alsó részén helyezkedik el a göcs, amely szövetének egy része a határhoz közeli repedés másik oldalán is még megtalálható. A fatest hosszmetesze és a göcs keresztmetszete között nem lehet átmeneti részt felfedezni.



41.ábra Erdeifenyő göcs, és normál fatestének határa

A göcsök normál fatesthez való kapcsolódásának vizsgálata is magyarázatul szolgál arra, hogy miért is érzékenyebbek a göcsösségre a fenyő faanyagok a nyárakkal szemben. A fenyők esetében a gyakori göcs körüli törés oka a göcs és a normál faszövet közötti hirtelen átmenet, a szöveti elemek megfelelő kapcsolódásának hiánya. Ezt tetézi még a két

szöveti rész fizikai tulajdonságainak (sűrűség, keménység) nagyfokú különbözősége.

A nyárak esetében látható fokozatos átmenet a göcs és a normál fatest között azt eredményezi, hogy egy viszonylag szélesebb sávon kapcsolódik egymáshoz a két különböző szöveti rész. Így a göcsök negatív, szilárdságot csökkentő hatása a fenyőkhöz viszonyítva jelentősen mérséklődik.

5 Összefoglalás

A nyárok Földünk legfontosabb ültetvényes fajtái közé tartoznak, így hazánkban is kiemelkedő a szerepük. A faj/fajta csoport nemesítésével, termesztésével, feldolgozásával összefüggésben igen jelentős kutatómunka folyik hazánkban az Erdészeti Tudományos Intézetben, a NymE Erdőmérnöki Karán és a Faipari Mérnöki Kar Faanyagtudományi Intézetében valamint számos külföldi - főként francia, olasz - kutatóhelyeken. E munkát a Nemzetközi Nyárfa Bizottság is eredményesen segíti.

A rendelkezésre álló nemesnyár klónok viszonyában a hazai nemesítésű fajták bizonyítottan a legjobbak között szerepelnek. A megfelelő fajták kiválasztásánál azonban nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a hazai termőhelyi feltételek között még semmit nem bizonyító, termőhelyi "tapasztalatokkal" nem rendelkező külföldi fajták esetében a honosításnak kell lennie az első, megkerülhetetlen lépésnek. A honosítás során igazolni szükséges a hazai természetesség termőhelyi feltételeit, a betegségekkel szembeni ellenálló képességet és a várható hozamokat (Borovics 2007). Ezzel összefüggésben a nagyszámú hazai és külföldi fajták, fajtajelöltek genetikai „feltérképezése” sikeresen folyik az ERTI Sárvári Kísérleti Állomásán, valamint a különböző Magyarországon előforduló fajtákra is létezik már határozókulcs (Bartha 2004).

A rövid vágásfordulójú energetikai faültvények még az ültvények között is extrémnek számítanak a faegyedek különösen magas koncentrációja miatt, így erdővédelmi szempontból fokozottan veszélyeztetettek. A gyakori vágás tömeges sebzést hoz létre, ami ideális fertőzési kaput jelent a kórokozók, rovarok számára. Mindezen tényezők magukban hordozzák a károsítók nagyon gyors terjedésének lehetőségét, robbanásszerű kalamitások kialakulásának veszélyét. A kórokozók és kártevő rovarok támadásai tömeges pusztulást, illetve jelentős produktivitás csökkenést okozhatnak, ezáltal veszélyeztetve a termelés gazdaságosságát. Növényvédelmi szempontból kiemelt szerepe van az ültvények gyommentesítésének. E mellett számos gomba- és rovarkártevő jelenhet meg tömegesen, amelyek potenciálisan veszélyeztethetik az ültvényeket, így esetenként gyors beavatkozás szükséges. Az energetikai faültvények növényvédelmét kiemelten fontos kérdésként kell kezelni az ültvények gazdaságosságának megőrzése érdekében (Koltay 2010).

A magyar fagazdaság egyik stratégiai, fejlesztési kérdése a gyorsan növekvő és az új ültvények által egyre nagyobb tömegben rendelkezésre álló nyár faanyag sokoldalú korszerű hasznosítása. Ennek szellemében a szakirodalom tanulmányozása és a gyakorlati problémák feltárása alapján három olyan szakterületen (faanatómia, faenergetika, mechanika) születtek eredmények,

amelyek hasznosan segíthetik a nyárak termesztésével és hasznosításával kapcsolatos fejlesztéseket.

A korábbi kutatásokkal ellentétben, a vizsgálatok a nyárak esetében azt mutatják, hogy a „juvenilisfa” szakasz kitolódhat egészen a vágásérettségi (20-22 éves) korig, azonban ezen anyagok nem rendelkeznek az egyéb fafajokra jellemző sajátos fizikai tulajdonságokkal (mint pl. alacsonyabb sűrűség). A fiatal juvenilis faanyag a nyárak esetében tehát azonos értékű az érett fatesttel. Az évgyűrűnkénti anatómiai és sűrűségi mérések igazolták, hogy bár a juvenilisfában a bél körül némileg rövidebbek és vékonyabb falúak a farostok, mint az érettebb fában, azonban itt a fatest kisebb porozitású (a kettős sejtfal és a lumen aránya nagyobb). Ez az anatómiai tulajdonság a kezdeti stádiumban valamivel nagyobb (5-10%) sűrűséget eredményez.

A nyárak juvenilis fájában 0,5 és 1,2 mm között változik a farostok hossza. A „Pannonia”, „I-214”, „Koltay”, „Kopecky” nyárfajták rosthosszúsága között nincs érdemi különbség. Az átlagos értékek 1 mm körüliek, hasonlóan a lombos fák többségéhez, ezért nemesítési célként nem lehet megjelölni a hosszú rostú fajták szelektálását. A nyárak rövid rostjaik ellenére, alacsony sűrűségük és könnyű rostosíthatóságuk miatt szintén felhasználhatóak a következő területeken: keverék fafajokként a minőségi (író-nyomó) papírok gyártásában növelve a papír opacitását, illetve önállóan csomagolópapír típusok gyártására. A nyárak a fenyőkhöz viszonyítva kevésbé alkalmasak azonban minőségi papírok gyártására, de megfelelnek a félcellulóz, kartonpapír és farostlemez gyártási igényeinek.

A vizsgálatok bebizonyították, hogy a nyárak évgyűrűszélessége és faanyagsűrűsége között nincs összefüggés. A sűrűség elsősorban fajtajellemző. A mikroszkópos felvételek és a sűrűségi vizsgálatok is alátámasztják, hogy a keskenyebb és szélesebb évgyűrűk egyaránt azonos fizikai adottságokkal rendelkező vékony sejtfal állományúak. Nem indokolt tehát a nyár termékeknél (pl. rakodólap) az engedélyezett maximális évgyűrűszélesség megjelölése. A sűrűség elsősorban fajtajellemző. A hazai fakitermelésben nagy szerepet betöltő 'I-214' fajta normál sűrűsége 350 kg/m^3 , a 'Pannoniáé' 400 kg/m^3 körüli. A feldolgozás, termékgyártás során tehát nem az évgyűrűk szélességét kell előírni, hanem az egyes fajtákat elkülönítve kell kezelni. Célszerűnek lehet ezért szerkezeti célokra a nagyobb sűrűségű fajtákat ('Pannonia', 'Koltay', 'Kopecky') felhasználni, amelyekre külföldi példákat már találhatunk.



42.ábra Nyárból készült sportcsarnok tartószerkezete (Mourlan)

A korábbi, Faanyagtudományi Intézetben (14. táblázat) elvégzett és egyéb kutatások (Babos, Zsombori 2002, 2003) eredményeinek elemzése alapján - különös tekintettel arra, hogy a köztermesztésben mindössze 4-5 fajta játszik szerepet - gyakorlati szempontból nem célszerű a nyár fajták 3 sűrűségi csoportba való besorolása (Molnár, Bariska, 2002). Elegendő két csoportot kialakítani. Egyik a 380 kg/m^3 légszáraz sűrűség alatti fajták másik pedig a 380 kg/m^3 -es sűrűséget meghaladóak.

Igy az I. csoport $\rho_{\text{normál}} \leq 380 \text{ kg/m}^3$, ide sorolhatóak: 'Adonis', 'BL-Costanzo', 'Blanc du Poitou', 'I-45/51', 'I-214', 'Sudár', 'Triplo', 'Villafranca'.

A II. csoport $\rho_{\text{normál}} > 380 \text{ kg/m}^3$, ide sorolhatóak: 'Agathe-F', 'Aprólevelű', 'Beaupré', 'I-273', 'Koltay', 'Kopecky', 'Unal', 'Raspalje', 'Pannonia'.

Közismert, hogy a faanyag sűrűsége szoros összefüggésben áll a szilárdtsági jellemzőkkel (a nyárak esetében ezt már Pallay (1938) is igazolta), ezért javaslom, hogy elsősorban a II. csoport fajtái kerüljenek felhasználásra szerkezeti célokra.

Az energetikai hasznosítást befolyásoló tulajdonságok (fűtőérték, hamutartalom, hamuösszetétel) szempontjából a nyár ültetvények esetében nincs számottevő szerepe a kitermelési, betakarítási kornak. Ennek értelmében a fiatalokú („minirotaációs”) ültetvényekből termelt biomassa azonos értékű az idősebb állományokból származó faanyaggal. A nyárak esetében energetikai szempontból azonban nagy jelentősége van a genetikai tényezőknek (a fajtának), mivel az egyes nyárfajták között igen jelentős különbségek (20-30%) vannak a fatérfogatra vetített fűtőértékek tekintetében. Célszerű tehát a nyár energetikai alapanyagot (apríték, darabos hulladék, hengeres fa) minden esetben abszolút száraz tömegben („atrotonnában”) átvenni.

Az ültetvények szárazanyag termelésének meghatározására kedvezően lehet felhasználni a bázissűrűség értékeit. Az energetikai hasznosítás során a kéreg nem kerül eltávolításra, így fontos ismerni a jellemzőit: fűtőértéke a tömegre vetítve alig marad el a fatestétől, de a hamutartalma rendkívül magas (4-5%). A nyár hamujának közel felét a CaO adja, kedvező a jelentéktelen Cl tartalom, de figyelmet érdemel a kén-oxidok 9-14%-os jelenléte is.

14.táblázat A nyárfajták fizikai és mechanikai jellemzői normál klímán
($t=20^{\circ}\text{C}$, $\varphi=65\%$)

Megnevezés	Sűrűség (kg/m^3)	Statikus szilárdsági jellemzők				Statikus rugalmassági modulus (MPa)	Keménység	
		(MPa)					(MPa, Brinell)	
		nyíró	nyomó	hajlító	húzó		bütü	oldal
'Adonis'	350	-	-	-	-	-	-	-
'Agathe-F'	405	6,9	29,6	58	44,5	5200	20,7	11,7
'Parvifol'	400	-	32,9	66,3	-	7830	25,8	8,3
'Beaupré'	390	-	-	-	-	-	-	-
'BL-Costanzo'	375	7,5	36,9	75,1	59,6	6160	25,4	11,3
'Blanc du Poitou'	368	-	-	-	-	-	-	-
'I-45/51'	380	7,4	29,7	61,6	51	5850	17,5	10,7
'I-214'	330	6,4	22,5	52	44,3	5330	21,9	8,3
'I-273'	410	8,1	32,8	72,2	-	5690	28	13,9
'Koltay'	390	-	-	56	-	-	-	-
'Kopecky'	390	7,4	33	70,7	56,1	5620	20,6	12,5
'Pannonia'	410	8,3	32,6	67,4	56,2	6510	20,6	10,8
'Raspalje'	395	-	-	59,2	-	-	-	-
'Sudár'	315	-	-	49	-	-	-	-
'Triplo'	360	-	26,6	57	64,1	-	22,8	7,7
'Unal'	420	-	-	-	-	-	-	-
'Villafranca'	350	6,9	32	64	46,2	5600	19,3	9,9

(Molnár, Komán in Tóth 2006)

A termékméretű mintákon végzett szilárdsági vizsgálatok igazolták, hogy a nyárak szilárdságát a göcsösség kevésbé befolyásolja, mint a fenyőkét. Ezen kutatási eredmény új területeket nyithat meg a nyárak hasznosításában. A vizsgálati eredmények kimutatták, hogy a nyár fatestben az ággöcsök kevésbé viselkednek idegen testként, mint a fenyőknél, így a szilárdsági és rugalmassági jellemzőkre nincs oly markáns hatásuk, mint ahogy az az erdeifenyő esetében megfigyelhető volt. A hibamentes erdeifenyő statikus hajlítószilárdságához képest a göcsös próbatestek szilárdsága mintegy 60%-ot csökkenést eredményez. Ehhez viszonyítva a 'Pannonia' nyárnál 43%-os, az 'I-214'-nél pedig 35%-os csökkenés tapasztalható. Ennek a magyarázatára a faanatómiai azt mutatták, hogy a nyárak esetében a göcsök normál fatesthez való kapcsolódása egy fokozatos átmeneten keresztül valósul meg, ellentétben a fenyőkkel ahol ez az átmeneti zóna hiányzik. A mikroszkópos megfigyelések is igazolták azt a tényt, hogy a normál nyár fatest és a „göcs test” kevésbé elkülönülő, mint az erdeifenyő esetében, ezért a nyárak ezen tulajdonsága kedvező lehet a szerkezeti célú felhasználásban.

Tehát a fenyőkkel azonos göcstartalmú nyár gerendát, szarufát, rakodólap elemet, a szilárdságot befolyásoló göcsösség szempontjából nem indokolt háttérbe szorítani. A síkvidéki (homoki) fenyők 40-60 éves korban kitermelésre kerülnek, így nagy mennyiségű elsődleges ággöccsel rendelkeznek. Az ilyen eredetű szerkezeti célú fa helyett célszerűbb lehet nyár alapanyagot felhasználni. E témához kapcsolódva az is elgondolkodtató, hogy mennyire indokolt az EUR rakodólapoknál a 3 összekötő elem fenyőből történő készítésének előírása.

6 További kutatási feladatok

A nyárok fájával összefüggő faanatómiai és anyagtudományi kutatások csak néhány évtizedes múltra tekintenek vissza. Ennek köszönhetően több olyan feltáratlan területtel rendelkeznek, amelyek vizsgálata a hazai és külföldi kutatóhelyek részére még további fontos feladat.

A faanatómia területén Gregus (1959) vizsgálatai óta komplex, az egyes fajtákat pontosan leíró vizsgálatok nem történtek. Az egyes fajták anatómiai jellemzői között valójában csak finom különbségek vannak, mint pl. a gesztesedésben, a reakciófa gyakoriságában, a fagyrepedések kialakulásában, a sebzési reakciókban stb. Az alapkutató feladatok sorában kell említeni, hogy a fontosabb nyár fajták és fajok kémiai összetételének pontos meghatározása segíthetné az ipari feldolgozás egyes technológiáit (pl. MDF, HDF lemezek, cementkötésű lapok, cellulóz- és papírgyártás).

Külön figyelmet érdemel a gesztesedés problémaköre, mivel a gesztmentes faanyag különleges értéket képvisel a rétegeltlemez gyártásban. Tehát tisztázandó az egyes fajtáknál a gesztesedés, álgesztesedés kezdete, mértéke és a geszt-szójács közötti fizikai, kémiai különbségek. E témakör a nemesnyár fajták mellett a fehérsnyár hibrideknél (szürkenyaraknál) is fokozott jelentőségű, mivel ezek ún. „szurkos gesztje” különösen kedvezőtlen az igényesebb ipari hasznosításban.

A nyárok kedvezőtlennek ítélt színének megváltoztatására jelentős eredmények születtek (Tolvaj 2005, Horváth 2008, Németh et al. 2009), de egyelőre nincs még a gyakorlatban is bevezethető eredménye a faanyag keménységének és szilárdságának növelésére irányuló famodifikációs kutatásoknak.

A fafizikai kutatásoknál fontos feladat a fa-víz kapcsolat feltárása. Mivel a nyárok „vizes gesztű” fák, ezért a vastagabb fűrészáru szárítása igen lassú és körülményes.

Az alkalmazott kutatások területén fontos feladatok várnak tisztázásra a forgácsolási sebesség és a felületi érdesség kapcsolatának vonatkozásában (bolyhosodás), a szárítási, modifikálási, ragasztási és felületkezelési technológiák fejlesztésében.

Az előrejelzések szerint a közeljövőben bekövetkező fahiány miatt a nyárok felhasználása - mint gyorsan növő fafaj - egyre nagyobb szerepet fog kapni. A nemesnyárrakkal foglalkozó tudományos és ipari szereplők általános véleménye, hogy a hazai viszonyaink között sikeresen termesztető nyárok a kutatások és gyakorlati törekvések eredményeként – korábbi felhasználási területeiken (44.ábra) kívül - egyre nagyobb szerepet kaphatnak a minőségi termékgyártásban.



43.ábra A nyárfa táblára festett Mona Lisa című festmény (Azzi)

Irodalomjegyzék

Ábrahám, J. – Németh, R. (2012): Physical and Mechanical Properties of Thermo mechanically Densified Poplar. In: Neményi M, Heil B, Kovács J A, Facskó F (szerk.) International Scientific Conference on Sustainable Development & Ecological Footprint, The Impact of Urbanization, Industrial and Agricultural Technologies on the Natural Environment, Abstracts. Sopron, Hungary

Alba, N. – Godoy, N. – Sixto, H. (2007): Growth and potential production of different *Populus alba* clones for biomass. Fifteenth European Biomass Conference and Exhibition. Actas del Congreso, Berlin 2007

Alpár, T – Fácán, T. – Kátoli, G. – Bellányi, G. (2006): Fiala ültetvényes faanyagok használhatósága ipari farost gyártására. Faipar, 2006/IV.

Alpár, T. – Rác, I. (2006): Cementkötésű forgácslapok gyártása nyár forgácsból. Faipar LIV. 4. 20-26.

Alpár, T – Fácán, T. – Kátoli, G. – Rác, I. (2007): MDF és HDF lemezek gyártása fiatal ültetvényes faanyagokból. Faipar, 2007/I.

Aylott, M. J. – Casella, E. – Tubby, I. – Street, N. R. – Smith, P. – Taylor, G. (2008): Yield and spatial supply of bioenergy poplar and willow short-rotation coppice in the UK. *New Phytologist* 178: 358-370.

Azzi, N. – Boccalari, F. (2013): Analyse de la situation de la populiculture en Italie, ProPopulus konferencia, május 13., Szolnok

Babos, K. – Filló, Z. – Somkuti, E. (1979): Haszonfák, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest

Babos, K. – Zsombori, F. (2002): Néhány nyárfajta faanyag-tulajdonságának összefoglaló jellegű ismertetése, 1.rész. Faipar L. évf. 4. sz.

Babos, K. – Zsombori, F. (2003): Néhány nyárfajta faanyag-tulajdonságának összefoglaló jellegű ismertetése, 2.rész. Faipar L. évf. 3. sz.

Bach, I. (1993): Az erdészeti szaporítóanyag-gazdálkodás és fajtaértékelés módszertani továbbfejlesztése (az erdészeti biológiai alapok genetikai és gazdasági kérdései). Kandidátusi értekezés, Sopron

Bai, A. – Lakner, Z. – Marosvölgyi, B. – Nábrádi, A. (2002): A biomassza felhasználása. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest

Bak, M. – Németh, R. – Tolvaj, L. – Molnár, S. (2009): The Effect of Thermal Treatment using Vegetable Oils on Selected Properties of Poplar and Robinia wood. Proceeding of The Fourth European Conference on Wood Modification 2009. Stockholm, Sweden, SP Technical Research Institute of Sweden. 201-204. p. ISBN 978-91-86319-36-6.

Bak, M. – Németh, R. (2012/a): Modification of Wood by Oil Heat Treatment. In: Neményi M, Heil B, Kovács J A, Facskó F (szerk.) International Scientific Conference on Sustainable Development & Ecological Footprint, The Impact of Urbanization, Industrial and Agricultural Technologies on the Natural Environment, Abstracts. Sopron, Hungary

Bak, M. – Németh, R. – Csordós, D. (2012): Modification of wood by heat treatment in paraffin. 7. Thermowood Workshop, Drezda

Bak, M. – Németh, R. (2012/b): Changes in swelling properties and moisture uptake rate of oil-heat-treated poplar (*Populus x euramericana* cv. Pannonia) wood. *BioRes.* 7(4), 5128-5137.

Bak, M. (2012): Növényi olajokban hőkezelt nyár faanyag tulajdonságainak vizsgálata, Doktori értekezés, Sopron

Barkóczy, Zs. – Ivelics, R. (2008): Energetikai célú ültetvények. Erdészeti kislevelek, NymE Erdővagyon-gazdálkodási Intézet

Bartha, D. (2004): A Magyarországon előforduló nyár (*Populus L.*) taxonok határozókulcsa és rövid jellemzése. *Flora Pannonica* 2(2): 85–101.

de Bary, A. (1884): Comparative anatomy of the vegetative organs of the phanerogams and ferns. Oxford Univ Press (Clarendon), London, New York

Bendtsen, B. A. (1978): Properties of wood from improved and intensively managed trees. *Forest Products Journal.* 28:(10): 61-72.

Bendtsen, B. A. (1986): Quality impacts of the changing timber resource on solid wood products. Managing and marketing the changing timber resource. Proceedings 47349. Madison, WI: Forest Products Research Society. March 18-20. Fort Worth, TX.

Bisoffi, S. – Gullberg, U. (1996): Poplar breeding and selection strategies. In *Biology of Populus and its Implications for Management and Conservation. Part I, Chapter 6* Edited by R.F. Stettler, H.D. Bradshaw, Jr., P.E. Heilman, and T.M. Hinckley. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, ON, Canada. pp. 139-158.

Borovics, A. (2007): Energetikai célú nyárnemesítés, *Erdészeti Lapok* 142. évf. 4.sz., 110-113.

Borovics, A. (2008): Mezőgazdasági szántóterületen termesztendő, rövid vágásfordulójú energia célú faültvények gyakorlati megvalósítása. Kutatási eredmények hasznosításával a korszerű mezőgazdaságért konferencia, Kecskemét, 2008. március 20.

Borovics, A. - Benke, A. – Csete, S. – Hirka, A. – Kámpel, J. – Koltay, A. (2013): Energetikai faültvények – új alapanyagforrás, *Agroinform Kiadó és Nyomda Kft. Budapest*

Bosshard H. H. (1974): *Holzkunde, Band 1-3, Birkhausen Verlag, Basel*

Bourgeois, C. – Corvaisier, C. – Bour, J. B. – Kohli, E. – Pothier, P. (1991): Use of synthetic peptides to locate neutralizing antigenic domains on the fusion protein of respiratory syncytial virus. *J. Gen. Virol.*, 72 (Pt 5), 1051-1058.

Bunn, S. M – Rae, A. M. – Herbert, C. S. – Taylor, G. (2004) Leaf-level productivity traits in *Populus* grown in short rotation coppice for biomass energy. *Forestry* 77: 307-323.

Cagelli, L. – Lefevre, F. (1995): The conservation of *Populus nigra* L. and geneflow with cultivated poplars in Europe. *Forest Genetics* 2: 135-144.

Chalk, L. (1959): The development of pulp and particle board industries and their effect on forest management (b) The “juvenile” period. *Discussions Lyndhurst Sandwell Rep*, 29-30.

Christersson, L. (1996): Future research on hybrid aspen and hybrid poplar cultivation in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 11: 109-113.

Chovonec, D. (1986): Morfológia benushnyh elementov listnatykh drevin, *VPA, VŠLD Zvolen*, 7/85, 722 s.

Csonkáné R. R. (2005): A flavonok és a faanyag termikus átalakulása. PhD értekezés, NYME, Sopron

Csóka, L. (2007): Ismételt fourier transzformáció alkalmazása a fa sűrűség eloszlási görbéin. Doktori disszertáció, Sopron

Csupor, K.: (2004): A faanyag károsodása és károsítói. In. Németh, L. (szerk): Faanyagok és faanyagvédelem az építőiparban. Agroinform Kiadó, Budapest pp. 131-161.

Deterck, A. (2013): La Populiculture en Belgique, ProPopulus konferencia, május 13., Szolnok

Divos, F. – Tanaka, T. (1997): Lumber strength Estimation by Multiple regression. *Holzforschung*, 51: 467-471.

Dodd, R. S. – Fox, P. (1991): Kinetics of tracheid differentiation in Douglas-fir. *Ann Bot* 65:649-657.

Eckstein, D. – Liese, W. – Shigo, A. L. (1979): Relationship of wood structure to compartmentalization of discolored wood hybrid poplar, *Canadian journal of Forest Research* 9: 2, 205-210

Eichhorn, H. (1999): Landtechnik. Landwirtschaftliches Lehrbuch. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart

Falk, RH. – DeVisser, D. – Plume, GR – Fridley, KJ. (2003): Effect of drilled holes on the bending strength of large dimension Douglas-fir lumber. *Forest Products Journal*, 53 (5): 55-60.

Fehér, S. (1997): Az erdei fák mechanikai sérüléseinek hatása a fatest szöveti és fizikai-mechanikai tulajdonságaira, OTKA zárójelentés, Sopron

Fehér, S. – Gerencsér, K. (2003): Auswirkung von Wundreaktionen auf die anatomischen Merkmale von Geehölze, *Forst und Holz* 58(6): 150-152.

Frey, P. – Pinon, J. (1997): Variability in pathogenicity of *Melampsora alliipopulina* expressed on poplar cultivars. *European Journal of Forest Pathology* 27:397–407.

Führer, E. – Rédei, K. – Tóth B.(2003): Ültetvénytípusú fatermesztés I., Mezőgazda Kiadó - ERTI, Budapest

Führer, E – Járó, Z. (2004): Nemzeti erdővagyon bővítése a mezőgazdaságilag gazdaságosan nem hasznosított földterületek beerdősítésével. In: Molnár, S. (szerk): Erdő-fa hasznosítás Magyarországon, Nyme, FMK, Sopron

Garnica, P. (2013): La populiculture en Espagne, ProPopulus konferencia, május 13., Szolnok

Gartner, B. L. (1996): Does photosynthetic bark have a role in the production of cores vs. Outer wood? Wood Fiber Sci 28:51-61.

Gencsi, L.(1973): Fahatározó, Erdészeti és faipari Egyetem. Sopron

Gregus P. (1959): Holzanatomie der europäischen laubhölzer und straucher, Akadémiai Kiadó, Budapest

Gerencsér, K. – Pásztori, Z. (2008): Modell technológiák ültevényes faanyagok feldolgozására. NymE, FMK, Sopron

Göbölös, P. (1998): A fehéرنyár hibridek faanyagminőségének kapcsolata a termőhellyel a Duna-Tisza közti homokháton, Diplomaterv, Sopron

Guzina, V. – Vujovic, M. (1986): Poplars and willows in Yugoslavia. Poplar Research Institute, Novi Sad. 295 p.

Gyulai, I. (2009): A biomassza dilemma. Lánchíd Kiadó Kft. Miskolc

Hakkila, P. (1989): Utilisation of Residual Forest Biomass, Springer series in Wood Science, Springer, Heidelberg New York, 568 pp.

Halupa, L. – Tóth, B. (1988): A nyár termesztése és hasznosítása, Mezőgazdasági kiadó, Budapest

Hernandez, M. J. – Canella, I. – Carrasco, J. – Sixto, H. (2007): Preliminary results of short rotation forestry for bio-energy in Spain. Fifteenth European Biomass Conference and Exhibition. Actas del Congreso. Berlin

Hernández, R. E. – Constantineau S, – Fortin Y. (2011): Wood Machining Properties of Poplar Hybrid Clones from Different Sites Following Various Drying Treatments. Wood and Fiber Science, 43(4), 394-411

Horváth, B. – Czupy, I. – Heil, B. – Kovács, G. – Major, T. – Szakálosné, M. K. – Szalay D. – Vágvölgyi, A. (2013): Támop-4.2.2.A-11/1Kony-2012-0068, Környezettudatos energiahatékony épület c. pályázat, Részjelentés, Sopron

Horváth, N. (2008): A termikus kezelés hatása a faanyag tulajdonságaira, különös tekintettel a gombaállóságra. Doktori értekezés. Sopron

Horváth, N – Bak, M. – Németh, R. (2012): Modification of poplar wood by different heat treatments. 7. Thermowood Workshop, Drezda

Huda, A. – Koubaa, A. – Cloutier, A. Hernández, E. R. – Périnet, P. (2012): Anatomical properties of selected hybrid poplar clones grown in southern Quebec. *BioResources*, Vol. 7, No. 3, 3779-3799.

Imbert, E. – Lefevre, F. (2003): Dispersal and gene flow of *Populus nigra* (Salicaceae) along a dynamic river system. *Journal of Ecology* 91: 447-456.

IPC (2008): <http://www.fao.org/forestry/ipc/en/>

JAS (1997): Japanese Agricultural Standard for Structural Softwood Lumber. Japanese Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Tokyo

Kacz, K. – Neményi, M. (1998): Megújuló energiaforrások. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest

Kauter, D. – Lewandowski, I. – Claupein, W. (2003): Quantity and quality of harvestable biomass from *Populus* short rotation coppice for solid fuel use - a review of the physiological basis and management influences. *Biomass and Bioenergy* 24:411-427.

Keresztesi, B. (1962): A magyar nyárfatermesztés, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest

Keresztesi, B. (1978): A nyárák és fűzek termesztése, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest

Koch, P. (1985): Utilization of hardwoods growing on southern pine sites. *Agr Hand No 605 I The raw material, II Processing, III Products and Prospective*. US For Serv, Washington DC, 3710 pp.

Koloc, R. (1984): Fafajták törzslapjai, Nehézipari könyv és Folyóirat Kiadó, Budapest

Koltay, A. (2010).: Az energetikai faültetvények növényvédelmi vonatkozásai. Mezőgazdasági Technika, LI, január (különszám) 66-67.

Koltay, A. (2011): Erdeink egészségi állapota 2011-ben, ERTI, Erdővédelmi osztály

Koltay, Gy. (1953): A nyárfa, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest

Koós, D. (2008): Bútorcsalád tervezése tömörfából. Diplomadolgozat, Sopron

Kovács, I. (1978): Faanyagismeret, Mezőgazdasági kiadó, Budapest

Kucera, B. (1994): A hypothesis relating current annual height increment to juvenile wood formation in Norway spruce. Wood Fiber Sci 26:152-167.

Ladner, C. – Halmschlager, E. (2002): Dauerhaftigkeit von modifiziertem Holz gegenüber holzzerstörenden Pilzen. (Durability of treated wood against wood-destroying fungi). In: Modifiziertes Holz, Eigenschaften und Märkte. Lignovisionen, 3, 191-219.

Lam, F. – Barrett, JD. – Nakajima, S. (2005): Influence of knot area ratio on the bending strength of Canadian Douglas fir timber used in Japanese post and beam housing. Journal of Wood Science, 51 (1): 18-25.

Lantican, C. B. – Hughes, J. F. (1973): Variation of tracheid widths and wall thicknesses of *P. caribaea* from British Honduras. Trop Prov Prog Res Inter Coop Nairobi, Kenya, 528-531.

Latorraca, João V.F – Dünisch, O. – Koch, G. (2011): Chemical composition and natural durability of juvenile and mature heartwood of *Robinia pseudoacacia* L. An. Acad. Bras. Ciênc. vol.83 no.3 Rio de Janeiro Sept. 2011 Epub July 15.

Legionnet, A. – Muranty, H. – Lefevre, F. (1999): Genetic variation of the riparian pioneer tree species *Populus nigra*. II. Variation in susceptibility to the foliar rust *Melampsora larici-populina*. Heredity 82: 318-327.

Mahendra, K. M. – Kenneth, W. R. – Andrew J. B. (1993): Wood ash composition as a function of furnace temperature, Biomass and Bioenergy Vol. 4, No. 2, pp. 103-116.

Marchadier, H. – Sigaud, P. (2005): Poplars in biotechnology research, *Unasylva* 21231, Vol. 556, 20035

Mareschi, L. – Paris, P. – Sabatti, M. – Nardin, F. – Giovanardi, R. – Manazzone, S. – Scarascia Mugnozza, G. (2005): Le nuove varietà di pioppo da biomassa garantiscono produttività interessanti. *Informatore Agrario*, 18:49-53.

Megraw, R. A. (1985): Wood quality factors in loblolly pine. Tappi Press Atlanta, Georgia, 89 pp.

Mitchell, C. P. – Stevens, E. A. – Watters, M. P. (1999): Short-rotation forestry – operations, productivity and costs based on experience gained in the U.K. *Forest Ecology and Management* 121:123-136.

Molnár, S. – Schmitt, U. (1994): Stammverfärbungen nach Schälsschäden durch Rotwield, *Holzforschung und Holzverwertung*, 46: 1, 17-18.

Molnár, S. – Bariska, M (2002): Magyarország ipari fáit, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest

Molnár S. – Németh R. – Paukó A. – Göbölös P. (2002): A fehérynár hibridek faanyagminőségének javítási lehetőségei, *Faipar*, 2002/2, 24-26

Molnár, S. (2004/a): Faanyagismeret, Szaktudás Kiadó Ház Zrt., Budapest

Molnár, S. (2004/b): Erdő-fa hasznosítás Magyarországon, Nyme, FMK, Sopron

Molnár S. – Peszlen I. – Paukó A. (2007): Faanatómia, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest

Molnár, S – Führer, E. – Tóth B. (2008): Az ültetvényes fagazdálkodás fejlesztése, Hillenbrand Nyomda, Sopron

Monoki, Á. (2006):

<http://www.nyf.hu/others/html/kornyezettud/megujulo/Biomassza/Biomassza.html>

Mourlan, B. (2013): Situacion France 2012, ProPopulus konferencia, május 13., Szolnok

MSZ EN 13698-1:2004: Rakodólapgyártás műszaki előírása. 1. rész: A 800 mm × 1200 mm-es sík, fa rakodólapok kialakításának műszaki előírása.

MSZ EN 408:2011: Faszervezetek. Szerkezeti fa és rétegelt-ragasztott fa. Egyes fizikai és mechanikai tulajdonságok meghatározása.

MSZ 6786-3:1988: Faanyagvizsgálatok. Sűrűség meghatározása.

Murach, D. – Knur, L. – Murn, Y. – Walotek, P. – Bilke, G. – Muchin, A. Grundmann, P. – Eberts, J. – Schneider, U. (2007): Wood – raw material of the future. Sustainable Neighbourhood from Lisbon to Leipzig through Research (L2L), 8 – 10 May 2007, Leipzig

NÉBIH (2012): Erdővagyon, Erdő- és fagazdálkodás Magyarországon. Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal Erdészeti Igazgatóság, Budapest

Németh, J. – Szabadhegyi, Gy. – Kovácsvölgyi, G. (2003): LVL (Laminated Veneer Lumber) típusú, furnér alapú, szerkezeti célú anyagok előállítása hazai kitermelésből származó nyár klónok alapanyagbázisán. Faipar LI. 3. sz. 6-9.

Németh, R. (2006): Hazai lombosfák juvenilis (bél körüli) faanyagának anatómiai és fizikai sajátosságai, különös tekintettel a hazai erdőgazdálkodási viszonyokra, OTKA, Kutatási jelentés, NymE, Sopron

Németh, R. – Bak, M. – Tolvaj, L. – Molnár, S. (2009): The effect of thermal treatment using vegetable oils on physical and mechanical properties of Poplar and Robinia wood. ProLigno Vol. 5 Nr 2 2009, 33-37p.

Niemz, P. (1993): Physik des Holzes und Holzwerkstoffe, DRW Verlag

Niemz, P. – Bächle, F. (2004): 2. Vortrag „2. Thermoholz Workshop”, Tagungsband - CD, IHD -Dresden-2004 május 6-7. cím: Thermische Vergütung von Holz / Rasterelektronische Aufnahmen

Paillassa, E. (2004): Where to find poplar cultivars for 2004-05 plantations. Forêt Entreprise . 159: 47-51.

Pallay, N. (1938) : Tájékoztató vizsgálatok a kanadai- és robusztanyár műszaki tulajdonságairól, Erdészeti Lapok, 10-11. f.

Panshin, AJ. – deZeeuw, P. (1964): Textbook of Wood Technology - Vol. I. McGraw-Hill Inc. New York

Paulovics, J. – Bokányi L. (2010): Nehézfémekkel szennyezett területekről származó fásszárú biomassza égetésekor keletkező maradékanyagkezelési lehetőségei, II. Barnamezős Workshop, Miskolc 2010. március 31.

Pellis, A. – Laureysens, I. – Ceulemans, R. (2004): Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar. I. Clonal differences in leaf characteristics in relation to biomass production. *Biomass and Bioenergy* 27: 9-19.

Peszlen, I. (1993): Influence of site, clove, age and growth rate on wood properties of *Populus euramericana* clones. Dissertation, Virginia, Polytechnic Institute and State University

Peszlen, I. – Molnár, S. (1996): Magyar nyárklónok fatechnológiai tulajdonságai, *Bútor és Faipar*, II. évf. 11-12: 26-28.

Pilipovic, A. – Nikolic, N. – Orlovic, S. – Petrovic, N. (2005): Cadmium phytoextraction potential of poplar clones (*Populus* spp.). *Z. Naturforsch* 60: 247-251.

Pinon, J. (1992): Variability in the genus *Populus* in sensitivity to *Melampsora* rusts. *Silvae Genetica* 41: 25-34.

Rédei, K. (1994/a): A fehér nyár termesztésének fejlesztési lehetőségei a Duna–Tisza közti homokháton, *Erdészeti Lapok*, CXXIX. 3:72–74.

Rédei, K. (1994/b): Ígéretes fehér nyár (*Populus alba* L.) származások fatermése a Duna–Tisza közti homokháton, *Erdészeti Kutatások*, Vol. 84:81–90.

Rédei, K. (1994/c): Ígéretes fehér nyár származások fatermése a Duna–Tisza közti homokháton, *Erdészeti Lapok*, CXXX. 9:272–275.

Rédei, K. (1997): Fehér nyár klónok fiatalkori értékelése a Duna–Tisza közti homokháton, *Erdészeti Lapok*, CXXXII. 7–8:228–229.

Ricciotti, L. – Sabatti, M. – Kuzminsky, E. – Nardin, F. – Scarascia Mugnozza, G.

(2004): Poplar germplasm resources in short rotation forestry: implications for biomass production. In *Proceedings of the Second World Conference and Technological Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*. Rome May, 10-14.

Rytter, L. (2002): Nutrient content in stems of hybrid aspen as affected by tree age and tree size, and nutrient removal with harvest. *Biomass and Bioenergy* 23: 13-25.

Rytter, L. – Stener, L.-G. (2003): Clonal variation in nutrient content in woody biomass of hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *P. tremuloides* Michx.). *Silva Fennica* 37: 313-324.

Sailer, M. – Rapp, A.O. – Leithoff, H. – Peek, R.-D. (2000): Vergütung von Holz durch Anwendung einer Öl-Hitzebehandlung. *Holz als Roh- und Werkstoff* 58:15 22.

Scheidung W.: (2004) 1. Vortrag „2. Thermoholz Workshop“, Tagungsband - CD, IHD -Dresden-2004 május 6-7. cím: Thermoholzproduktion in Europa

Shiokura, T. (1982): Extent and differentiation of the juvenile wood zone in coniferous tree trunks (in Japanese). *Mokuzai Gakkaishi* 28:85-90.

Schopp, L. (1974): *Fatömegszámítási táblázatok*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest

Sixto, H. – Barrio, M. – Alba, N. – Hernández, M. J. – Montoto, J.I. – Roig, S. – Camps, F. – Salvia, J. – Ramos, A. – Garcia-Caballero, J. L. – Rueda, J. – Mazon, P., Ciria, P. – Carrasco, J. – Canellas, I. (2006): Poplar trials in Spain for biomass as a renewable energy source. Fourth International Poplar Symposium (IUFRO) Actas del Congreso. Nanjing, China, June.

Steenackers, V. (1996): Towards a global management of poplar genetic resources. FAO Twentieth Session of the International Poplar Commission, 1-4, October Budapest, Hungary. 12 pp.

Szendrei, J. (2005): A biomassza energetikai hasznosítása. *Agrártudományi Közlemények*, 2005/16. Különszám

Szodfridt, I. (2001): *Nyártermesztés*, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest

Szontagh, P. – Tóth, J.(1977): *Erdővédelmi útmutató*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest

Szontagh, P. (1989): Növényvédelmi technológiák a nyárok és a fűzek xilofág rovarainak elhárítására, Erdészeti Kutatások 143-149.

Taghiyari, H. R. – Parsapajou, D. – Karimi, A. N. – Pourtahmasi, K. (2008): Evaluation of fiber characteristics in the juvenile and mature wood of *Populus deltoides* (69/55) and *Populus × euroamericana* (cv. I-214), grown in Gillan province, Iran. Iranian Journal of Natural Resources 2008 Vol. 61 No. 3 pp. 713-722

Takáts, P. (1978): Lenpozdorja és nyár faforgács együttes felhasználásának lehetősége a lapgyártásban, Faipar XXVIII. évf. 5.sz. 145 -146.

Tolvaj, L. (2005): Lombos faanyagok minőségjavítása hidrotermikus kezeléssel. In: Erdő- fa hasznosítás Magyarországon (Szerk.: Molnár Sándor) Nyugat Magyarországi Egyetem Sopron, pp. 261-270.

Tóth, B. (2006): Nemesnyár-fajták ismertetője, Agroinform Kiadó, Budapest

Tóth, B. – Molnár, S. – Fehér, S. (2007): Az energetikai faültetvény létesítésének és hasznosításának összefüggései, II. Ökoenergetikai és X. Biomassza Konferencia, Sopron

Ugolev, B. N. (1986): dreveszinovedenie sz osnovami lesznogo tovarovedenija, Lesznaja promüslennoszty, Moszkva

Újvári, A. (2009): Nyár faanyag fizikai-mechanikai tulajdonságainak változása a faanyag termikus tömörítésével. Diplomadolgozat, Sopron

Xiaomei, J. – Yafang, Y. – Urakami, H. (2003): Variation within tree of wood anatomical properties and basic density of I-214 Poplar in Beijing area and their relationship modelling equations. Scientia silvae sinicae, 39 (6), 115-121

Yang, K.-C. (1994): Impact of spacing on width and basal area of juvenile and mature wood in *Picea mariana* and *Picea glauca*. Wood Fiber Sci. 26(4):479–488.

Vajtó, R. (2008): Nappali korpuszbutorcsalád nyárfá fűrészáru felhasználásával. Diplomadolgozat, Sopron

Van Dam, B. C. – Bordacs, S. (Editors). (2002): Genetic diversity in river populations of European Black Poplar. Implications for riparian eco-system management. Csiszar Nyomda Ltd., Budapest, Hungary, pp. 231

Wagenführ, R.-Scheiber, C. (1974): Wood Atlas, VEB Fachbuchverlag, Leipzig

Wagenführ, R. (1989): Anatomie des Holzes. Leipzig

Wagenführ, R. (1996): Holzatlas, Fachbuch Verlag, Leipzig

Winkler, A. (1987): Összefüggések négy hazai fafaj és a belőlük készült termo falemezek és cellulóz tulajdonságai között. Doktori értekezés. Sopron

Winkler, A. – Takács, P. – Alpár, T. – Bejó, L. (2001-2004): NKFP Erdő és Fa Kutatási Program, 5. Sarangolt ipari fa választékok hazai hasznosításának fejlesztése, 5.1 Tervezett tulajdonságú (irányított szerkezeti felépítésű) termékek gyártása hazai fafajokból (OSB, LVL, Gipszkötésű lapok, faforgács és műanyag kompozitok)

Zhongzheng, L. – Guangyu, Y. – Datong, Z.– Xuebing, L.(1982): Studies On The Fiber Dimension And Chemical Components Of Italian Poplars, Journal of Nanjing Forestry University , 03

Zhou, H. – Smith, I. (1991): Factors influencing bending properties of White Spruce lumber. Wood and Fiber Science, 23 (4): 483–500.

Zhu, J. – Tadooka, N. – Takata, K. – Koizumi, A. (2005): Growth and wood quality of sugi (*Cryptomeria japonica*) planted in akita Prefecture (II). Juvenil/mature wood determination of aged trees. Journal of Wood Science 51:95

Zobel B. J. – Buijtenen J. P. (1989): Wood Variation. Its Causes and Control. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg