

Komán Szabolcs

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

Doktori (Ph.D.) értekezés

**Témavezető:
Dr. Molnár Sándor
egyetemi tanár**

**Nyugat-magyarországi Egyetem
Faipari Mérnöki Kar
2012**

Nemesnyár-fajták korszerű ipari és energetikai hasznosítását befolyásoló faanatómiai és fizikai jellemzők

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében

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

Faanyagtudomány programja

Írta:
Komán Szabolcs

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

Faanyagtudomány programja keretében

Témavezető: Dr. Molnár Sándor
Elfogadásra javaslom (igen / nem)
(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton % -ot ért el,
Sopron,

.....
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr.) igen /nem
(aláírás)

Második bíráló (Dr.) igen /nem
(aláírás)

(Esetleg harmadik bíráló (Dr.) igen /nem
(aláírás)

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

.....
a Bírálóbizottság elnöke

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

.....
Az EDT elnöke

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS	7
2. A KUTATÓMUNKA TUDOMÁNYOS ELŐZMÉNYEI	10
2.1 TERMESZTÉSI, NEMESÍTÉSI, ERDŐVÉDELMI KUTATÁSOK.....	10
2.2 FAANYAGTUDOMÁNYI ÉS HASZNOSÍTÁSI KUTATÁSOK, GYAKORLATI EREDMÉNYEK...	16
2.2.1 <i>Faanatómiai kutatások</i>	16
2.2.2 <i>Fafizikai és hasznosítási kutatások, gyakorlati eredmények</i>	19
2.2.3 <i>Feldolgozási sajátosságok, felhasználási területek</i>	25
3. VIZSGÁLATI ANYAGOK, MÓDSZEREK	28
3.1 A VIZSGÁLATOKHOZ FELHASZNÁLT ANYAGOK	28
3.2 FAANATÓMIAI, FAFIZIKAI VIZSGÁLATOK	29
3.2.1 <i>Évgyűrűszélesség - testsűrűség mérés</i>	29
3.2.2 <i>Rosthosszúság, juvenilisfa, sejtfallvastagság meghatározása</i>	30
3.3 ÉNERGETIKAI VIZSGÁLATOK.....	32
3.3.1 <i>Fatest-kéreg arány</i>	33
3.3.2 <i>Fűtőérték</i>	33
3.3.3 <i>Száranyagtartalom és testsűrűség meghatározása</i>	34
3.3.4 <i>Hamutartalom, hamuösszetétel</i>	36
3.4 SZILÁRDSÁGI VIZSGÁLATOK	36
4. A KUTATÁS EREDMÉNYEI	41
4.1 AZ ANATÓMIAI JELLEMZŐK ÉS A FAANYAGSŰRŰSÉG KAPCSOLATA.	41
4.1.1 <i>Rosthosszúság</i>	41
4.1.2 <i>Évgyűrűnkénti testsűrűség</i>	43
4.1.3 <i>Évgyűrűszélesség</i>	44
4.1.3 <i>Az évgyűrűszélesség, rosthosszúság és a testsűrűség kapcsolata</i>	45
4.1.4 <i>A farostok (libriform rostok) falvastagsága, a kettős sejtfal és lumen aránya</i> ...	47
4.2 AZ ÉLETKOR SZEREPE A NYÁR FAANYAG ÉNERGETIKAI JELLEMZŐIT BEFOLYÁSOLÓ TULAJDONSÁGOK ALAKULÁSÁBAN.	49
4.2.1 <i>Fatest-kéreg arány</i>	49
4.2.2 <i>Testsűrűség, száranyagtartalom</i>	50
4.2.3 <i>Fűtőérték</i>	52
4.2.4 <i>Hamutartalom</i>	53
4.2.5 <i>Hamuösszetétel</i>	54
4.3 A NYÁR ÁGGÖCSÖK HATÁSA A FAANYAG EGYES SZILÁRDSÁGI JELLEMZŐIRE	55
5. AZ ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK TÉZISSZERŰ ÖSSZEFOGLALÁSA	64
6. A KUTATÁSI EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSULÁSA.....	67
7. TOVÁBBI KUTATÁSI FELADATOK	70
8. IRODALOMJEGYZÉK	71
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	82
MELLÉKLETEK	84

KIVONAT

A disszertáció a nemesnyár-fajták szélesebb körben való alkalmazhatóságának és racionálisabb felhasználhatóságának alapkutatói kérdésével foglalkozik. A Magyarországon köztermesztésbe bevont nemesnyárok közül a jelenleg kiemelkedő szerepet játszó *Populus x euramericana* cv. Pannonia és *Populus x euramericana* cv. I-214 klónok kerültek elsősorban vizsgálat alá.

A nyárat sok esetben háttérbe szorítják más fafajokkal - elsősorban a fenyőkkel - szemben. Az elvégzett vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy a nemesnyárok esetében a szélesebb évgyűrűknek nem következménye a sűrűség csökkenése, ezért az ilyen irányú hátrányos megkülönböztetésük alaptalan. A juvenilis faanyag azonos értékűnek tekinthető az érett fával, azonban a különböző nemesnyár-fajtákat elsősorban a jelentős sűrűségbeli különbség miatt célszerű külön kezelni. A szerkezeti célú alkalmazásuk esetében a göcsösség negatív hatása miatt előnyben kell részesíteni őket a fenyőkkel szemben, mivel a szilárdsági jellemzőikre ez kevésbé van hatással. Ez annak köszönhető, hogy a nyárok esetében a göcsök és a normál fatest szöveti szerkezete között szorosabb kapcsolat van, tehát a göcsök kevésbé viselkednek „idegen testként” a faanyagban. Ez új területeket nyithat meg a szerkezeti célú felhasználásuk szempontjából. A nyár ültetvények energetikai jellemzőire nincsen jelentős hatása a betakarítási kornak. Ennek következtében a vágásforduló ezeket a jellemzőket csekély mértékben befolyásolja. A fatérfogatra vetített fűtőérték vonatkozásában, azonban nagy jelentősége van a genetikai tényezőknek (a fajtának).

Abstract

This dissertation describes the possibilities of wider and more rational usage of the hybrid-poplars. The *Populus x euramericana* cv. Pannonia and *Populus x euramericana* cv. I-214 clones are in main focus which have significant role among the production of hybrid poplars currently preferred in Hungary.

The poplars are often overshadowed by other tree species, mainly softwoods. Studies have stated that in case of poplars the wider annual rings are not causing the reduction of density therefore the discrimination of poplars in this regard is ill-founded. The juvenile wood considered to have equal value with mature wood, but due to the significant difference in density the different hybrid-poplars should be managed separately. Due to the negative effects of knots the hybrid-poplars must be preferred against softwoods in case of structural usage, as the knots have less effects on their density. This is due to the fact that in case of hybrid poplars there are stronger connections among the knots and normal wood tissue, so the knots are working less likely as an alien part in the wood. This could open up new areas for their use in structural terms. The harvest time has no significant effect on the energy characteristics of hybrid poplar plants. As a result, the cut round has little effect on these characteristics. However, in regard to the calorific value per wood volume the genetic factors (the cultivar) have great importance.

1. Bevezetés, célkitűzés

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

Mivel az ültetvényyszerű fatermesztés elvi és gyakorlati feltételeit leginkább a nyárok elégítik ki, ezért az ültetvényyszerűen termesztendő fafajok között ma világszerte a legnépszerűbbek közé tartoznak. A nemesítési, termesztési és hasznosítási kérdéseiket a Nemzetközi Nyárfa Bizottság (International Poplar Commission) koordinálja.

A fenti tények alapján természetes, hogy a nyárok termesztésével, feldolgozásával és faanyaguk tulajdonságaival számos kutató foglalkozott. Ezért nem komplex anatómiai és fizikai vizsgálatok elvégzésére törekedtem, hanem olyan kérdésekre kerestem választ, amelyek hozzájárulhatnak a - már adott és egyre növekvő - nyárfa állományok eredményesebb termesztéséhez és szélesebb körű felhasználásához.

Nem képezte a kutató munkám alapvető tárgyát a fajtanemesítés faminőségi összefüggéseinek vizsgálata, de a korábbi saját és egyéb hazai illetve külföldi vizsgálatok alapján a fatest sűrűségi értékei és a fontosabb felhasználási területek megjelölésével csoportosítottam az ismert fajtákat.

Célkitűzéseim ennek megfelelően a következőek voltak:

A nyárok racionális energetikai hasznosításában fontos eldöntendő kérdés a kitermelés korának optimális meghatározása, ezáltal a kor befolyásoló szerepének tisztázása. Ennek megfelelően vizsgáltam a rövid vágásfordulójú (2-3 év, 1. ábra), a középkorú (8-10 év, 2. ábra) és az ipari szempontból vágásérett (15-20 év) ültetvényekből kikerülő faanyagok fűtőértékét és egyéb az energetikai felhasználás szempontjából fontos jellemzőit (száranyagtartalom, hamutartalom).



1.ábra Aprítékkészítés (fotó:Püski)



2.ábra Nyár energiaültetvény (fotó:Monoki)

*A szerkezeti célú felhasználást hátrányosan érintő göcsösség szerepéről anatómiai és fafizikai vizsgálatokkal igyekeztem pontos képet adni. Ezek a vizsgálatok a nyárak fokozottabb építészeti és bútorigipari célú felhasználását szolgálják. Mivel gyakran a nyárakat a fenyőkkel (3. ábra) együtt illetve egymás helyettesítésére használják, ezért a kísérletekben a nyárak faanyagát a síkvidéki homokos tájainkon elterjedten termesztett erdeifenyővel (*Pinus sylvestris L.*) hasonlítottam össze.*



3.ábra Göcsös fenyő tartószerkezet



4.ábra Nyár rakodólap

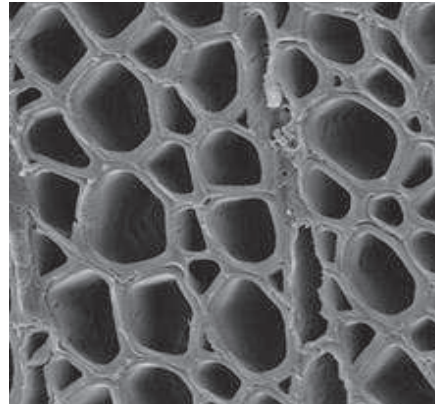
Kiemelkedő szakmai kérdésnek tekintettem az évgyűrűszélesség és a fatest sűrűsége közötti kapcsolat egyértelmű tisztázását, mivel a nyárak felhasználását egyes termékszabványokban rögzített - az évgyűrűszélességre vonatkozó - paraméterek jelentősen behatárolják. Ez különösen fontos a nyár rakodólap gyártásban (4. ábra).

A témához kapcsolódóan szükségesnek tartottam a bélkörüli „juvenilisfa” befolyásoló szerepének tisztázását is (5. ábra).

Hasonlóan fontos kérdésnek tekintetem a sejtfalvastagság változásának tisztázását (6. ábra), mivel ez közvetlenül befolyásolja az évgyűrűszerkezet (szélesség) és a fatest fizikai tulajdonságai (sűrűség, keménység) közötti kapcsolatokat.



5.ábra Nyár faanyag ('Pannonia') keresztmetszete



6.ábra Nyár faanyag ('Pannonia') scanning elektronmikroszkópos felvétele (fotó:Bariska)

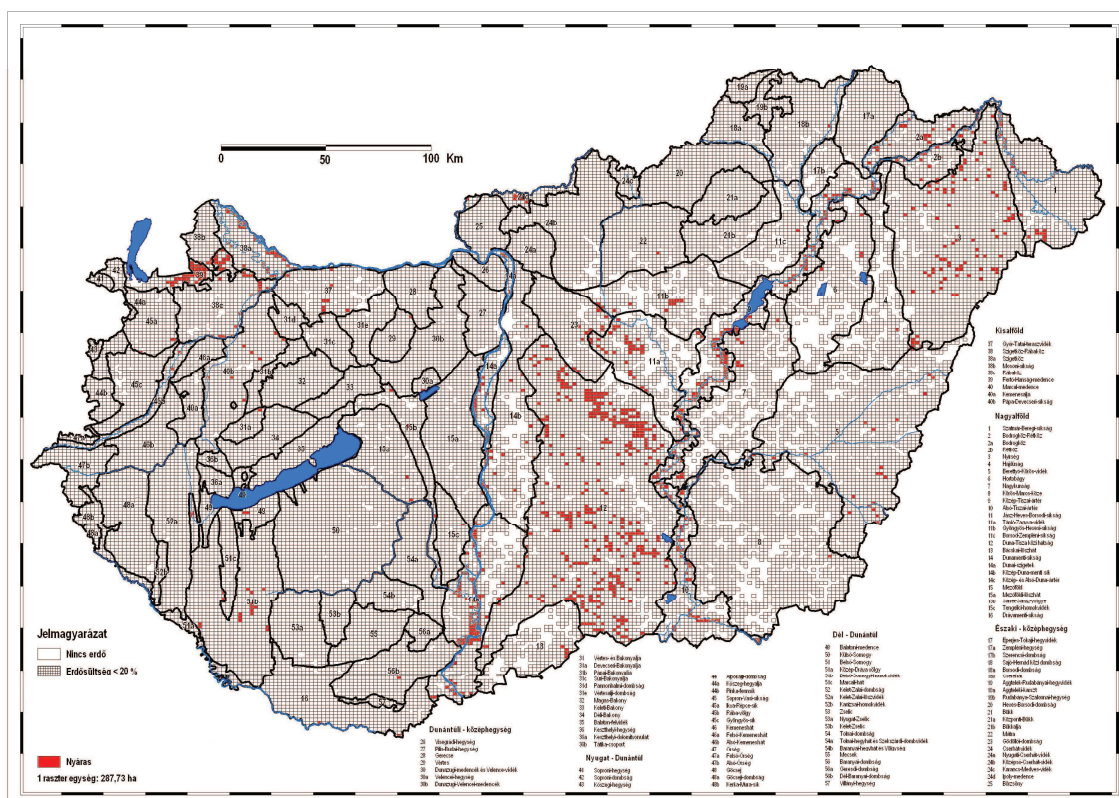
A dolgozat tartalmi részében a vizsgálatok összesített eredményeit mutatom be, a részletes adatokat és részeredményeket a mellékletek tartalmazzák.

2. A kutatómunka tudományos előzményei

A kutatási témához közvetlenül kötődő faanatómiai és fafizikai vizsgálatok előzményeinek ismertetése előtt fontosnak tartottam áttekinteni a termesztési, nemesítési, erdővédelmi kutatásokról szóló szakirodalmakat, mivel ezek szoros összefüggésben vannak a kitermelt faanyag tulajdonságaival.

2.1 Termesztési, nemesítési, erdővédelmi kutatások

A szomorú trianoni békeszerződés eredményeként hazánk elvesztette erdeinek 4/5 részét. A Kaán Károly által meghirdetett alföldfásítási programhoz kapcsolódóan az 1920-30-as években megindultak a nyárak 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 magyarországi helyzetének (7. ábra) a kialakulása több, a második világháborút követő nyárfa-telepítési programnak az eredménye. Ennek köszönhetően 1968-ra 102 ezer ha, 1981-ben pedig már 167 ezer ha volt a nyárasok területe (TÓTH, 2006).



7.ábra Nyárasok területi eloszlása Magyarországon (forrás: MgSZh)

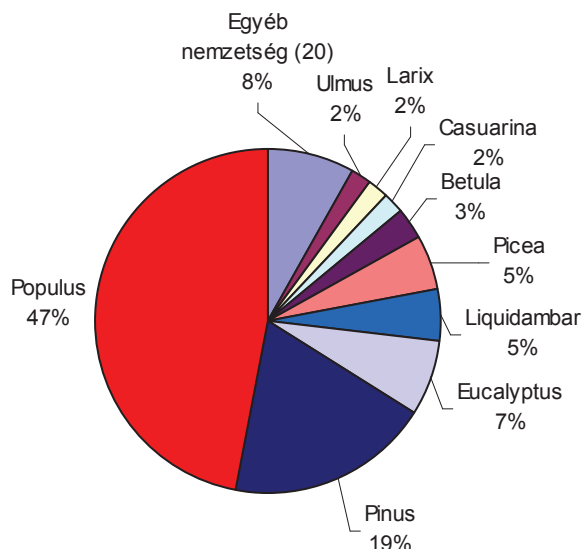
A kezdeti időszakban még őshonos nyárasok (*P. alba*, *P x canescens*, *P. nigra*) álltak rendelkezésre, majd az 1930-as évektől kezdődött a telepítése a nemesített fajták közül a *Populus x euramericana* cv. Marilandica ('Korai' nyár), a *Populus x euramericana* cv. Serotina ('Késői' nyár) és a *Populus 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', 'Kopecky'). Az 1966-ban indított mezőgazdasági cellulóznyáras program alkalmával nagy léptékű telepítések valósultak meg a *Populus x euramericana* cv. I-214 (olasz nyár) fajtával. Ma mintegy 26 államilag minősített nemesnyár fajta és fajtaminősítési bírálat alatt álló nemesnyár klón áll a termesztők rendelkezésére.

Fontos még 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 kiemelkedő szerepet játszik a 'Pannonia', 'I-214', 'Koltay', 'Kopecky', de kiemelkedő termesztési értékük alapján a jövőben nagyobb arányú termesztésre javasolható további nemesnyár fajták: 'Agathe-F', 'Bl-Constanzo', 'Triplo', nyárok és várhatóan a 'Raspalje' illetve az 'Unal' balzsamosnyár hibridek is (TÓTH, 2006).

Az, hogy mekkora lehetőség rejlik még a nyárakban jól mutatja, hogy világviszonylatban a különböző génmódosításokhoz kapcsolódó kutatások csaknem fele a főbb fanemzetségeket figyelembe véve a nyárakhoz köthető (8. ábra).



8.ábra Génmódosítási kutatások a főbb nemzetségek viszonyában (forrás: Marchadier, Sigaud 2005)

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 (Forrás: 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-i Nyárfa Kutatóintézet. Az olaszországi nyáranemesítés 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 biomaszatermesztés 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 Skandináv államokban a termőhelyi viszonyokkal összhangban elsősorban a rezgőnyár alapú nemesítésekre fókuszálnak. Finnországban a 90-es évek közepe felé lendült fel a nyárak 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 nyárakra és ennek a jegyében végzik a nemesítési kísérleteket is. Az elsődleges célpontjuk a biomaszatermesztés 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* fajtaival találkozhatunk, amelyek között megtalálható a hazánkban nemesített 'Pannonia' is. Elsősorban itt is a rövid vágásfordulójú, nagy tömegű biomassza előállításra alkalmas klónok nemesítése folyik.

Spanyolországban elsősorban a furnér- és a papírgyártás miatt kezdtek el a nemesnyárral 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 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).

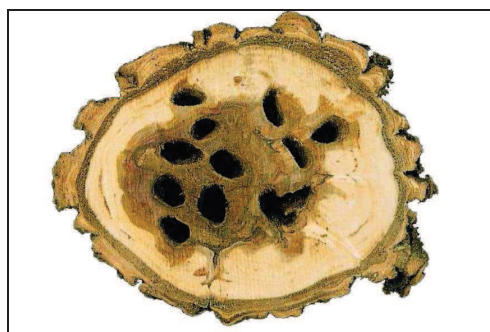
Említést érdemelnek még az őshonos nyárok közül kiemelkedő jelentőségű fehér nyár hibridek. Ezek jelentősége egyre nő a száraz homokos termőhelyeken. Az e területen folyó értékes termesztési, nemesítési kísérleteket elsősorban a Duna-Tisza köze szélsőséges termőhelyein végzik (RÉDEI 1994/a,b,c, 1997). Faanyagtudományi és hasznosítási szempontból a figyelem a „szurkos gesztűség” mérséklésére irányul (MOLNÁR ET AL. 2002).

Igen fontosak voltak azon kutatások is, amelyek a termőhelyi kérdésekkel, az öntözéssel, a szennyvíz és a hígtrágya hasznosítással függtek 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 rövid vágásfordulójú energetikai faültetvények még az ültevények 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 ültetvények gyommentesítésének. E mellett számos gomba- és rovarkártevő jelenhet meg tömegesen, amelyek potenciálisan veszélyeztethetik az ültetvényeket, így esetenként gyors beavatkozás szükséges. Az energetikai faültetvények növényvédelmét kiemelten fontos kérdésként kell kezelni az ültetvények gazdaságosságának megőrzése érdekében (KOLTAY 2010).

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 kéregréteg elhal. A Nyár karcsúdíszbogár (*Agrilus suvorovi populneus*) elsősorban a nem megfelelő helyre telepített nyárasok veszélyes kártevője. Az álcák rágásának következményeként egy erősebb szél a fákat derékba töri. 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 (9. ábra), és ennek következtében álgesztesedést is okozhat. A fa belsejében rejtetten él, elsősorban idősebb állományokban, de néha már 3-5 éves telepítésekben is károsít.



9.ábra Nagy nyárfacincér károsítása (fotó:Csupor)

2.2 Faanyagtudományi és hasznosítási kutatások, gyakorlati eredmények

Áttanulmányozva a nyárakkal kapcsolatos irodalmakat megjegyezhető, hogy sajnálatos módon – a nemesítés alapvető gazdasági céljai ellenére – a kutatásokban rendszerint háttérbe szorultak vagy kimaradtak a faanatómiai és fafizikai vizsgálatok.

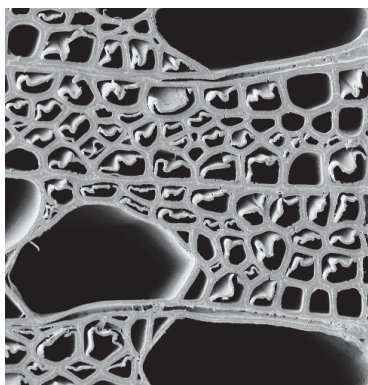
A kutatási célkitűzésekkel összhangban ezért áttanulmányoztam az anatómiai szerkezet, a fizikai sajátosságok és az azokkal kapcsolatban lévő ipari és energetikai hasznosítással foglalkozó irodalmakat.

2.2.1 Faanatómiai kutatások

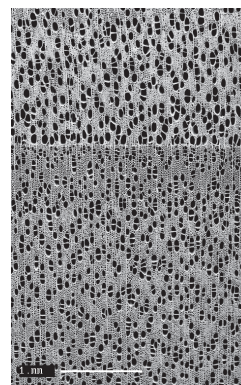
A nyárak anatómiai felépítését (10-11. ábra) az alapvető irodalmak (GENCSI 1973, WAGENFÜHR, SCHEIBER 1974, CHOVONEC 1986, WAGENFÜHR 1989, BABOS ET AL. 1979, MOLNÁR ET AL. 2007) általánosságban jól bemutatják: szórtlikacsú fatest, elmosódott évgyűrűhatár, egy sejtsoros bélsugár, vékonyfalú, bőüregű 1-1,3 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.

Tapasztalataim szerint 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 (11. ábra).



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



11.ábra Nyár faanyag (’Óriás’ nyár) elektronmikroszkópos felvétele (fotó:Bariska)

Úgy gondolom, hogy fontos további kutatási feladat lehet a mai korszerű mikroszkópos technika segítségével a köztermesztésbe bevont fajták egzakt anatómiai leírása.

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 különbségeket mutatnak, ezért sem beszélhetünk egy fatörzsön belül egységes faszerkezetről. 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.	átl.	%
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 elért 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 (10. ábra) előfordulása. Munkássága kiterjedt az ültetvényes fáknál a juvenilisfa szerepének feltárására is. A juvenilisfa technológiai sajátosságának megfelelő tisztázására azonban fontosnak tartottam néhány kiegészítő fizikai vizsgálat elvégzését.

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 (12. ábra) két szempontból okoz problémát. Egyrészt a rétegeltlemez gyártásnál a nyár borítófurnér amennyiben színes geszt mentes, akkor értéke 40-50%-kal 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 értékesebb ipari hasznosítását (pl. bútorelemek, tömör fa panelek, gyufagyártás).



12.ábra 'Pannonia' nyár rendellenes gesztesedése
(fotó: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. Véleményem szerint 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 Fastechnológia 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).

Ezen vizsgálati eredményekkel összefüggésben meg kell jegyeznem, hogy 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 fajok csoportját genetikailag más és más anatómiai felépítéssel rendelkeznek. Ennek következtében várhatóan eltérő módon reagálnak a különböző igénybevételekre.

A nyárok különböző szerkezeti célú felhasználását a fahibák közül elsősorban a göcsösség befolyásolja. A göcsösség szilárdságra gyakorolt hatásainak vizsgálatára a fenyők és a kőris esetében találtam módszereket és eredményeket (PANSKIN, DE ZEEUW 1964, ZHOU, SMITH 1991, DIVÓS, TANAKA 1997, FALK ET AL. 2003, LAM ET AL. 2005). Nem találtam azonban olyan irodalmi közléseket, amelyek a nyárok göcsössége és szilárdsági tulajdonságai közötti összefüggéseket vizsgálta volna. E területen azért is tartottam fontosnak vizsgálni, mivel a nyárok méltánytalanul háttérbe szorítják a szerkezeti célú felhasználás terén.

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 tisztázására végeztem vizsgálatokat a nyárok esetében, amelynek alapján az állítás helyessége igazolható illetve cáfolható. Ez 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 fajok 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 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 felhasználásban ezért feltétlenül indokolt az egyes fajták határozott elkülönítése.

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 rajzollal 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 fafajok 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 (13. ábra) perspektivikus módszer lehet a nyárak dimenzió-stabilitásának, keménységének és nyomószilárdságának növelésére. Negatívumként jelentkezik azonban az üto-hajlító szilárdság csökkenése, vagyis a faanyag ridegedése. Az olajban való termikus kezelés további felhasználási területeket nyithat a nyárak előtt (pl. ajtó, ablakgyártás).



13.ábra Növényi olajban kezelt 'Pannonia' nyár különböző hőmérsékleteken illetve időtartamon (fotó: Bak)

A témában folyó további kutatások (BAK, Németh 2012, 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 alapkutatások 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, 14. ábra), az elemes korpusz-bútor 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.



14.ábra Óvodabútor nyár faanyagból (fotó:Lukács)

A nyárak termesztésével és hasznosításával összefüggésben résztvevője lehettem egy nemzeti szintű kutatási programnak (MOLNÁR ET AL. 2008), amely keretében lehetőségem nyílt megismerni a hasznosítás legkülönbözőbb területeit. E projekt keretében többek között vizsgálták az MDF és HDF farostlemezek gyártását ültetvényes fafajok, köztük különböző korú nyárak felhasználásával (ALPÁR ET. AL. 2006, 2007). A nyárak forgácslap ipari hasznosítása területén korábban is folytak már 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 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, RÁ CZ 2006). Érdeemes felfigyelni arra a tényre is, hogy ma már a bükk és a nyír előtt a nyárak a rétegelt lemezipar legfontosabb fafajai Európában.

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 fejlesztése, 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 biomassa 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 (nyárainál 30-40 m³ is elérhető). Az ERTI nagyszámú új nyár, fűz- és akácfaültetvényt állított elő, de megjelentek már az olasz fajták is. Az összes energetikai lehetőség az energetikai ültetvényekből és energiaerdőkből 1 millió m³/év.

Energetikai faültetvényeknél különösen a gyorsan növekvő fajok (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 termelés 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.) sarjaztatásos és hengeres energetikai faültetvény kategóriákat határoz meg. A sarjaztatásos energetikai faültetvény esetén a vágásforduló nem haladhatja meg az 5 évet, a hengeresé pedig a tizenöt évet. 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 sarjzartatásos 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).



15.ábra 2 és 10 éves nemesnyár ('Pannonia') ültetvények (fotó: Ivelics)

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 (3. táblázat) megállapítható, hogy a hazai fakitermelésben döntő szerepet játszó nyárok viszonylag nagy kéreghányaddal rendelkeznek.

3.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 nyárok	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 kérge. 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 termesztéstechnológiához szorosan hozzátartozó tényezők. Az áttanulmányozott irodalmak között nem találtam azonban tudományos eredményeket az ültevények korának, mint befolyásoló tényezőnek a tisztázására. Ezért tartottam fontosnak - a technológiai rendszereknek megfelelően - meghatározni a különböző korú ültevények fontosabb energetikai jellemzőit.

2.2.3 Feldolgozási sajátosságok, felhasználási területek

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

- rétegtlemez- és gyufaipari felhasználás
- fűrészipari termékek
- bútort- és épületszerkezeti elemek
- cellulóz-, farostlemez- és forgácslapgyártás

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

A feldolgozni kívánt alapanyagok megfelelő minőségének biztosítása érdekében, a termesztéssel 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 szijácsrészek eltérő kezdő nedvességtartalma. A nyár furnéroból elsősorban rétegtlemezeket 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 fűrészárúkat 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 kihozatalt eredményező szalagfűrész megoldások.

A jellemző nyár fűrészipari termékek közül a rakodólapelemek gyártása jelenti a legnagyobb volumet. 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 fűrészelve, 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. fehérsnyár) előfordulnak ragasztási rétegelválások

A szárított nyárfát fatömegcikk (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 dunaújvárosi félcellulóz gyártás mára már megszűnt)

A szakirodalom tanulmányozása és a gyakorlati problémák vizsgálata arra utal, hogy a célkitűzéseimmel összhangban fontos kutatási feladatnak kell tekinteni:

- *A nyárok juvenilisfa tulajdonságainak vizsgálatához (rosthosszúság, sejtfalvastagság, sűrűség) a juvenilisfa mértékének (mennyi évgyűrű) meghatározása mellett különösen fontos annak tisztázása, hogy a fizikai tulajdonságok vonatkozásában van-e eltérés az érett és a juvenilis nyár fatest között.*
- *Az évgyűrűszélesség és a faanyag sűrűsége közötti kapcsolat vizsgálatát, amely a nagyszámú nyár kutatási eredmények ellenére nincs még feltárva.*
- *Az energetikai nyár ültetvények, energiaerdők létesítése szempontjából sürgős kutatási feladatnak tekinthető a kor szerepének faanyagtudományi tisztázása.*
- *Az ággöcsök szilárdságot befolyásoló szerepének vizsgálatát a nyárok szerkezeti célú (építészet, bútorgyártás) felhasználása szempontjából.*

A fenti 4 gyakorlati jelentőségű alapkutatási feladat képezte értekezésem témakörét.

3. Vizsgálati anyagok, módszerek

3.1 A vizsgálatokhoz 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 10,6%-át, az összes fakitermelés 16%-át teszik ki. Külön értékelve a nemesnyár klónokat, azok közel 7%-os területi részaránya, mintegy 13% a bruttó fakitermelés megoszlásában, valamint közel 8%-os részarányú az erdősítésekben (MGSZH 2011). Ezek az adatok arra utalnak, hogy ezen fafajták jelenlétével, ill. erdőgazdálkodási szerepével folyamatosan számolni kell.

4.táblázat Nyár fajtaszortiment (BOROVICS 2008)

Államilag elismert és állami elismerésre bejelentett nemesnyár fajták Magyarországon						
Fajtacsoport (szekció)	Aigerios fekete nyárok		Tacamahaca balzsamos nyárok		Leuce fehér nyárok	
Földrajzi elterjedés	Eurázsia	Észak-Amerika	Észak-Amerika	Kelet-Ázsia	Eurázsia	Észak-Amerika
Fajok	P. nigra	P.deltoides	P. trichocarpa P.balsamifera	P. maximowiczii P. laurifolia	P. alba	P. grandidentata
Fajtaváltozatok, hibridek, fajták, klónok		P.deltoides x P.deltoides	P. maximowiczii x P. trichocarpa: 'Meggylevelű'		P. alba x P. alba: 'Villafaranca' 'Homoki'	
		P. x euramericana 'Robusta' 'I-214' 'I-273' 'I-154' 'I-45/51' 'Pannonia' 'Kopecky' 'Koltay' 'Parvifol' 'Sudar' 'Agathe F' 'BI', 'Blanc du Poitou' 'H-328' 'Luisa Avanzo' 'Rábamenti'				
		P.deltoides x P. x euramericana 'Adonis' 'S298-8' 'Triplo'				
		P. trichocarpa x P. deltoides 'Beaupré' 'Raspelje' 'UNAL'		P. nigra cv. 'Italica' x P. x berolinesis (P. laurofolia x P. nigra 'Italica') 'Kornik 21'		P. alba x P. grandidentata 'Favorit' 'Sudarlós'
					Államilag elismert ERTI fajta Államilag elismert nem ERTI fajta Bejelentett ERTI fajtajelölt	

A nemesnyárok által képviselt erdőterület mintegy 70%-án 4 fajtából létesült ültetvények találhatóak ('Korai nyár', 'Óriás nyár', 'I-214', 'Pannonia'). Ugyanakkor a forgalmazott simadugványok 67%-át a két legismertebb fajta ('Pannonia': 40%, 'I-214': 27%) szaporítóanyaga teszi ki (BÁRÁNY ET AL. 2008).

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 fogékonysága 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. Ezek függvényében a vizsgálatokat 3 csoportban végeztem:

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

3.2 Faanatómiai, fafizikai vizsgálatok

3.2.1 Évgűrűsége - testsűrűség mérés

A faipari feldolgozás szempontjából fontos az évgűrűsége 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 évgűrűszerkezet kapcsolatainak elemzése.

A vizsgálatokhoz speciális módszert alakítottam ki évgűrűnként vett faminták higanyos térfogatmérésével, a fatesten belüli sűrűségváltozás meghatározásához.

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

A mellmagasságban kivágott korongokon a bétől a kéreg felé haladva húzott illetve nyomott irányokban történtek az évgyűrűszélességi mérések. A két irányban mért adatok átlagai szolgáltatották az évgyűrűszélességeket (16. ábra).



16.ábra Évgyűrűszélesség meghatározása

Az évgyűrűszélesség lemérése után évgyűrűnként felszeleteltem a faanyagot. A sűrűség meghatározásához a tömeg és térfogat ismeretére volt szükség.

A tömeg meghatározása Sartorius típusú analitikai mérlegen történt 4 tizedes pontossággal. A térfogat méréséhez Breuil-féle készüléket használtam, amely eszközzel higanyba való merítéssel határozható meg a faanyag térfogata. A mérések előtt a faanyagot Binder típusú klímasekrényben normál klímán ($t=20^{\circ}\text{C}$, $\varphi=65\%$) klimatizáltam. A normál sűrűséget az ismert összefüggéssel határoztam meg:

$$\rho_n = \frac{m_n}{V_n}, \text{ ahol}$$

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

3.2.2 Rosthosszúság, juvenilisfa, sejtfalvastagság meghatározása

A rosthosszúság méréséhez a faanyagot Jeffrey-féle (10% HNO_3 és 10% CrO_3 vizes oldata) macerátummal való kezeléssel sejteire bontottam. 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 legújabb elfogadott tudományos eredmények alapján a regressziós modellt választottam. 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 függvényt illesztettem. A juvenilis kor határának SHIOKURA (1982) által megállapított 1% alá eső görbe csökkenést vettem alapul, 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 végeztem el a sejtfalvastagsági méréseket, melyek vizsgálatához e területen először alkalmaztam az elektronmikroszkópos technológiát. A libriform rostok sejtfalvastagságának elemzéséhez egy átlagos sugár mentén 1cm széles csíkot vágtam ki a nyár korongból (17. ábra). Ezt a mintadarabot vágtam fel az évgűrük mentén - az évgűrűszélességtől függően - olyan méretekre, hogy azok a scanning elektronmikroszkópos (SEM) felvételhez megfeleljenek. A korai - bélkörüli - erőteljesebb növekedési szakaszban a minták 1-2, míg a palásthoz közelebb esők már 3-5 évgűrűt foglaltak magukba.

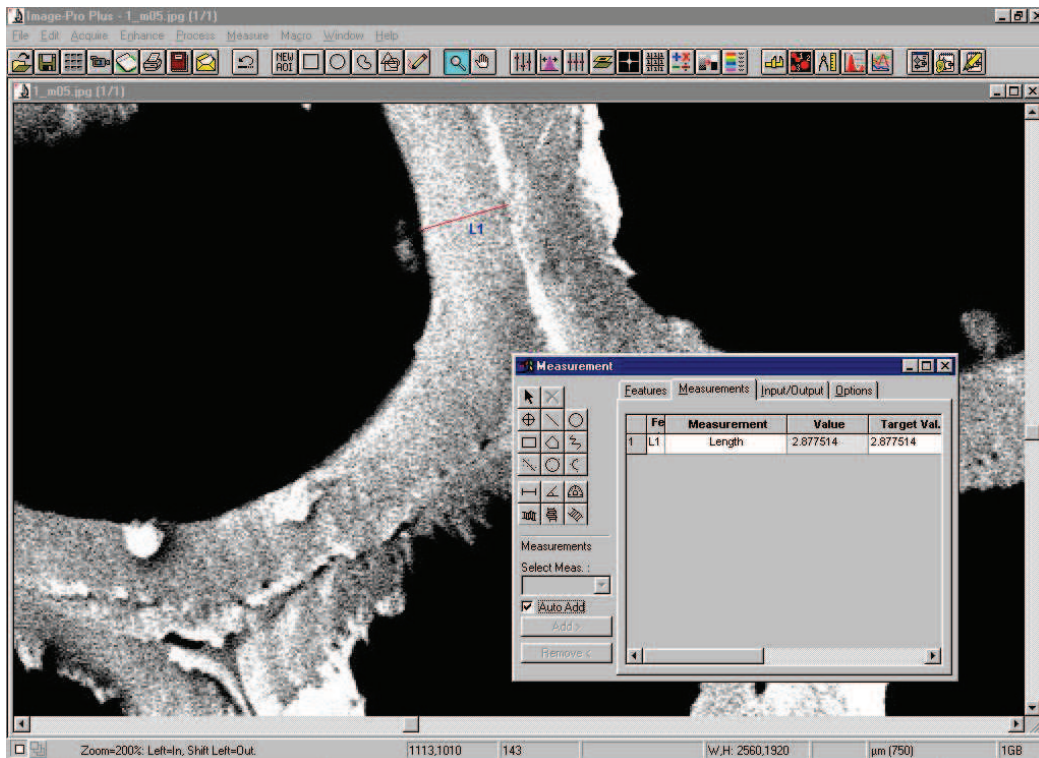


17.ábra SEM-os elemzéshez előkészített 'I-214' nyár minták

A felületek kialakításához mikrotóm metszetvágó készüléket használtam. A faanyagot metszés előtt főzéssel megpuhítottam, 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 felületét Polaron SC7620 típusú gép segítségével 'aranyoztam' be.

A SEM segítségével a bélkörüli juvenilis farészről, valamint a palásthoz közeli érett farészről készítettem felvételeket 750-szeres nagyításban. Az évgűrűn belül mindkét esetben a korai és a kései pásztákról készített képeket elemeztem. Egy-egy felvételen - a minőségtől függően - több libriform rost sejtfalvastagságát mértem. Az analízis Image-Pro Plus 4.0 képelemző szoftverrel történt (18. ábra).



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

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

3.3 Energetikai vizsgálatok

A különböző fafajok 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 fafajokból álló állományok energetikai jellemzőinek meghatározására, továbbá az egyes paraméterek összefüggéseinek kimutatására irányultak. A kutatási célok közül különösen fontosnak tartottam a kor szerepének tisztázását, mivel a vékonyabb, juvenilis faanyagok még kevésbé gesztesednek és anatómiai szerkezetük sem stabilizálódott. Ugyancsak

szükségesnek ítélt meg a jelentős arányú (12-20%) kéreg energetikai szerepének korrekt tisztázását is.

3.3.1 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. Ezeken belül az átlagos átmérő, a geszt-szijács valamint a kéregarány került meghatározásra százalékosan az átmérőhöz viszonyítva.

3.3.2 Fűtőérték

A fűtőérték meghatározása Berthelot-Mahler féle kaloriméterben (20. ábra) történt, amelyben a mintákat tablettá formában kell égetni, ezért a vizsgálandó farészből tablettázó présel (19. ábra) megfelelő tablettát (1g) kell készíteni.



19.ábra Tablettázó prés



20.ábra Berthelot-Mahler féle kaloriméter

A mintából tablettázás előtt táramérlegesen 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 (5. 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 történtek a korong kivágások, amelyekből forgácsolással lettek előállítva a mérésekhez szükséges minták. A forgácsok elkészítése kör- illetve szalagfűrészen történt.

5.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 telepítést a térségben nem találtam.

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.

3.3.3 Szárazanyagtartalom és testsűrűség meghatározása

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 légszáraz állapotú (kb. 12% nettó nedvességtartalmú) faanyag tömege illetve térfogata.

- abszolút száraz (u=0%)

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

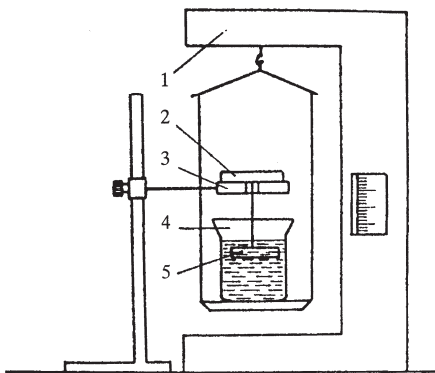
m_0 és V_0 az abszolút száraz állapotra kiszáritott ($u=0\%$) faanyag tömege illetve térfogata.

A fentieken 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 fának mennyi a száraz faanyag tartalma. Ennek az értéknek az ismeretében meghatározható a faállományok szárazanyag produkciója:

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

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

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



21.ábra A bázissűrűség meghatározásához alkalmazott térfogatmérés elvi vázlata

(1-mérleg, 2-tű a próbatest függesztésére, 3- konzolos tartó, 4-edény vízzel, 5-próbatest)



22.ábra A törzsmetszetek (korongok) térfogatának meghatározása

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 (22. ábra). 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.

3.3.4 Hamutartalom, hamuösszetétel

A biomassza 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 farész (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 vizsgálatokat az UIS Ungarn Laborvizsgálati és Szolgáltató Kft. végezte.

3.4 Szilárdsági vizsgálatok

A szerkezeti faanyag szempontjából a göcsösség a legkedvezőtlenebb fahiba. Az ágnek 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 (6. táblázat).

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

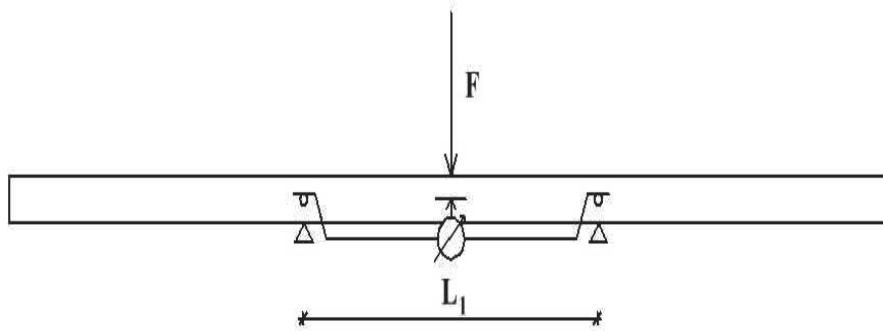
A göcsök együttes mérete az alkatrész szélességének %-ában	Szilárdság a hibamentes fáéhoz viszonyítva (%)			
	erdeifenyő	tölgy	bükk	nyír
0,1	86	88	92	84
0,2	77	85	72	76
0,3	67	85	65	70
0,4	58	77	56	-
0,5	49	-	47	-

A vizsgálatok több, a hajlítoszilárdságot befolyásoló tényező fontosságát elemezték, mint pl. a rugalmassági modulus, 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 euramericana* 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 az erdeifenyőt (*Pinus sylvestris* L.) választottam, mivel hazánkban a fenyők közül az élőkészlet 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. A próbatestek nedvesség tartalma igen magas volt, magasabb mint a rosttelítettségi határ. Mivel nem volt lehetőség a minták kiszáritására, így a nedvességtartalom 45%-ra lett beállítva. A minta elemszám 40-40 darab volt sorozatonként.

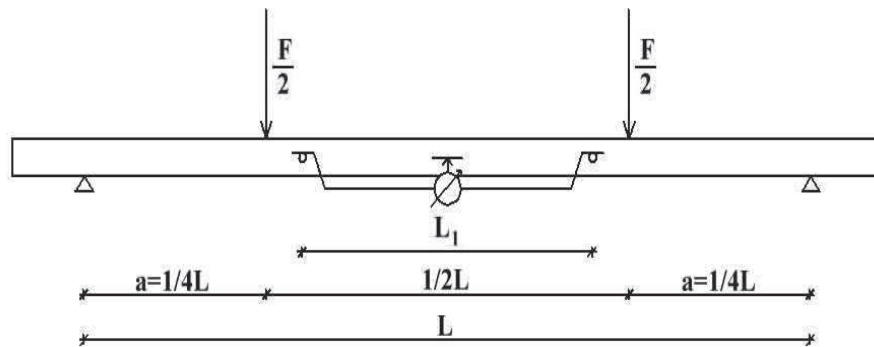
A statikus rugalmassági modulus (MOE_{stat}) méréséhez kétféle módszer alkalmazására került sor, három pontos hajlítás és négy pontos hajlítás (MSZ EN 408:2011).

A 3 pontos hajlításnál (23. ábra) mért rugalmassági modulus (MOE_{stat3p}) értékére hatással van az alátámasztások között ébredő nyíróerő.



23.ábra Három pontos hajlítás mérési elrendezése

A 4 pontos hajlítás (24. ábra) során meghatározásra került rugalmassági modulus (MOE_{stat4p}) értékét már nem befolyásolják a nyíró erők, mivel a két terhelési pont között nem ébrednek a tartóban nyíró erők.



24.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_{stat3p} és a MOE_{stat4p} meghatározásával, a 20. és a 21. ábrák mérési elrendezését használva, lehetőség van a nyíró modulus kiszámítására (3):

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

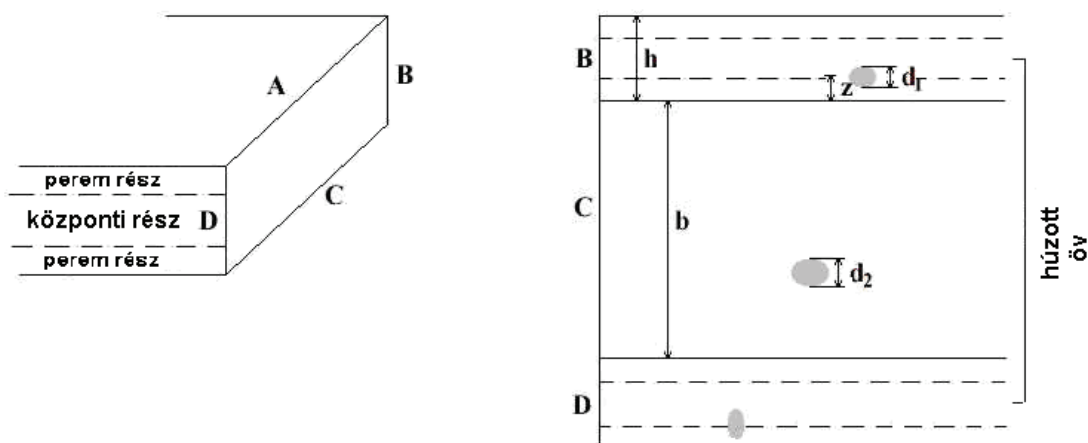
ahol, $K=1,2$ négyzetű keresztmetszetű tartóknál, h : a próbatest magassága.

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 $\frac{1}{4}$ -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, $KDR_{perem}=d_1/h$ (25. ábra).



25.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 (CKDRm) fontosságát, amely figyelembe veszi a feszültség eloszlást a faanyagban a terhelés alatt (5).

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

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. Annak 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 készítettem elő Scanning Elektronmikroszkópos (SEM, 28. ábra) vizsgálatokhoz (27. ábra).



26.ábra Scanning Elektronmikroszkóp



27.ábra Fenyő (bal) és nyár (jobb) göcsök

A felületek kialakításához mikrotóm metszetvágó készüléket használtam. A faanyagot metszés előtt főzéssel megpuhítottam, 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 esetében a göcsöt körülvevő faanyag három fő anatómiai irányának megfelelően alakítottam ki a mintadarabokat, amelyeken a göcsök határfelületéről készítettem felvételeket.

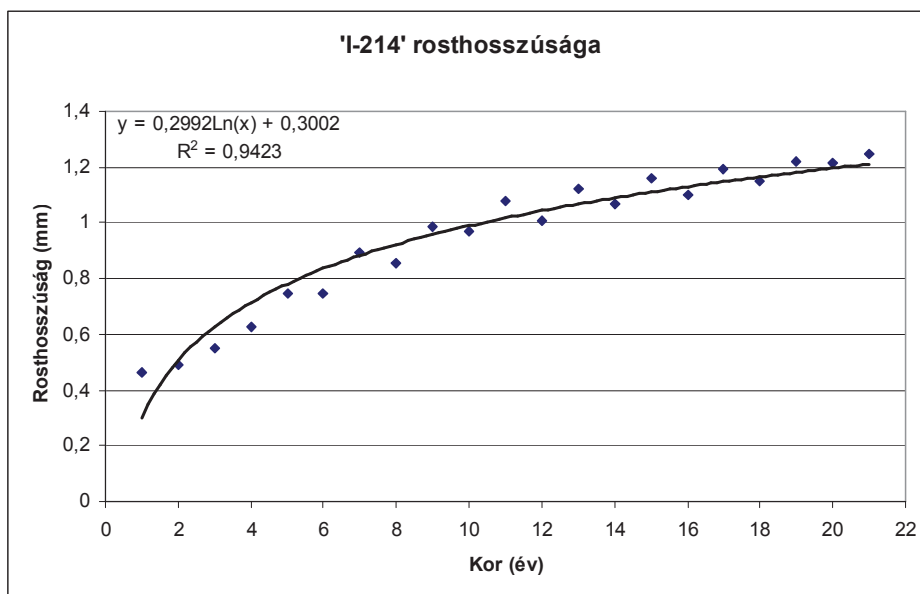
4. A kutatás eredményei

4.1 Az anatómiai jellemzők és a faanyagűrűség kapcsolata.

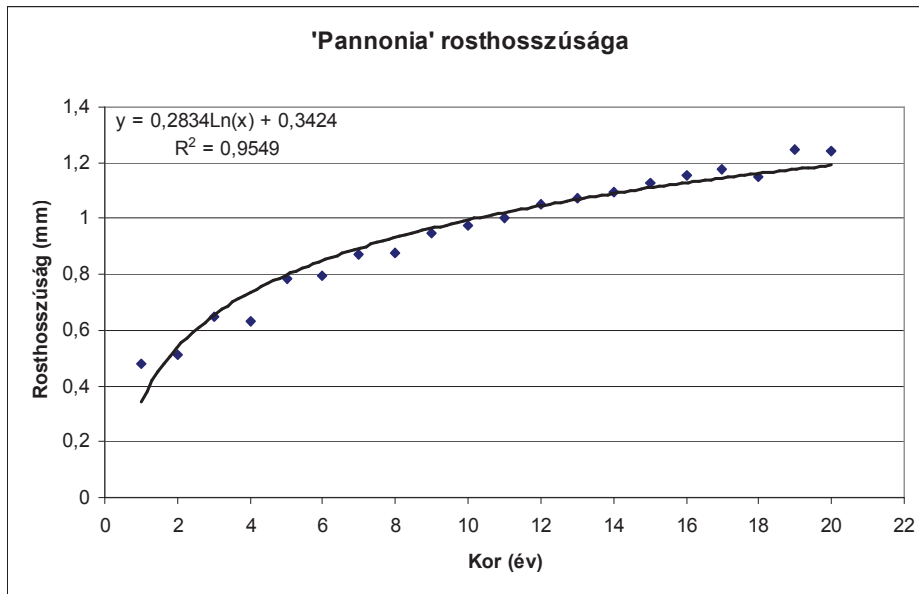
4.1.1 Rosthosszúság

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.

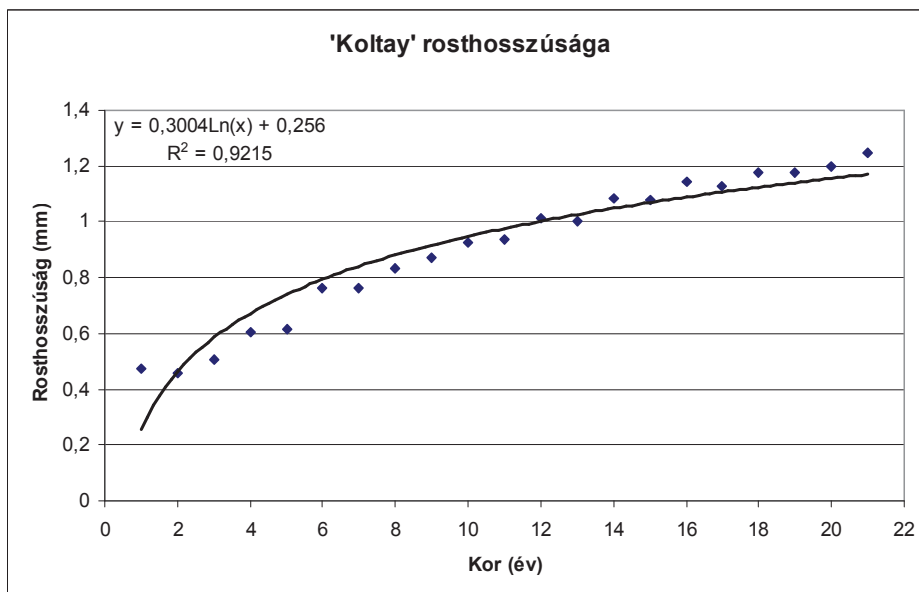
Az 'I-214', 'Pannonia', 'Koltay', és 'Kopecky' fajtára elvégzett rosthosszúsági mérések (28-31. ábra) eredményeiből látható, hogy a kor előrehaladtával a rostok hossza folyamatosan növekszik. A vizsgált rostok fajtától függetlenül nagyjából 0,5 mm-es értéktől indultak és 1,2 mm-ig növekedtek. A kezdeti intenzívebb növekedési szakaszt megábrázoló 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.



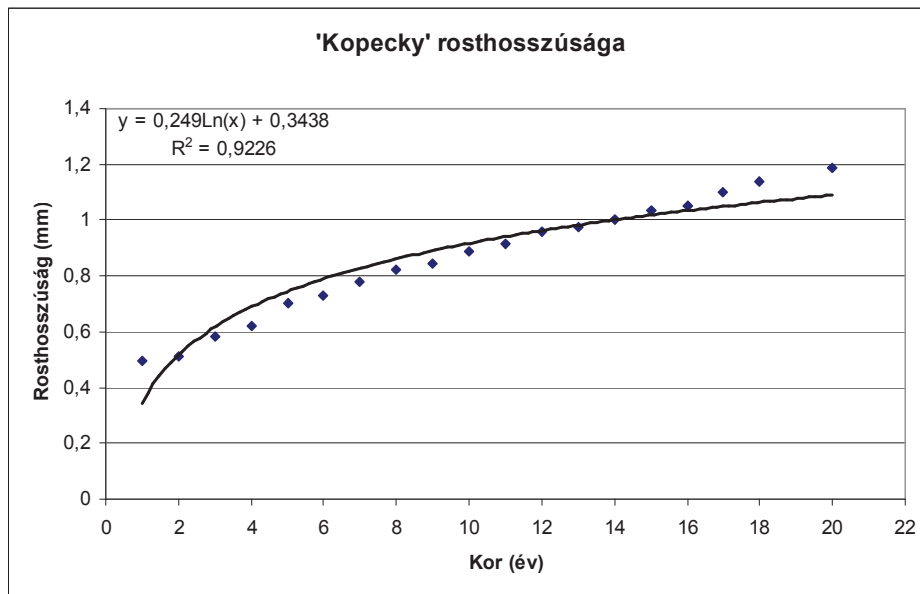
28.ábra 'I-214' nyár rosthosszúsága



29.ábra 'Pannonia' nyár rosthossúsága



30.ábra 'Koltay' nyár rosthossúsága



31.ábra 'Kopecky' nyár rosthosszúsága

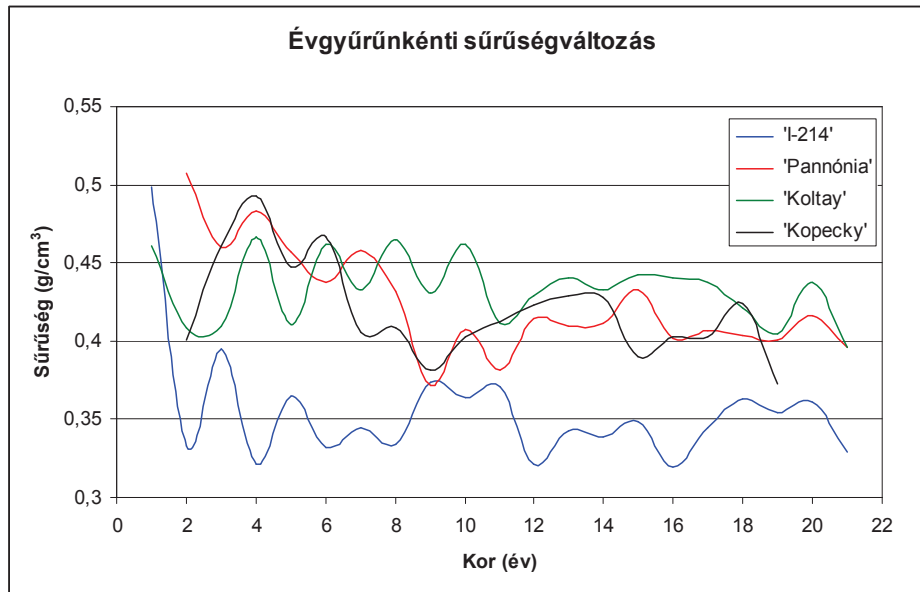
Az eloszlásokra illesztett logaritmikus görbék hasonló tendenciát mutatnak mind a 4 klón esetében. A magas korrelációs értékek alapján a görbék jól jellemzik a növekedési tendenciát.

A logaritmikus 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 évgyűrűre 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 hossza. A saját vizsgálataim 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 évgyűrűkkel. E szempontok alapján érthető, hogy az említett kutatások 10-12 évben jelölték meg a juvenilis kor határát.

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 (32. ábra).



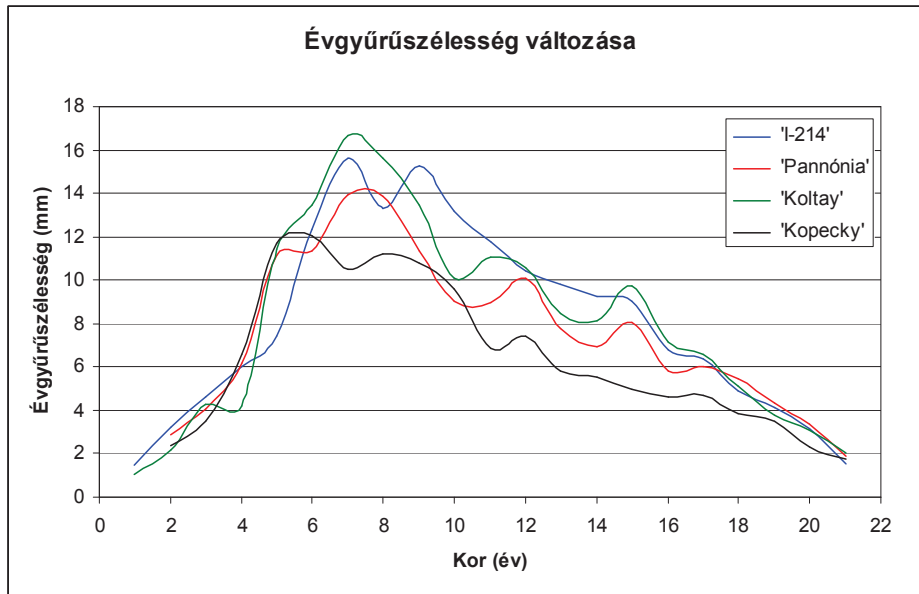
32.ábra Évgyűrűnkénti sűrűségváltozás

A vizsgált 4 nyárfajta esetében azt tapasztaltam, hogy az első néhány évgyűrűben a testsűrűség még valamivel nagyobb, mint az átlagos értékek (32. ábra). 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 $0,35 \text{ g/cm}^3$ körüli értékkel, míg a másik három klón nagyjából azonos $0,42 \text{ g/cm}^3$ -es értéket mutat. Az eredmények megfelelnek az irodalmakban fellelhetőeknek (MOLNÁR, BARISKA, 2002), ami azt jelenti, hogy a sűrűség szempontjából a juvenilis és az érett fa között nincs lényeges különbség.

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

4.1.3 Évgyűrűszélesség

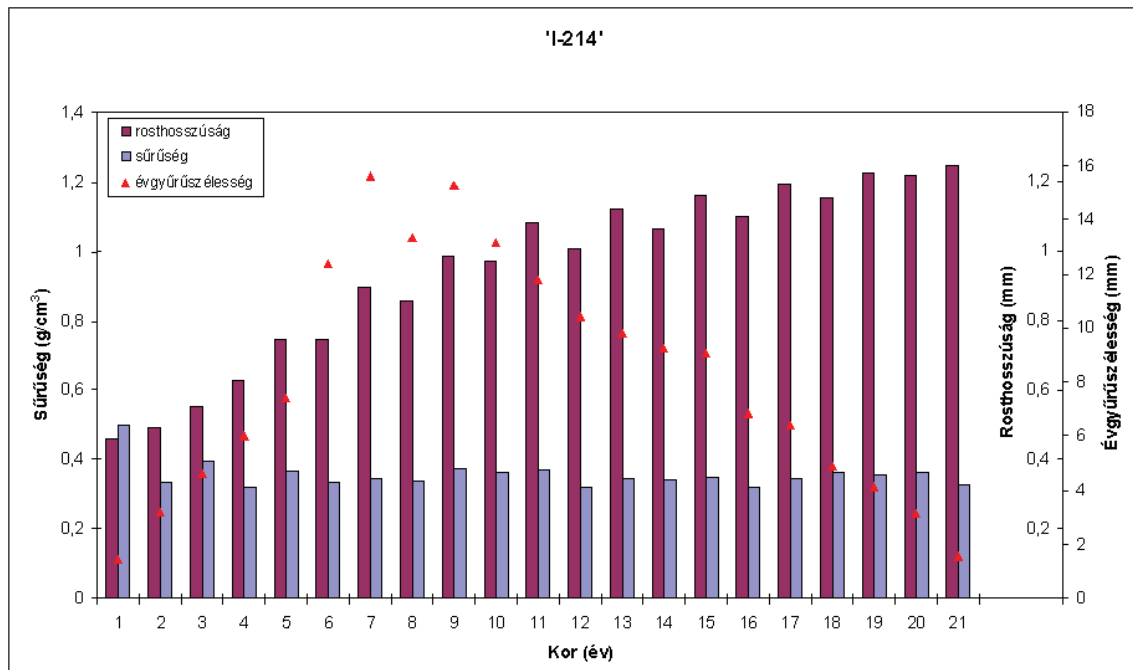
Az évgyűrűszélesség növekedése szempontjából elmondható, hogy a vizsgált fajták a 4-5. évtől kezdődően mutatnak intenzív vastagsági növekedést, ami 10-12 éves kor környékén fejeződik be. A legnagyobb növedék 7 éves kor környékére tehető. A későbbi években az átlagos évgyűrűszélesség fokozatosan, egyenletes mértékben csökken (33. ábra). A kapott eredmények összhangban vannak az erdészeti kutatásokkal (TÓTH 2006), amelyek a 'Pannonia' esetében 12-15, az 'I-214'-nél 10-15, míg a 'Kopecky' klónnál 6-8 éves korra teszik a növekedési ütem mérséklődését.



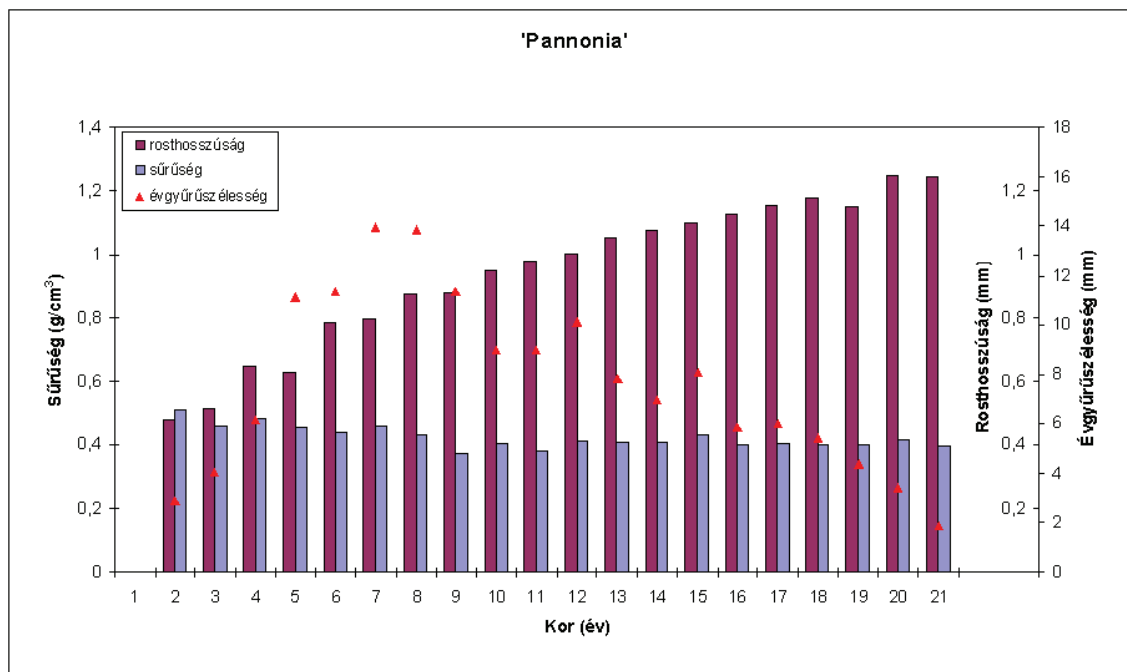
33.ábra Évgyűrűszélesség változása

4.1.3 Az évgyűrűszélesség, rosthosszúság és a testsűrűség kapcsolata

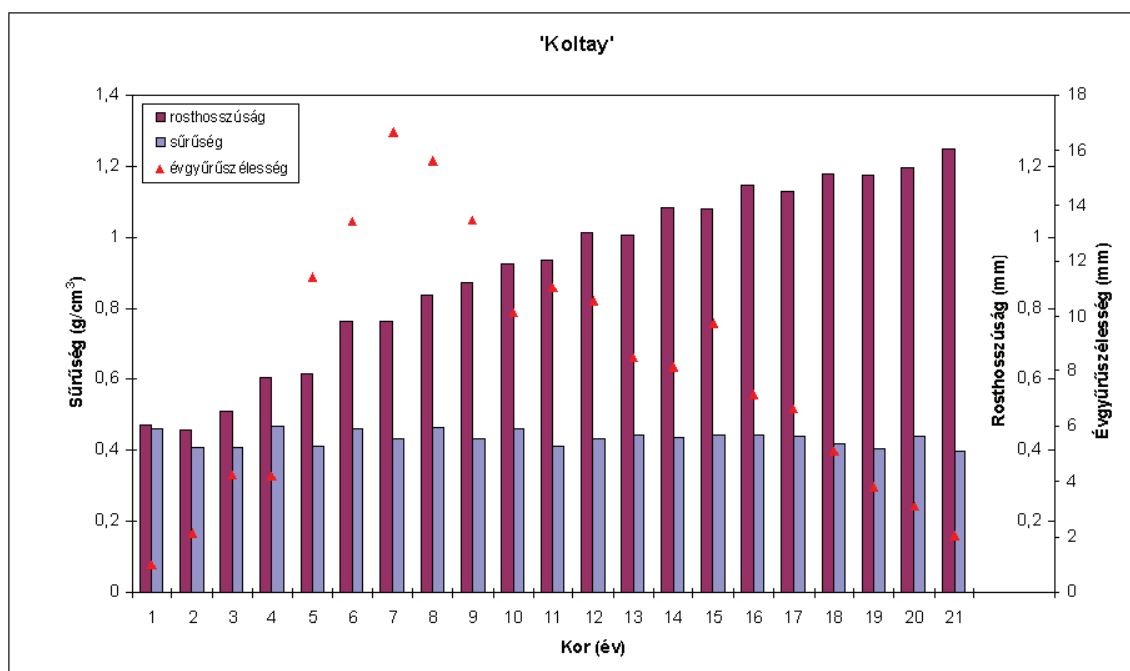
Az azonos termőhelyről származó 4 vizsgált klón esetében a rosthosszúság, a sűrűség és az évgyűrűszélesség összefüggései a 34-37. ábrán láthatóak. A grafikus ábrázolás jól érzékelteti a jellemzők változását. Az összefüggés vizsgálatok (regresszió analízis) nem mutattak kapcsolatot.



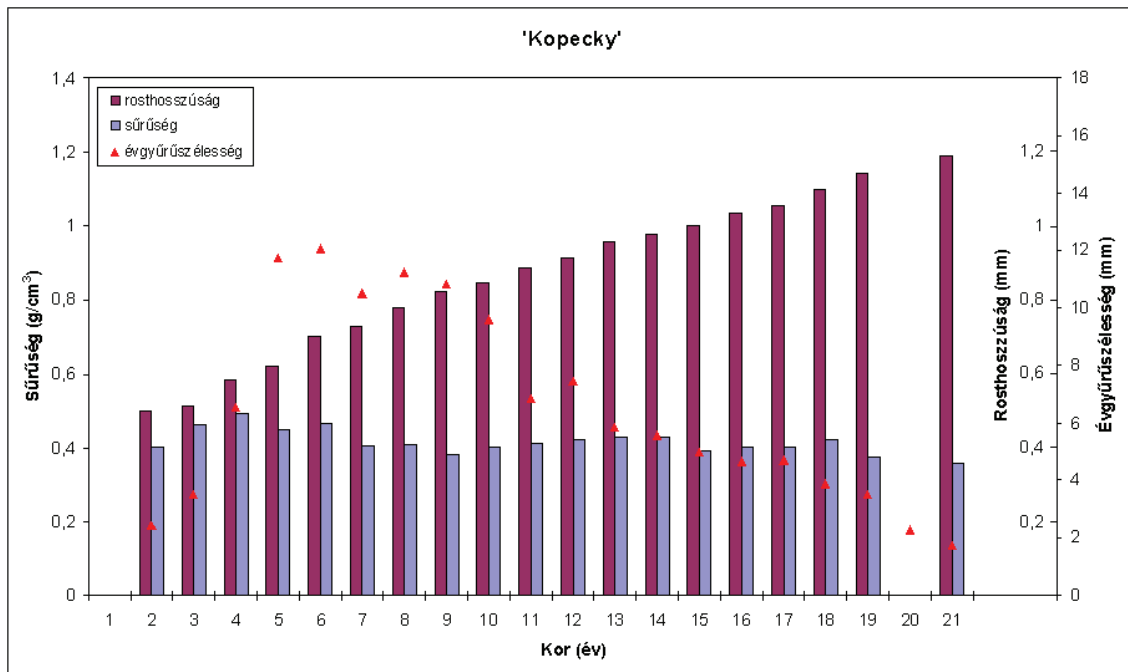
34.ábra Az 'I-214' klón vizsgálati eredményei



35.ábra A 'Pannonia' klón vizsgálati eredményei



36.ábra A 'Koltay' klón vizsgálati eredményei



37.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 évgyűrű a nyárok esetében nem jár együtt a sűrűség és ezáltal a szilárdság csökkenésével.

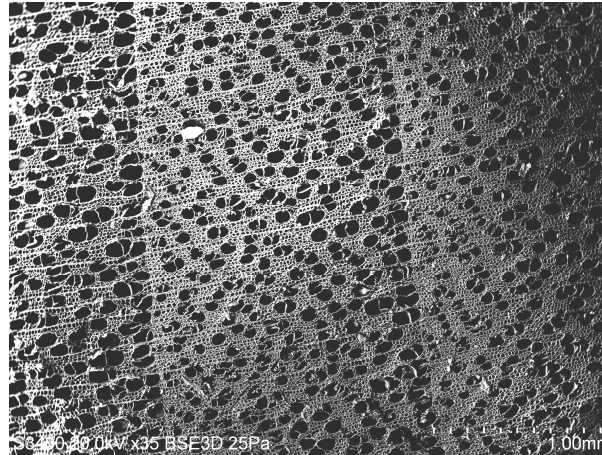
Szintén kijelenthető, hogy a rosthosszúság fokozatos növekedése sem mutat összefüggést a testsűrűséggel.

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

A scanning elektronmikroszkóppal készített kisebb nagyítású felvételeken (38. ábra) jól megfigyelhető volt az 'I-214' nyár évgyűrűszerkezete. Az évgyűrűhatárok jól kivehetőek, elsősorban a nagyobb üregű, az évgyűrűhatáron felsorakozó tracheák tették ezt érzékelhetővé. Az évgyűrűn belül szembeütő volt, hogy a korai pásztában több és nagyobb üregű edény található, a pászták határát azonban pontosan megállapítani nem lehet.

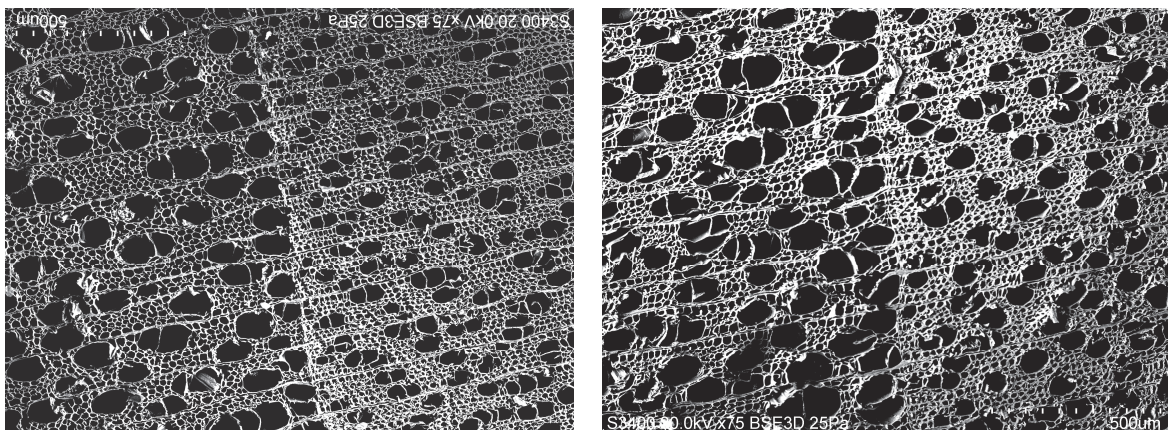
Az edények közötti területet a szilárdítást biztosító kis átmérőjű farostok (libriform rostok) töltik ki. A SEM-os felvételen kivehetőek még a keskeny (1 sejtsor széles) bélsugarak is. A farostok sejtfalvastagsága, illetve a kétszeres sejtfalvastagság és a sejtüreg

(lumen) hányadosa kitüntetett jelentőségűek a faanyag sűrűsége szempontjából. Ennek megfelelően a sejtalfalvastagsági méréseket egy évgyűrűn belül a korai és a kései pásztában is elvégeztem. Mivel a pásztahatárokat megállapítani nem lehet, ezért az évgyűrűhöz közeli területekről vettem mintát, amelyek biztosan az adott pásztából valók.



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

A bél körüli farészben és az idősebb évgyűrűkben is kisebb különbség mutatkozott a sejtalfalvastagságok tekintetében a pászták 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 1983) megfelelő nagyságrendűek voltak. Az ezekben említett 2,5-2,7 μm -es értékeknek méréseimnél 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 rostokat mértem.



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

Méréseim szerint a 18-19 évgyűrűben (érettebb fa) az átlagos kettős sejttal (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. (39. 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

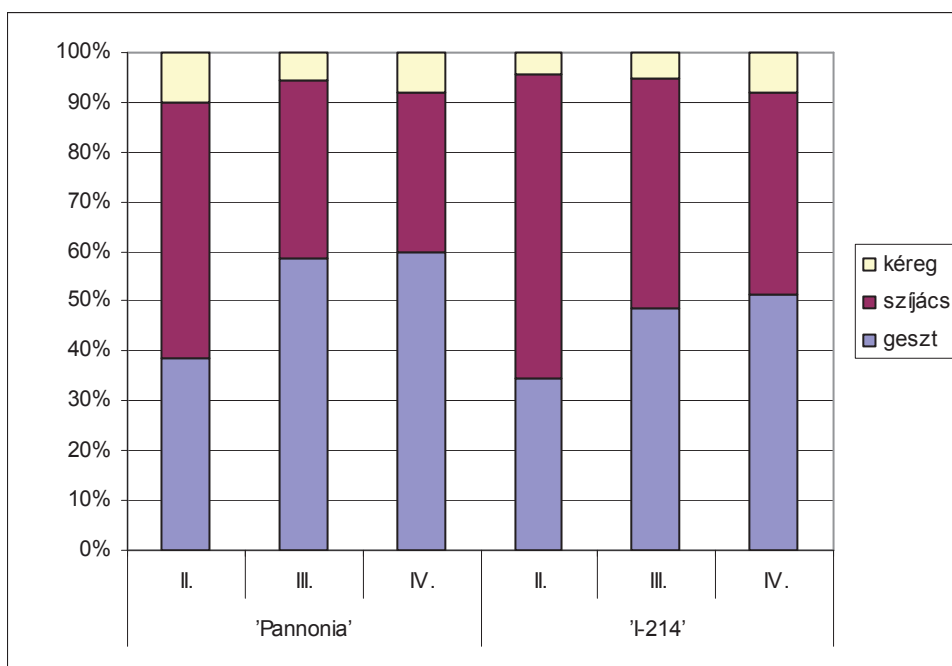
A különböző korban mért átlagos átmérők értékei jól tükrözik a fajtákra jellemző növekedési intenzitást. Az 'I-214' esetében - amelyik az egyik leggyorsabb és legerőteljesebb növekedésű fajta Magyarországon - a kezdeti erőteljes növekedés 10-15 éves korban erőteljesen lelassul vagy megáll. A 'Pannonia' 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 (7. táblázat). A 'Pannonia' nagyobb geszt aránnyal rendelkezik mindhárom korosztályban, azonban ezt befolyásolhatja a nagyobb törzsátmérő.

7.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-szójács 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 (40. ábra). A 'Pannonia' nyár azon tulajdonságát, hogy már fiatal korban durva, parásodott kéreggel rendelkezik, a mérések is igazolták.



40.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:

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

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

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 „atrotonnás” átvételénél visszaszámítható a nedves térfogat. A gyakorlati szakemberek a bázissűrűséget „atrotonna/m³” 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 fajonkénti és korosztályonkénti sűrűségértékeket a 8. táblázatban összegeztem.

8.táblázat Sűrűségi jellemzők [kg/m³]

Fajta	Korosztály	Sűrűség típus			Bázis
		Abszolút száraz	Normál (u=12%)		
			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 sejtfa nyárfajtánál 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 (9. táblázat).

9.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
'I-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 gesztelés nincs érdemi hatással a fűtőértékre.

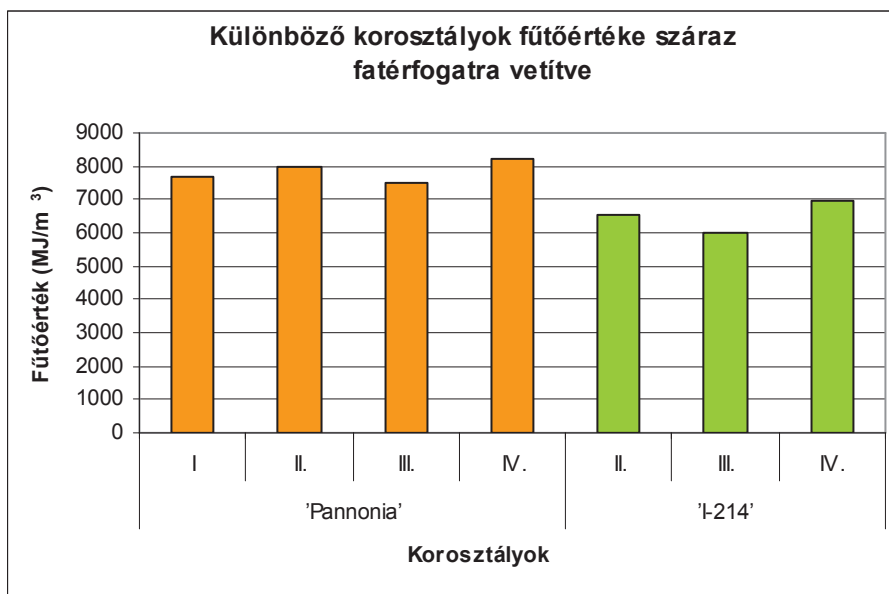
A szijács esetében is hasonló állapítható meg, mint a gesztnél. Sem a korosztályok sem a két klón közötti különbségek nem jelentősek. A szijács értékei ugyan magasabbak, mint a geszté, azonban nem annyival, hogy ezt valódi különbségként értékelhetnénk.

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 említettek közül 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 sűrűségnél és a tömeghez viszonyított fűtőértéknél - itt is kevésbé jelentős (41. ábra).



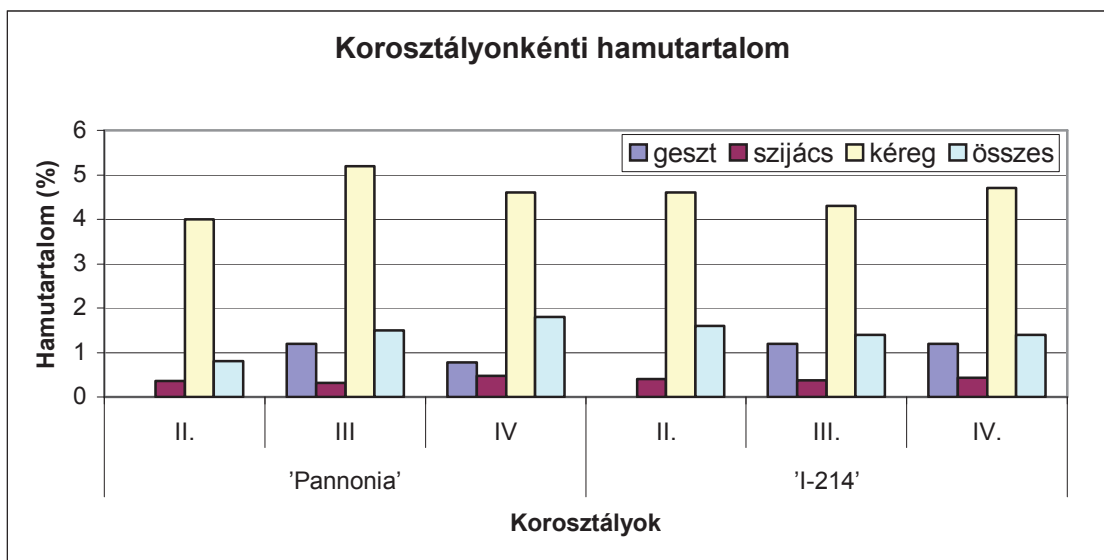
41.ábra Fűtőérték jellemzők a száraz fatérfogat figyelembevételével [MJ/m³]

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 (421. ábra).

A fatest részei közül a szijácsnak kedvezőbb a hamutartalma, mint a geszté. A gesztesedés 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.



42.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 42. 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).

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

Vizsgált alkotóelemek	Mértékegység	'I-214'			'Pannonia'		
		II.	III.	IV.	II.	III.	IV.
Szárazanyagtartalom	%	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 SO₃	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 K₂O	mg/kg TS	15 000	110 000	120 000	99 000	110 000	140 000
Foszfor mint P₂O₅	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 Fe₂O₃	mg/kg TS	60 000	16 000	6 500	11 000	13 000	2 000
Szilícium mint SiO₂	mg/kg TS	13 000	52 000	56 000	43 000	47 000	11 000
Nátrium mint Na₂O	mg/kg TS	5 300	17 000	23 000	13 000	14 000	27 000

A vizsgálatba bevont nyárak hamualkotóinak mértéke (10. 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 gesztesedés hiánya fiatalon alacsony hamutartalmat eredményez.

Mindenképp említést érdemel, hogy a gyakorlatban elterjedt azon nézet, mely szerint a fa tüzelésekor visszamaradó hamu kéntartalma nem jelentős, nem helytálló. Amíg az irodalmak a biomasszával kapcsolatban 1-2 %-os kéntartalmat említenek (MONOKI 2006, HAKKILA 1989) addig a vizsgálatok során a hamu tömegén belül 9-15% 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 11. táblázat mutatja.

11.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.



43.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. A különböző módszerekkel meghatározott rugalmassági modulusok, valamint az egyéb befolyásoló tényezők hatásának a nagyságát, a korrelációs együtthatókkal lehet a legjobban leírni (12. táblázat).

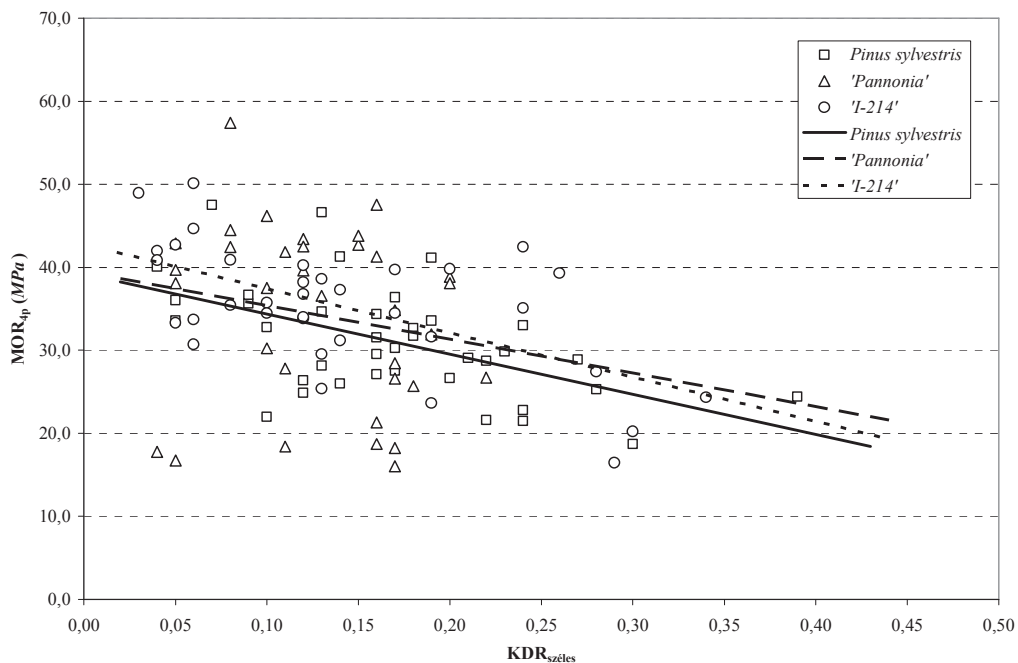
A rugalmassági modulus és a hajlítószilárdság összefüggését vizsgálva egyértelműen megállapítható, hogy közöttük szoros függvénykapcsolat van. Mind a 3 illetve 4 pontos hajlítás esetén a nyáraknál mutatható ki szorosabb összefüggést az erdeifenyővel szemben. A két nemesnyár közül az 'I-214' korrelációs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

12.táblázat A hajlítószilárdságot befolyásoló tényezők korrelációs együtthatói

Vizsgált szilárdsági jellemzők	Pinus sylvestris	'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
CKDR _m	-0,142	-0,201	-0,402

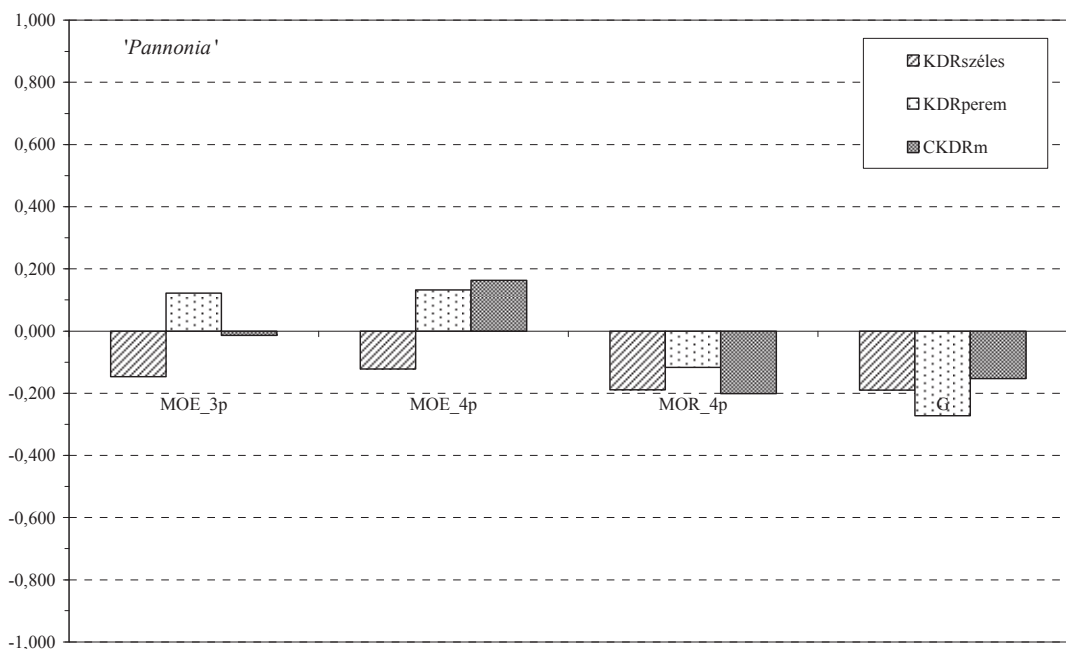
A göcsösség hatásának vizsgálatára kapott eredmények értékelése szintén lineáris regresszió alkalmazásával történt (12. táblázat). A korrelációs együtthatók nagyon jól

mutatják, hogy a módosított koncentrált göcs átmérő arány (CKDR_m) 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 (44. 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 kimutatnia 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).



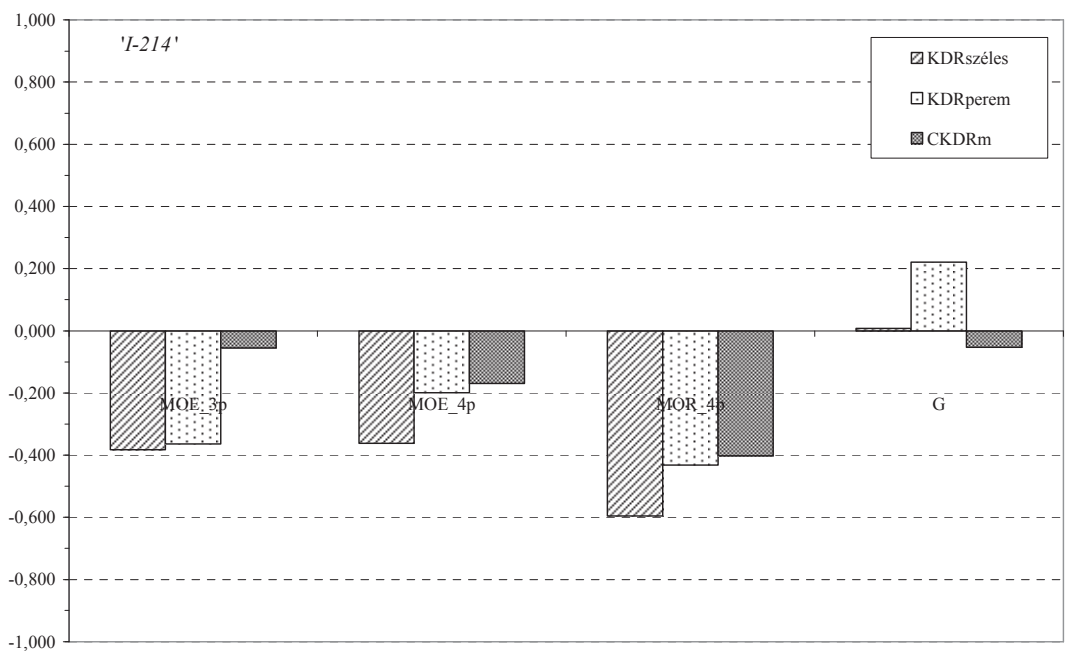
44.ábra A hajlítószilárdság és a húzott öv széles oldalán elhelyezkedő göcs átmérő arányának összefüggése

A göcsösség hatását a rugalmassági modulus, valamint a nyíró modulus változékonyságának szempontjából is elemeztem. A korrelációs együtthatók alapján egyik göcs átmérő arány (KDR, ill. CKDR_m) sincs különösebb hatással a 'Pannonia' nyárra. Ugyanez mondható el a rugalmassági modulusra, a hajlítószilárdságra és a nyíró modulusra (45. 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.



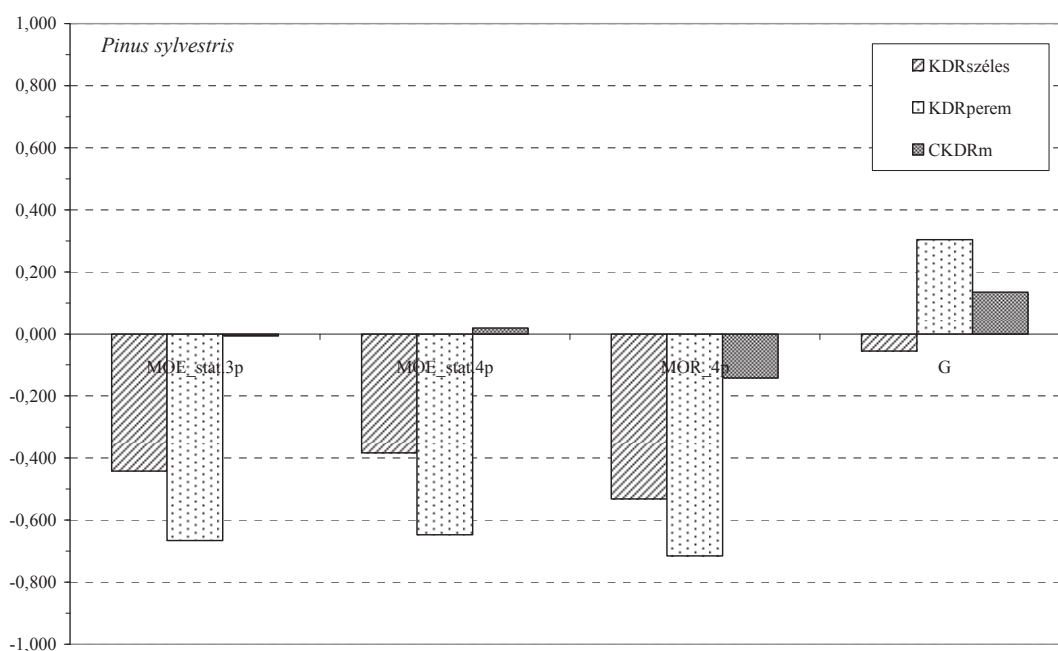
45.ábra A göcsösség hatása a 'Pannonia' nyár különböző faanyagjellemzőire

Ezzel szemben a göcsösségnek az 'I-214' fajtára gyakorolt hatását vizsgálva, megállapítható, hogy a korrelációs együtthatók szorosabb függvénykapcsolatot mutatnak (46. 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.



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

A három vizsgált faj, ill. fajta közül, a mérési eredmények alapján a göcsösségnek az erdeifenyőre gyakorolt hatása igen nagy (47. 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.



47.ábra A göcsösség hatása az erdeifenyő 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 erdeifenyő anyagjellemzői erősen függenek az oldal göcsöktől (KDR_{perem}). Ez olvasható ki az erdeifenyő és a nyárfajták korrelációs együtthatóinak összevetéséből is, ahol egyértelműen látszik, hogy az erdeifenyőnél kapott értékek magasabbak, s különösen igaz ez az oldal göcsök hatására.

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

A göcsös erdeifenyő 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 erdeifenyőnél kimutatott korrelációs együtthatók a vizsgált faanyagjellemzők és a göcsösség mértékét megadó paraméterek között kiemelkedően magasabbak, mint a nyár

klónoknál. Mindez arra utal, hogy az erdeifenyő hajlítószilárdsága, valamint rugalmassági modulusa nagyobb mértékben függ a faanyag göcsösségétől, mint a nyárfajták esetében. Az erdeifenyő 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 erdeifenyőnél 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 évgűrűszerkezetű 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 nagytávon is kivehető a két különböző rész határsávja.

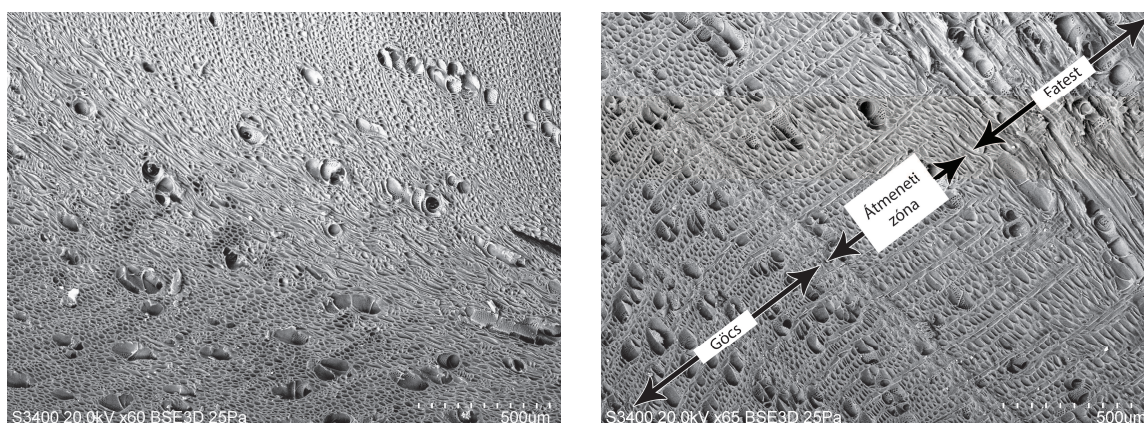
A nyár és az erdeifenyő esetén az átmenet más-más formában volt látható. A vizsgált nyár mintákon megfigyelhető volt, hogy a göcs határát a határvonallal párhuzamosan rendeződött edénysor is jelezte (48.ábra).



48.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.

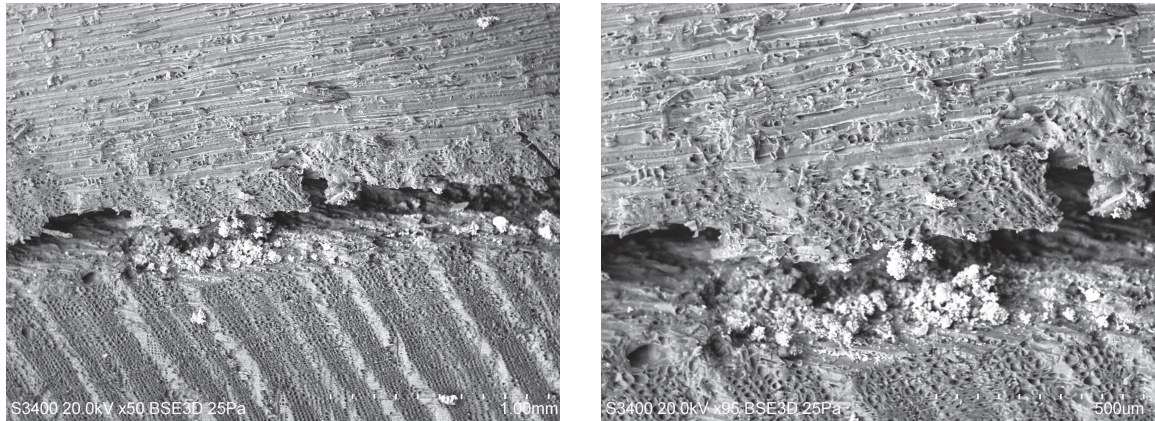
A 49. ábra jobb oldali felvételén a fokozatos átmenet még szembeűnőbb. A kép bal alsó részében található göcs szövetnek közel a keresztmetszetét láthatjuk, középen az átmeneti zónát, jobb oldalán felül pedig a normál fatestet. Különösen a bélsugarakon és az alapállományt alkotó farostokon látható, hogy a keresztmetszeti állapotból hogyan hajolnak el fokozatosan, míg végül már egy radiális irányú metszetét láthatjuk a faanyagnak.



49.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 45. ábra alsó részén helyezkedik el a göcs, amely szövetének egy része a határhoz közeli repedés másik oldalán is még megtalálható. A fatest hosszmeteszete és a göcs keresztmeteszete között nem lehet átmeneti részt felfedezni.



50.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. Az új tudományos eredmények tézisszerű összefoglalása

A nyárok Földünk legfontosabb ültetvényes fafajai közé tartoznak, így hazánkban is kiemelkedő a szerepük.

A fajaj/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 szakirodalom tanulmányozása és a gyakorlati problémák feltárása alapján három olyan területen (faanatómia, faenergetika, mechanika) végeztem alapkutatást, amely hasznosan segítheti a nyárok termesztésével és hasznosításával kapcsolatos fejlesztéseket.

Az elvégzett faanatómiai, energetikai és szilárdságtani vizsgálatok során a szabványos módszerektől eltérő, célirányos, új vizsgálati módszereket dolgoztam ki.

A faanatómiai méréseknél először alkalmaztam a pásztázó elektronmikroszkópos technikát, adaptálva a felvételek elemzéséhez az Image-Pro Plus 4.0 szoftvert.

A bétől kifelé haladva évgyűrűnként elemeztem a vastagsági növekedés, rosthosszúság, testsűrűség kapcsolatát. A gyakorlati felhasználás szempontjából feltártam a közöttük lévő összefüggéseket.

A faenergetikai vizsgálatokhoz egy olyan komplex módszert alakítottam ki, amely a fűtőérték mellett elemzi a szárazanyag és hamutartalmat valamint a kémiai összetételt is. E vizsgálatokat az energetikai ültetvények gyakorlati igényei szerint több korosztályra is elvégeztem.

Korábbi Japán tapasztalatok alapján fejlesztettem tovább a göcsösség szilárdságot befolyásoló szerepének tisztázását biztosító módszert. Ez esetben hasznosan segítette a mélyebb szöveti összefüggések feltárását az ebből a célból elsőként alkalmazott SEM technológia.

Az értekezés tézisei:

1. *Igazoltam, hogy a nyárok esetében 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 nyárok esetében tehát azonos értékű az érett fatesttel.*

Évgyűrűnkénti anatómiai és sűrűségi méréseim igazolták, hogy bár a juvenilisfában a bél körül némileg rövidebbek és vékonyabb falúak a farostok, mint az érettebb fában, azonban a itt a fatest kisebb porozitású (a kettős sejtfal és a lumen aránya nagyobb). Ez az anatómiai tulajdonsága a kezdeti stádiumban valamivel nagyobb (5-10%) sűrűséget eredményezett.

2. *Megállapítottam, hogy a nyárok juvenilis fájában 0,5 és 1,2 mm között változik a farostok hossza. A vizsgált 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 nyárok 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 nyárok a fenyőkhöz viszonyítva kevésbé alkalmasak minőségi papírok gyártására, de megfelelnek a félcellulóz, kartonpapír és farostlemez gyártási igényeinek.

3. *Vizsgálataim bizonyították, hogy a nyárok évgyűrűszélessége és faanyagsűrűsége között nincs összefüggés. A sűrűség elsősorban fajtajellemző.*

Mikroszkópos felvételeim és sűrűségi vizsgálataim is alátámasztják, hogy a keskenyebb és szélesebb évgyűrűk egyaránt azonos fizikai adottságokkal rendelkező vékony sejtfal állományúak. Nem indokolt tehát a nyárok felhasználásakor az évgyűrűszélességi határok megjelölése (pl. rakodólapgyártás). 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 volt. A feldolgozás, termékgyártás során tehát nem az évgyűrűk szélességét kell előírni, hanem az egyes fajtákat elkülönítve kell kezelni. Célszerűnek tartom szerkezeti célokra a nagyobb sűrűségű fajtákat ('Pannonia', 'Koltay', 'Kopecky') felhasználni.

4. *Az energetikai hasznosítást befolyásoló tulajdonságok (fűtőérték, hamutartalom, hamuösszetétel) szempontjából a nyár ültetvények esetében nincs számottevő szerepe a kitermelési, betakarítási kornak.*

Tehát a vékony „minirotaációs” anyagok hasonló értékűek, mint az idősebb, gesztesedett fatest. Az egyes nyárfajták között azonban igen jelentős különbségek vannak a fatérfogatra vetített fűtőértékek tekintetében (pl. a 'Pannonia' fűtőértéke 20%-al haladta meg az 'I-214' fajtáét). 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.

5. *Termékméretű mintákon végzett szilárdsági vizsgálatokkal igazoltam, hogy a nyárok szilárdságát a göcsösség kevésbé befolyásolja, mint a fenyőkét. Ezen kutatási eredmény új területeket nyithat meg a nyárok 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 hajlítószilárdsága 80 MPa körüli. Ezen értékkel szemben a göcsös próbatestek szilárdsága mintegy 60%-ot csökkenve csak 31,2 MPa értéket mutatott. Ehhez viszonyítva a 'Pannonia' nyárnál 43%-os (67,4-ről 38,4 MPa-ra), az 'I-214'-nél pedig 35%-os (58-ról 37,8 MPa-ra) csökkenés volt tapasztalható.

6. *Faanatómiai vizsgálataim igazolták, hogy a nyárok esetében a göcsök normál fatesthez való kapcsolódása egy fokozatos átmeneten keresztül valósul meg, ellentétben a fenyőkkel ahol ez az átmeneti zóna hiányzik.*

A mikroszkópos megfigyeléseim is igazolták azt a tényt, hogy a normál nyár fatest és a „göcs test” kevésbé elkülönülő, mint az erdeifenyő esetében. A nyárok ezen tulajdonsága kedvező lehet a szerkezeti célú felhasználásban.

6. A kutatási eredmények gyakorlati hasznosulása

A magyar fagazdaság egyik stratégiai, fejlesztési kérdése a gyorsan növő és az új ültetvények által egyre nagyobb tömegben rendelkezésre álló nyár faanyag sokoldalú korszerű hasznosítása. Az értekezés keretében bemutatott új tudományos eredmények részben közvetlenül, részben közvetve segítik e tevékenységeket.

Közvetlenül hasznosuló eredmények:

- A különböző korú energetikai célú nyár ültetvények faanyagvizsgálatai azt igazolták, hogy a vékony rost sejtfalú nyárak esetében a kornak nincs lényegi szerepe sem a fűtőérték, sem a hamutartalom vonatkozásában. Ennek értelmében a fiatalkorú („minirotaációs”) ültetvényekből termelt biomassa azonos értékű az idősebb állományokból származó faanyaggal.
- A nyárak esetében energetikai szempontból nagy jelentősége van a genetikai tényezőknek (a fajtának). A fatérfogatra vetített fűtőérték vonatkozásában az egyes fajták között 20-30%-os különbségek is vannak. Célszerű tehát a nyár energetikai alapanyagot (apríték, darabos hulladék, hengeres fa) minden esetben abszolút száraz tömegben („atrotonnában”) átvenni.
- Kutatásaim igazolták, hogy az ággöcsök kevésbé befolyásolják a faanyag szilárdságát a nyáraknál, mint a fenyőknél. 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. Méréseim szerint a megengedett fahibával (göcsösséggel) rendelkező nyár és fenyő deszkák közül a nyárak szilárdsága a kedvezőbb.
- Nagy gyakorlati jelentősége van azon kutatási eredményeimnek, amely azt igazolta, hogy egy fajtán belül az évgyűrűszélesség nagysága nem befolyásolja a nyár faanyagok sűrűségét és szilárdságát. Ezért teljesen indokolatlan a nyár termékeknél (pl. rakodólap) az engedélyezett maximális évgyűrűszélesség megjelölése.

Közvetve hasznosuló eredmények:

- Korábbi saját és egyéb kutatások (BABOS, ZSOMBORI 2002,2003) eredményeinek elemzése alapján - különös tekintettel arra, hogy a köztermesztésben mindössze 4-5 fajta játszik szerepet – nem tartom célszerűnek a nyár fajták 3 sűrűségi csoportba való sorolását (MOLNÁR, BARISKA, 2002). Véleményem szerint elegendő két csoportot kialakítani. Egyik a 380 kg/m^3 légszáraz sűrűség alatti fajták (pl. 'I-214', 'Tripló') másik pedig a 380 kg/m^3 -es sűrűséget meghaladóak (pl. 'Pannonia', 'Koltay', 'Kopecky').

Így 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', 'Tripló', '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 szilárdsági jellemzőkkel (a nyárak esetében ezt már PALLAY (1938) is igazolta), ezért javaslom, hogy elsősorban a II. csoport fajtái kerüljenek felhasználásra szerkezeti célokra.

- A gyakorlat számára is fontos eredménynek tekintem, azon tudományos megállapítást, mely szerint a nyáraknál a bélkörüli juvenilisfa az érett fához viszonyítva nem rendelkezik rosszabb tulajdonságokkal. ZOBEL (1989) és más kutatók feltárták azt a tényt, hogy beltől kifelé haladva évgűrűnként növekszik a rostok hosszúsága és a szilárdító sejtek vastagsága. Ezek alapján nemzetközileg is elfogadott, hogy a juvenilisfa mértékét a rosthosszúság évgűrűnkénti mérésével kell meghatározni. A vizsgálati módszer alapján az általam kiválasztott nyár fajtáknál 20 év után sem következett még be a rosthosszúság állandósulása. Tehát ez a fatest rész anatómiailag még juvenilis fának tekinthető. Figyelembe véve azonban azt, hogy a vékony rost sejtfalú nyáraknál a sejtfalvastagság kevésbé változik (mint pl. a *Pinus*, *Larix*, *Quercus*, *Robinia* fajoknál), ezért a juvenilisfa tulajdonságai jelentősen nem térnek el az érett fáétól. A furnérhámozásnál (Olaszország, Franciaország) előnyben részesítik a 13-15 éves faanyagot, mert az még kevésbé gesztesedett és a rostok kevésbé merevek, így a hámozott furnér kisebb mértékben reped, illetve nem tartalmaz esztétikailag előnytelen színes gesztet (álgesztet).

- A Faanyagtudományi Intézetben a fajták tulajdonságaira vonatkozó vizsgálatok - amelyekben az utóbbi években személyesen is részt vehettem - szabványos módszerek alkalmazásával történtek, amelyek lehetőséget adtak az egyes fajták összehasonlítására. A 13. táblázatban láthatóak az összesített vizsgálatok eredményei (MOLNÁR, KOMÁN IN TÓTH 2006).

Összefoglalóan megállapítható, hogy tudományos eredményeim több igen fontos gyakorlati problémához nyújtanak megfelelő megoldást, illetve szakmai alapot a természeti és hasznosítási technológiák fejlesztéséhez. Eredményeimet a publikációk mellett (szaksajtó, könyvrészlet) törekedtem előadások formájában is közreadni.

13.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

(forrás: MOLNÁR, KOMÁN IN TÓTH 2006)

7. 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.

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. Ezen irányú kutatásokat az Erdészeti Tudományos Intézet munkatársaival együttműködve lehetne eredményesen elvégezni.

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.

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.

Az alapkutatási 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).

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.

Mély meggyőződésem, hogy a hazai viszonyaink között sikeresen természetű nyárok e kutatások és gyakorlati törekvések eredményeként egyre nagyobb szerepet kaphatnak a minőségi termékgyártásban.

8. Irodalomjegyzék

1. 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
2. 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
3. Alpár, T – Fácán, T. – Kátoli, G. – Bellányi, G. (2006): Fiatal ültetvényes faanyagok használhatósága ipari farost gyártására. Faipar, 2006/IV.
4. Alpár, T. – Rácz, I. (2006): Cementkötésű forgácslapok gyártása nyár forgácsból. Faipar LIV. 4. 20-26.
5. Alpár, T – Fácán, T. – Kátoli, G. – Rácz, I. (2007): MDF és HDF lemezek gyártása fiatal ültetvényes faanyagokból. Faipar, 2007/I.
6. 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.
7. Babos, K. – Filló, Z. – Somkuti, E. (1979): Haszonfák, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
8. Babos, K. – Zsombori, F. (2002): Néhány nyárfajta faanyag-tulajdonságának összefoglaló jellegű ismertetése, 1.rész. Faipar L. évf. 4. sz.
9. Babos, K. – Zsombori, F. (2003): Néhány nyárfajta faanyag-tulajdonságának összefoglaló jellegű ismertetése, 2.rész. Faipar L. évf. 3. sz.
10. Bach, I. (1993): Az erdészeti szaporítóanyag-gazdálkodás és fajtaértékelés módszertani továbbfejlesztése (az erdészeti biológiai alapok genetikai és gazdasági kérdései). Kandidátusi értekezés, Sopron
11. Bai, A. – Lakner, Z. – Marosvölgyi, B. – Nábrádi, A. (2002): A biomassza felhasználása. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest
12. 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.
13. Bak, M. – Németh, R. (2012): 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

14. Bak, M. – Németh, R. – Csordós, D. (2012): Modification of wood by heat treatment in paraffin. 7. Thermowood Workshop, Drezda
15. Bak, M. – Németh, R. (2012): Changes in swelling properties and moisture uptake rate of oil-heat-treated poplar (*Populus x euramericana* cv. Pannonia) wood. BioRes. 7(4), 5128-5137.
16. Barkóczy, Zs. – Ivelics, R. (2008): Energetikai célú ültetvények. Erdészeti kisfüzetek, NymE Erdővagyon-gazdálkodási Intézet
17. Bárány, G. – Benke, A. – Tóth, B. – Treczker, K. (2008): A minőségi nemes nyár termesztés újabb eredményei. OEE 139. Vándorgyűlés
18. Bartha, D. (2004): A Magyarországon előforduló nyár (*Populus* L.) taxonok határozókulcsa és rövid jellemzése. Flora Pannonica 2(2): 85–101.
19. de Bary, A. (1884): Comparative anatomy of the vegetative organs of the phanerogams and ferns. Oxford Univ Press (Clarendon), London, New York
20. Bendtsen, B. A. (1978): Properties of wood from improved and intensively managed trees. Forest Products Journal. 28:(10): 61-72.
21. 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.
22. 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.
23. Borovics, A. (2007): Energetikai célú nyárnemesítés, Erdészeti Lapok 142. évf. 4.sz., 110-113.
24. Borovics, A. (2008): Mezőgazdasági szántóterületen termesztendő, rövid vágásfordulójú energia célú faültetvények gyakorlati megvalósítása. Kutatási eredmények hasznosításával a korszerű mezőgazdaságért konferencia, Kecskemét, 2008. március 20.
25. Bosshard H. H. (1974): Holzkunde, Band 1-3, Birkhausen Verlag, Basel
26. 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.

27. 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.
28. Cagelli, L. – Lefevre, F. (1995): The conservation of *Populus nigra* L. and geneflow with cultivated poplars in Europe. *Forest Genetics* 2: 135-144.
29. 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.
30. Christersson, L. (1996): Future research on hybrid aspen and hybrid poplar cultivation in Sweden. *Biomass and Bioenergy* 11: 109-113.
31. Chovonec, D. (1986): Morfológia benušnyh elementov listnatyh drevin, VPA, VŠLD Zvolen, 7/85, 722 s.
32. Csonkáné R. R. (2005): A flavonok és a faanyag termikus átalakulása. PhD értekezés, NYME, Sopron
33. Csóka, L. (2007): Ismételt fourier transzformáció alkalmazása a fa sőrőség eloszlási görbéin. Doktori disszertáció, Sopron
34. Csupor, K.: (2004): A faanyag károsodása és károsítói. In. Németh, L. (szerk): *Faanyagok és faanyagvédelem az építőiparban*. Agroinform Kiadó, Budapest pp. 131-161.
35. Divos, F. – Tanaka, T. (1997): Lumber strength Estimation by Multiple regression. *Holzforschung*, 51: 467-471.
36. Dodd, R. S. – Fox, P. Kinetics of tracheid differentiation in Douglas-fir. *Ann Bot* 65:649-657. 1991.
37. 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
38. Eichhorn, H. (1999): *Landtechnik. Landwirtschaftliches Lehrbuch*. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart
39. 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.
40. Fehér, S. (1997): Az erdei fák mechanikai sérüléseinek hatása a fatest szöveti és fizikai-mechanikai tulajdonságaira, OTKA zárójelentés, Sopron
41. Fehér, S. – Gerencsér, K. (2003): Auswirkung von Wundreaktionen auf die anatomischen Merkmale von Geehölze, *Forst und Holz* 58(6): 150-152.

42. Frey, P. – Pinon, J. (1997): Variability in pathogenicity of *Melampsora alliipopulina* expressed on poplar cultivars. *European Journal of Forest Pathology* 27:397–407.
43. Fühler, E. – Rédei, K. – Tóth B.(2003): Ültetvényszerű fatermesztés I., Mezőgazda Kiadó - ERTI, Budapest
44. Fühler, E – Járó, Z. (2004): Nemzeti erdővagyron bővítése a mezőgazdaságilag gazdaságosan nem hasznosított földterületek beerdősítésével. In. Molnár, S. (szerk): Erdő-fa hasznosítás Magyarországon, NymE, FMK, Sopron
45. Gartner, B. L. (1996): Does photosynthetic bark have a role in the production of cores vs. Outer wood? *Wood Fiber Sci* 28:51-61.
46. Gencsi, L.(1973): Fahatározó, Erdészeti és faipari Egyetem. Sopron
47. Gregus P. (1959): *Holzanatomie der europäischen laubhölzer und straucher*, Akadémiai Kiadó, Budapest
48. Gerencsér, K. – Pásztori, Z. (2008): Modell technológiák ültevényes faanyagok feldolgozására. NymE, FMK, Sopron
49. Göbölös, P. (1998): A fehérynár hibridek faanyagminőségének kapcsolata a termőhellyel a Duna-Tisza közti homokháton, Diplomaterv, Sopron
50. Guzina, V. – Vujovic, M. (1986): *Poplars and willows in Yugoslavia*. Poplar Research Institute, Novi Sad. 295 p.
51. Gyulai, I. (2009): *A biomassza dilemma*. Lánchíd Kiadó Kft. Miskolc
52. Hakkila, P. (1989): *Utilisation of Residual Forest Biomass*, Springer series in Wood Science, Springer, Heidelberg New York, 568 pp.
53. Halupa, L. – Tóth, B. (1988): *A nyár termesztése és hasznosítása*, Mezőgazdasági kiadó, Budapest
54. 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
55. 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
56. Horváth, N. (2008): A termikus kezelés hatása a faanyag tulajdonságaira, különös tekintettel a gombaállóságra. Doktori értekezés. Sopron
57. Horváth, N – Bak, M. – Németh, R. (2012): Modification of poplar wood by different heat treatments. 7. Thermowood Workshop, Drezda

58. 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.
59. Imbert, E. – Lefevre, F. (2003): Dispersal and gene flow of *Populus nigra* (Salicaceae) along a dynamic river system. *Journal of Ecology* 91: 447-456.
60. IPC (2008): <http://www.fao.org/forestry/ipc/en/>
61. JAS (1997): Japanese Agricultural Standard for Structural Softwood Lumber. Japanese Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Tokyo
62. Kacz, K. – Neményi, M. (1998): Megújuló energiaforrások. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
63. 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.
64. Keresztesi, B. (1962): A magyar nyárfatermesztés, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
65. Keresztesi, B. (1978): A nyárák és fűzek termesztése, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
66. 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.
67. Koloc, R. (1984): Fafajták törzslapjai, Nehézipari könyv és Folyóirat Kiadó, Budapest
68. Koltay, A. (2010).: Az energetikai faültetvények növényvédelmi vonatkozásai. *Mezőgazdasági Technika*, LI, január (különszám) 66-67.
69. Koltay, A. (2011): Erdeink egészségi állapota 2011-ben, ERTI, Erdővédelmi osztály
70. Koltay, Gy. (1953): A nyárfa, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
71. Koós, D. (2008): Bútorcsalád tervezése tömörfából. Diplomadolgozat, Sopron
72. Kovács, I. (1978): Faanyagismeret, Mezőgazdasági kiadó, Budapest
73. Kucera, B. (1994): A hypothesis relating current annual height increment to juvenile wood formation in Norway spruce. *Wood Fiber Sci* 26:152-167.

74. Ladner, C. – Halmschlager, E. (2002): Dauerhaftigkeit von modifiziertem Holz gegenüber holzerstörenden Pilzen. (Durability of treated wood against wood-destroying fungi). In: Modifiziertes Holz, Eigenschaften und Märkte. Lignovisionen, 3, 191-219.
75. 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.
76. 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.
77. 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.
78. 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.
79. 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.
80. Marchadier, H. – Sigaud, P. (2005): Poplars in biotechnology research, *Unasylva* 21231, Vol. 556, 20035
81. 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.
82. Megraw, R. A. (1985): Wood quality factors in loblolly pine. *Tappi Press Atlanta, Georgia*, 89 pp.
83. MGSZH (2011): Erdővagyon, Erdő- és fagazdálkodás Magyarországon. Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal Erdészeti Igazgatóság, Budapest, Erdészeti igazgatóság.
84. 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.
85. Molnár, S. – Schmitt, U. (1994): Stammverfärbungen nach Schälsschäden durch Rotwield, *Holzforschung und Holzverwertung*, 46: 1, 17-18.
86. Molnár, S. – Bariska, M (2002): Magyarország ipari fái, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest

87. Molnár S. – Németh R. – Paukó A. – Göbölös P. (2002): A fehéryár hibridek faanyagminőségének javítási lehetőségei, Faipar, 2002/2, 24-26
88. Molnár, S. (2004/a): Faanyagismeret, Szaktudás Kiadó Ház Zrt., Budapest
89. Molnár, S. (2004/b): Erdő-fa hasznosítás Magyarországon, NymE, FMK, Sopron
90. Molnár S. – Peszlen I. – Paukó A. (2007): Faanatómia, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest
91. Molnár, S – Führer, E. – Tóth B. (2008): Az ültetvényes fagazdálkodás fejlesztése, Hillenbrand Nyomda, Sopron
92. Monoki, Á. (2006):
<http://www.nyf.hu/others/html/kornyezettud/megujulo/Biomassza/Biomassza.html>
93. MSZ EN 13698-1:2004: Rakodólapgyártás műszaki előírása. 1. rész: A 800 mm × 1200 mm-es sík, fa rakodólapok kialakításának műszaki előírása.
94. MSZ EN 408:2011: Faszervezetek. Szerkezeti fa és rétegelt-ragasztott fa. Egyes fizikai és mechanikai tulajdonságok meghatározása.
95. MSZ 6786-3:1988: Faanyagvizsgálatok. Sűrűség meghatározása.
96. 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
97. Németh, J. – Szabadhegyi, Gy. – Kovácsvölgyi, G. (2003): LVL (Laminated Veneer Lumber) típusú, furnér alapú, szerkezeti célú anyagok előállítására hazai kitermelésből származó nyár klónok alapanyagbázisán. Faipar LI. 3. sz. 6-9.
98. Németh, R. (2006): Hazai lombosfák juvenilis (bél körüli) faanyagának anatómiai és fizikai sajátosságai, különös tekintettel a hazai erdőgazdálkodási viszonyokra, OTKA, Kutatási jelentés, NymE, Sopron
99. 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.
100. Niemz, P. (1993): Physik des Holzes und Holzwerkstoffe, DRW Verlag
101. 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
102. Paillassa, E. (2004): Where to find poplar cultivars for 2004-05 plantations. Forêt-Entreprise . 159: 47-51.

103. Pallay, N. (1938) : Tájékoztató vizsgálatok a kanadai- és robusztanyár műszaki tulajdonságairól, Erdészeti Lapok, 10-11. f.
104. Panshin, AJ. – deZeeuw, P. (1964): Textbook of Wood Technology - Vol. I. McGraw-Hill Inc. New York
105. Paulovics, J. – Bokányi L. (2010): Nehézfémekkel szennyezett területekről származó fásszárú biomassza égetésekor keletkező maradékanyagokkezelési lehetőségei, II. Barnamezős Workshop, Miskolc 2010. március 31.
106. 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.
107. 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
108. Peszlen, I. – Molnár, S. (1996): Magyar nyárklónok fatechnológiai tulajdonságai, Bútor és Faipar, II. évf. 11-12: 26-28.
109. Pilipovic, A. – Nikolovic, N. – Orlovic, S. – Petrovic, N. (2005): Cadmium phytoextraction potential of poplar clones (*Populus* spp.). Z. Naturforsch 60: 247-251.
110. Pinon, J. (1992): Variability in the genus *Populus* in sensitivity to *Melampsora* rusts. *Silvae Genetica* 41: 25-34.
111. Rédei, K. (1994/a): A fehér nyár termesztésének fejlesztési lehetőségei a Duna–Tisza közti homokháton, Erdészeti Lapok, CXXIX. 3:72–74.
112. Rédei, K. (1994/b): Ígéretes fehér nyár (*Populus alba* L.) származások fatermése a Duna–Tisza közti homokháton, Erdészeti Kutatások, Vol. 84:81–90.
113. Rédei, K. (1994/c): Ígéretes fehér nyár származások fatermése a Duna–Tisza közti homokháton, Erdészeti Lapok, CXXX. 9:272–275.
114. Rédei, K. (1997): Fehér nyár klónok fiatalkori értékelése a Duna–Tisza közti homokháton, Erdészeti Lapok, CXXXII. 7–8:228–229.
115. 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.
116. 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.
117. 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.
118. 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.
 119. Scheiding W.: (2004) 1. Vortrag „2. Thermoholz Workshop“, Tagungsband - CD, IHD -Dresden-2004 május 6-7. cím: Thermoholzproduktion in Europa
 120. Shiokura, T. (1982): Extent and differentiation of the juvenile wood zone in coniferous tree trunks (in Japanese). *Mokuzai Gakkaishi* 28:85-90.
 121. Schopp, L. (1974): *Fatömegszámítási táblázatok*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
 122. 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.
 123. 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.
 124. Szendrei, J. (2005): A biomassa energetikai hasznosítása. *Agrártudományi Közlemények*, 2005/16. Különszám
 125. Szodfridt, I. (2001): *Nyártermesztés*, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest
 126. Szontagh, P. – Tóth, J.(1977): *Erdővédelmi útmutató*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
 127. Szontagh, P. (1989): Növényvédelmi technológiák a nyárak és a fűzek xilofág rovarainak elhárítására, *Erdészeti Kutatások* 143-149.
 128. 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
 129. Takáts, P. (1978): Lenpozdorja és nyár faforgács együttes felhasználásának lehetősége a lapgyártásban, *Faipar* XXVIII. évf. 5.sz. 145 -146.
 130. Tolvaj, L. (2005): Lombos faanyagok minőségjavítása hidrotermikus kezeléssel. In: *Erdő- fa hasznosítás Magyarországon* (Szerk.: Molnár Sándor) Nyugat-Magyarországi Egyetem Sopron, pp. 261-270.
 131. Tóth, B. (2006): *Nemesnyár-fajták ismertetője*, Agroinform Kiadó, Budapest

132. Tóth, B. – Molnár, S. – Fehér, S. (2007): Az energetikai faültetvény létesítésének és hasznosításának összefüggései, II. Ökoenergetikai és X. Biomassza Konferencia, Sopron
133. Ugolev, B. N. (1986): dreveszinovedenie sz osnovami lesznogo tovarovedenija, Lesznaja promüslennoszty, Moszkva
134. Újvári, A. (2009): Nyár faanyag fizikai-mechanikai tulajdonságainak változása a faanyag termikus tömörítésével. Diplomadolgozat, Sopron
135. 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
136. 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.
137. Vajtó, R. (2008): Nappali korpuszbútorcsalád nyárfa fűrészáru felhasználásával. Diplomadolgozat, Sopron
138. 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
139. Wagenführ, R.-Scheiber, C. (1974): Wood Atlas, VEB Fachbuchverlag, Leipzig
140. Wagenführ, R. (1989): Anatomie des Holzes. Leipzig
141. Wagenführ, R. (1996): Holzatlas, Fachbuch Verlag, Leipzig
142. Winkler, A. (1987): Összefüggések négy hazai fafaj és a belőlük készült termo falemezek és cellulóz tulajdonságai között. Doktori értekezés. Sopron
143. 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)
144. 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
145. Zhou, H. – Smith, I. (1991): Factors influencing bending properties of White Spruce lumber. *Wood and Fiber Science*, 23 (4): 483–500.
146. 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

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

Köszönetnyilvánítás

A disszertáció létrejöttében nyújtott segítségéért szeretnék köszönetet mondani mindenk előtt konzulensemnek, Dr. Molnár Sándornak, aki bátorított a doktori iskolába való jelentkezésemhez és munkám folyamán végig segítségemre volt.

Köszönöm a Faanyagtudományi Intézet munkatársainak, hogy olyan légkörben teltek és telnek napjaim, amely minden téren építő jelleggel hat rám. Köszönöm, hogy szakmai jellegű problémáimmal bármikor fordulhatuk hozzájuk.

Természetesen a fent említetteket nem mondhattam volna el, ha szüleim támogatását nem élvezhetném születésem óta. Külön köszönet feleségemnek, Emesének a nyugodt családi háttér biztosításáért és gyermekeimnek, Hubának, Hunornak és Lehelnek, hogy néha hagytak dolgozni.

Ábrajegyzék

1.ÁBRA	APRITÉKKÉSZÍTÉS (FOTÓ:PÜSKI).....	8
2.ÁBRA	NYÁR ENERGIAÜLTETVÉNY (FOTÓ:MONOKI).....	8
3.ÁBRA	GÖCSÖS FENYŐ TARTÓSZERKEZET	8
4.ÁBRA	NYÁR RAKODÓLAP.....	8
5.ÁBRA	NYÁR FAANYAG ('PANNONIA') KERESZTMETSZETE	9
6.ÁBRA	NYÁR FAANYAG SCANNING ELEKTRONMIKROSKÓPOS FELVÉTELE (FOTÓ:BARISKA) ...	9
7.ÁBRA	NYÁRAK TERÜLETI ELOSZLÁSA MAGYARORSZÁGON (FORRÁS: MGSZH)	10
8.ÁBRA	GÉNMODOSÍTÁSI KUTATÁSOK A FŐBB NEMZETSEGEK VISZONYÁBAN (FORRÁS: MARCHADIER, SIGAUD 2005)	12
9.ÁBRA	NAGY NYÁRFACINCÉR KÁROSÍTÁSA (FOTÓ:CSUPOR)	15
10.ÁBRA	'I-214' NYÁR SEM FELVÉTELE A LIBRIFORMROSTOKNÁL ELVÁLÓ GÉLES „G” RÉTEGGEL (FOTÓ:PESZLEN).....	16
11.ÁBRA	NYÁR FAANYAG ('ÓRIÁS' NYÁR) ELEKTRONMIKROSKÓPOS FELVÉTELE (FOTÓ:BARISKA)	16
12.ÁBRA	'PANNONIA' NYÁR RENDELLENES GESZTESEDÉSE	18
13.ÁBRA	NÖVÉNYI OLAJBAN KEZELT 'PANNONIA' NYÁR KÜLÖNBÖZŐ HŐMÉRSEKLETEKEN ILLETVE IDŐTARTAMON (FOTÓ:BAK)	21
14.ÁBRA	ÓVODABÚTOR NYÁR FAANYAGBÓL (FOTÓ:LUKÁCS)	22
15.ÁBRA	2 ÉS 10 ÉVES NEMESNYÁR ('PANNONIA') ÜLTETVÉNYEK (FOTÓ: IVELICS)	24
16.ÁBRA	ÉVGYŰRŰSZÉLESSÉG MEGHATÁROZÁSA	30
17.ÁBRA	SEM-OS ELEMZÉSHEZ ELŐKÉSZÍTETT 'I-214' NYÁR MINTÁK	31
18.ÁBRA	LIBRIFORM ROSTOK SEJFALVASTAGSÁGÁNAK MÉRÉSE IMAGE-PRO PLUS 4.0 SZOFTVERREL.....	32
19.ÁBRA	TABLETTÁZÓ PRÉS	33
20.ÁBRA	BERTHELOT-MAHLER FÉLE KALORIMÉTER	33
21.ÁBRA	A BÁZISSŰRŰSÉG MEGHATÁROZÁSÁHOZ ALKALMAZOTT TÉRFOGATMÉRÉS ELVI VÁZLATA	35
22.ÁBRA	A TÖRZSMETSZETEK (KORONGOK) TÉRFOGATÁNAK MEGHATÁROZÁSA.....	35
23.ÁBRA	HÁROM PONTOS HAJLÍTÁS MÉRÉSI ELRENDEZÉSE	38
24.ÁBRA	NÉGY PONTOS HAJLÍTÁS MÉRÉSI ELRENDEZÉSE	38
25.ÁBRA	A GÖCS ÁTMÉRŐ ARÁNY MEGHATÁROZÁSÁNAK PARAMÉTEREI	39
26.ÁBRA	SCANNING ELEKTRONMIKROSKÓP	40
27.ÁBRA	FENYŐ (BAL) ÉS NYÁR (JOBBS) GÖCSÖK.....	40
28.ÁBRA	'I-214' NYÁR ROSTHOSSZÚSÁGA	41
29.ÁBRA	'PANNONIA' NYÁR ROSTHOSSZÚSÁGA	42

30.ÁBRA	'KOLTAY' NYÁR ROSTHOSSZÚSÁGA.....	42
31.ÁBRA	'KOPECKY' NYÁR ROSTHOSSZÚSÁGA.....	43
32.ÁBRA	ÉVGYŰRŰNKÉNTI SŰRŰSÉGVÁLTOZÁS.....	44
33.ÁBRA	ÉVGYŰRŰSZÉLESSÉG VÁLTOZÁSA.....	45
34.ÁBRA	AZ 'I-214' KLÓN VIZSGÁLATI EREDMÉNYEI.....	45
35.ÁBRA	A 'PANNONIA' KLÓN VIZSGÁLATI EREDMÉNYEI.....	46
36.ÁBRA	A 'KOLTAY' KLÓN VIZSGÁLATI EREDMÉNYEI.....	46
37.ÁBRA	A 'KOPECKY' KLÓN VIZSGÁLATI EREDMÉNYEI.....	47
38.ÁBRA	'I-214' NYÁR ÉRETT FÁJÁNAK KERESZTMETSZETI SEM FELVÉTELE.....	48
39.ÁBRA	'I-214' NYÁR BÉLKÖRŰLI (BAL) ÉS ÉRETTBEBB FÁJÁNAK (JOBBS) ÉVGYŰRŰHATÁRA A KERESZTMETSZETEN, SEM FELVÉTELEL.....	48
40.ÁBRA	ÁTLAGOS GESZT-SZÍJÁCS ÉS KÉREGARÁNY.....	50
41.ÁBRA	FŰTŐÉRTÉK JELLEMZŐK A SZÁRAZ FATÉRFOGAT FIGYELEMBEVÉTELÉVEL [MJ/M ³].....	53
42.ÁBRA	KOROSZTÁLYOK HAMUTARTALMA A FŐ FARÉSZEK FÜGGVÉNYÉBEN.....	54
43.ÁBRA	4 PONTOS HAJLÍTÓSZILÁRDSÁGI TÖNKREMENTEL ERDEIFENYŐ (BAL) ÉS 'PANNONIA' NYÁR (JOBBS) ESETÉN.....	57
44.ÁBRA	A HAJLÍTÓSZILÁRDSÁG ÉS A HÚZOTT ÖV SZÉLES OLDALÁN ELHELYEZKEDŐ GÖCS ÁTMÉRŐ ARÁNYÁNAK ÖSSZEFÜGGÉSE.....	58
45.ÁBRA	A GÖCSÖSSÉG HATÁSA A 'PANNONIA' NYÁR KÜLÖNBÖZŐ FAANYAGJELLEMZŐIRE.....	59
46.ÁBRA	A GÖCSÖSSÉG HATÁSA A 'I-214' NYÁR KÜLÖNBÖZŐ FAANYAG JELLEMZŐIRE.....	59
47.ÁBRA	A GÖCSÖSSÉG HATÁSA AZ ERDEIFENYŐ KÜLÖNBÖZŐ FAANYAG JELLEMZŐIRE.....	60
48.ÁBRA	'PANNONIA' NYÁR GÖCS HATÁRZÓNÁJA.....	62
49.ÁBRA	'PANNONIA' NYÁR GÖCS, ÉS NORMÁL FATESTÉNEK HATÁRAI.....	62
50.ÁBRA	ERDEIFENYŐ GÖCS, ÉS NORMÁL FATESTÉNEK HATÁRA.....	63

Táblázatjegyzék

1.TÁBLÁZAT	A TERMÉSZETES ÉS ÜLTETVÉNYES) NYÁRAK TERÜLETI ARÁNYA	12
2.TÁBLÁZAT	A KEMÉNYSÉG (BRINELL) VÁLTOZÁSA AZ AKÁC JELLEMZŐ RÉSZEIN(u = 12%) ...	17
3.TÁBLÁZAT	A KÉREG TÉRFOGATI ARÁNYA FAFAJONKÉNT A TÖRZSÁTMÉRŐ FÜGGVÉNYÉBEN	24
4.TÁBLÁZAT	NYÁR FAJTASZORTIMENT	28
5.TÁBLÁZAT	A 4 KÜLÖNBÖZŐ KOROSZTÁLY KIALAKÍTÁSA	34
6.TÁBLÁZAT	A GÖCSÖSSÉG HATÁSA A STATIKUS HAJLÍTÓSZILÁRDSÁGRA	37
7.TÁBLÁZAT	A VIZSGÁLT MAKROSKÓPOS JELLEMZŐK	49
8.TÁBLÁZAT	SÚRÚSÉGI JELLEMZŐK [kg/m ³].....	51
9.TÁBLÁZAT	AZ ÉGÉSI JELLEMZŐK VIZSGÁLATA (u=0%).....	52
10.TÁBLÁZAT	KOROSZTÁLYOK HAMUÖSSZETÉTELE ABSZOLÚT SZÁRAZ TÖMEGRE VONATKOZTATVA (TS:u=0%).....	55
11.TÁBLÁZAT	A SZILÁRDSÁGI MÉRÉSEK STATISZTIKAI ÉRTÉKELÉSE.....	56
12.TÁBLÁZAT	A HAJLÍTÓSZILÁRDSÁGOT BEF. TÉNYEZŐK KORRELÁCIÓS EGYÜTTHATÓI	57
13.TÁBLÁZAT	A NYÁRFAJTÁK FIZIKAI ÉS MECHANIKAI JELLEMZŐI NORMÁL KLÍMÁN	69