

NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM
Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola
Biokörnyezettudomány Program

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS

**MINIROTÁCIÓS ENERGETIKAI FAÜLTETVÉNYEK
TERMESZTÉS-TECHNOLÓGIÁJÁNAK ÉS
HASZNOSÍTÁSÁNAK FEJLESZTÉSE**

Írta:

IVELICS RAMON

okl. környezetmérnök

Témavezető:

Prof. Dr. Sc. habil MAROSVÖLGYI BÉLA

tanszékvezető egyetemi tanár

Sopron

2006

MINIROTÁCIÓS ENERGETIKAI FAÜLTETVÉNYEK TERMESZTÉS- TECHNOLÓGIÁJÁNAK ÉS HASZNOSÍTÁSÁNAK FEJLESZTÉSE

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében
*a Nyugat-Magyarországi Egyetem Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskolája
Biokörnyezettudományi program

Írta:
Ivelics Ramon

**Készült a Nyugat-Magyarországi Egyetem Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola
Biokörnyezettudományi programja keretében

Témavezető: Dr. Marosvölgyi Béla

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. Rumpf János) igen /nem

(aláírás)

Második bíráló (Dr. Bai Attila) 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

„2050-ig az ún. új biomassza¹ meghatározó szerepet fog betölteni az országok megújuló energiahordozó alapú primer energiaellátásában.”

Marosvölgyi Béla, 2004.

¹-lágý- és fás-szárú energetikai ültetvények és egyéb lignocellulózok

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	1
1.1. A téma jelentősége	1
1.2. A kutatás célkitűzései	3
2. A KUTATÁSI TÉMÁVAL KAPCSOLATOS ELŐZMÉNYEK, HELYZETELEMZÉS	4
2.1. Energiapolitikai előzmények	4
2.1.1. <i>Az Európai Unió energiapolitikája</i>	5
2.1.2. <i>Magyarország energiahelyzete, a hazai energiapolitika</i>	8
2.2. A mini vágásfordulóú energetikai célú faültetvényekkel kapcsolatos nemzetközi és hazai kutatások, tendenciák	13
2.2.1. <i>Az energetikai faültetvényekkel kapcsolatos nemzetközi tendenciák</i>	13
2.2.1.1. A mini vágásfordulóú energetikai faültetvény létesítésével, üzemeltetésével és hasznosításával kapcsolatos nemzetközi szakirodalom áttekintése, fontosabb megállapítások	18
2.2.2. <i>A minirotációs energetikai faültetvényekkel kapcsolatos hazai tendenciák</i>	20
2.2.2.1. A mini rotációs energetikai faültetvényekkel kapcsolatos korábbi hazai kísérletek áttekintése	23
2.2.2.2. A mini vágásfordulóú energetikai faültetvény létesítésével, üzemeltetésével és hasznosításával kapcsolatos hazai szakirodalom áttekintése, fontosabb megállapítások	30
2.2.2.3. A korábbi rövid vágásfordulóú, minirotációs energetikai faültetvényekkel kapcsolatos kísérletekből levonható következtetések	31
2.3. Az energetikai ültetvények és a faenergetika kapcsolata	32
2.3.1. <i>Szántóföldi energianövényekkel létesített ültetvények fontosabb változatai és jellemzői</i>	32
2.3.1.1. Lágyszárú energianövények	33
2.3.2. <i>A dendromassza, mint energiahordozó jelentősége, összehasonlítása más lignocellulózokkal</i>	36
3. A KUTATÁS MÓDSZEREI	38
4. A MINIROTÁCIÓS ENERGETIKAI FAÜLTETVÉNYEKSEL KAPCSOLATOS KUTATÁSOK	40
4.1. A mini vágásfordulóú energetikai faültetvény létesítésével, üzemeltetésével és hasznosításával kapcsolatos problémafelvetés	40
4.1.1. <i>NÉHÁNY ÁLTALÁNOS, A TERMŐHELYTŐL, A FAFAJTÓL ÉS A FAJÁTÓL FÜGGETLEN JELLEMZŐ AZ ENERGETIKAI FAÜLTETVÉNY, ENERGIAERDŐ LÉTESÍTÉSÉVEL ÉS ÜZEMELTETÉSÉVEL KAPCSOLATBAN</i>	40
4.1.1.1. Ültetési hálózat	40
4.1.1.2. Termőhely vizsgálat és terület-, illetve talaj-előkészítés	40
4.1.1.3. Ültetés	41
4.1.1.4. Ápolás	41
4.1.1.5. A faültetvény betakarítása, a vágásforduló összehasonlítása az egyes termesztés-technológiák szempontjából	41

4. 1.1.6. Az ültetvény letermelése utáni kezelés	43
4. 1.1.7. Talajerő utánpótlás	43
4.1.2. A minirotációs akác energetikai faültetvények	43
4.1.2.1. A minirotációs akác energetikai faültetvények termőhelyigénye	44
4.1.2.2. Akác energetikai faültetvény létesítését megelőző munkálatok	44
4.1.3. A minirotációs nemesnyár energetikai faültetvények	46
4.1.3.1. A nemesnyár fajták termőhely-igénye	46
4.1.3.2. A nemesnyárra vonatkozó termesztés-technológiai műveletek áttekintése	48
4.1.4. Fűz energetikai faültetvények	49
4.1.5. 'Pusztai szil' energetikai faültetvények	49
4.2. A mini rotációs energetikai faültetvényekkel kapcsolatos kutatások	50
4.2.1. A minirotációs energetikai faültetvények állomány tulajdonságaival és növekedésével kapcsolatos kutatások ismertetése	50
4.2.1.1. Mini (1-2 éves) vágásfordulóú nemes nyár energetikai faültetvények létesítésével kapcsolatos kutatások	50
4.2.1.2. Vizsgálatok, felmérések – eredmények – következtetések, alkalmazás	55
4.2.1.3. A minirotációs (1 éves) vágásfordulóú nemesnyár energetikai faültetvényeken végzett kutatások összefoglalása	67
4.2.2. Hozamvizsgálatok a különböző kutatóhelyeken, fajokkal, fajfajakkal	67
4.2.2.1. Hozamvizsgálatok mini (1-5 éves) vágásfordulóú akác és nemesnyár energetikai faültetvényeken	67
4.2.2.2. Az 1 éves vágásfordulóú nemesnyár energetikai faültetvények hozam-meghatározása	74
4.2.2.3. Minirotációs (1 éves) fűz energetikai faültetvény állomány és hozamvizsgálata	76
4.2.3. A minirotációs energetikai célú faültetvényeken végzett állomány-, tő- és hozamvizsgálatok eredményeinek összefoglalása és megállapításai	77
4.2.4. Az energetikai faültetvények betakarításával és betakarítógéprendszerével kapcsolatos vizsgálatok	79
4.2.4.1. Helyzetelemzés, a téma indoklása	79
4.2.4.2. Energetikai faültetvények betakarításánál alkalmazható gépek és csoportosításuk, valamint RVEF betakarítási rendszerei	83
4.2.4.3. Mini vágásfordulóú energetikai célú faültetvények betakarításának gépesítésére folyó hazai kutatások – a magyar betakarítógép vizsgálata	87
4.2.4.4. Az újratelepítéses energetikai faültetvények, energiaerdők betakarítása, a Magyarországon fejlesztett ún. rendrevágó géppel	93
4.2.4.5. Az energetikai faültetvények betakarításának gépesítésével kapcsolatos kutatások összefoglalása	93
5. A MINI VÁGÁSFORDULÓJÚ FAÜLTETVÉNYEKBE TERMELT FAANYAG ENERGETIKAI HASZNOSÍTÁSA ÉS VIZSGÁLATA	95
5.1. Helyzetelemzés, a téma indoklása	95
5.2. A minirotációs energetikai célú dendromassa és egyéb lignocellulózok energetikai értékelése	95
5.2.1. A szilárd biotüzelőanyag értékelő indikátor	98
5.2.1.1. Az energiafa értékelő indikátor (FVI)	99

5.2.1.2. A magyar energiafa és a szilárd biomassa értékelő indikátorok	100
5.3. A biobrikett (fabrikett, egyéb lignocellulóz brikett) előállításával kapcsolatos, műszaki- és anyagvizsgálatok, valamint azok eredményeinek hasznosulása	102
5.3.1. A biobrikett-gyártásról általában	102
5.3.2. A kísérleti brikettáló üzem műszaki-technológiai jellemzőinek bemutatása és fejlesztése	103
5.3.3. Az új vizsgálati módszerek bemutatása	104
5.3.3.1. Morzsolódási tényező meghatározása	104
5.3.3.2. Nedvszívási kísérletek	104
5.3.3.3. Hamutartalom és fűtőérték meghatározása	105
5.3.3.4. A faforgácsokkal és faporokkal végzett kísérleti eredmények összefoglalása	105
5.3.4. Kísérletek nemes nyár energetikai faültetvényről származó dendromasszával és egyéb lignocellulózokkal	106
5.3.4.1. Az újabb alapanyagokkal végzett kísérleti eredmények összefoglalása	110
6. AZ ÚJ KUTATÁSI EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA ÉS AZOK HASZNOSULÁSA, ÚJ KUTATÁSI FELADATOK KIJEJÖLÉSE	111
6.1. Új tudományos eredmények összefoglalása	111
6.2. Az új tudományos eredmények hasznosulása és a gyakorlati hasznosítás lehetőségei	114
6.3. Új kutatási feladatok kijelölése	114
7. ÖSSZEFOGLALÁS	115
8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	117

IRODALOMJEGYZÉK

KIVONATOK (MAGYAR ÉS ANGOL NYELVŰ)

MELLÉKLETEK

Mellékletjegyzék

Diagramjegyzék

Táblázatjegyzék

Ábrajegyzék

KÉPMELLÉKLET

Képjegyzék

1. BEVEZETÉS

1. 1. A téma jelentősége

Az energetikával kapcsolatos kutatásokról megjelenő publikációk egybehangzóan a világ energiafelhasználásának növekedését jelzik (és prognosztizálják). Ez a tendencia az utóbbi években-, évtizedekben bekövetkezett demográfiai robbanással, életszínvonal növekedéssel és a nagyméretű technikai fejlődéssel függ össze.

Tekintettel arra, hogy az energiaigény növekedését kiváltó tendenciák tartósnak vehetők, a jelenlegi energiaigényt kielégítő fosszilis energiaforrások viszont végesek, előtérbe kerültek a megújuló energiákkal/energiahordozókkal, ezen belül is a dendromassza energetikai hasznosításával foglalkozó kutatások. A folyamatot nagymértékben gyorsította az a felismerés, hogy a globális klímaváltozásért nagymértékben az energetika a felelős, és ez a káros hatás csak a megújuló energiák és energiahordozók egyre nagyobb mértékű elhasználásával mérsékelhető.

Ennek eredményeképpen a világ központi témái közé tartozik az energia helyzet optimalizálása, jobbá tétele. Energetikai-gazdasági-társadalmi probléma jelentkezik, hiszen a népesség növekedésének következtében növekszik az energiaigény. A világnak meg kell oldania az energia helyzet problémáit, amelyet csak nehezít az a tény, hogy a világ fosszilis energiahordozó-készlete kimerülőben van. Változtatásra van szükség, amelyet azonban csak fokozatosan lehet véghez vinni, és amelyhez állandó, többszintű felmérések és előrejelzések, valamint kísérletek, kutatások, vizsgálatok, ezen kívül alkalmazások és beruházások szükségesek. Elsősorban el kell érni, hogy növekedjen, a fenntartható fejlődés érdekében, a világ energia felhasználásában a megújuló energiahordozók részaránya. Ezt a folyamatot segítheti elő a minirotaációs faültetvények energetikai hasznosításának fejlesztése.

Továbbá a fosszilis energiahordozó-készletek rohamos csökkenése, a légkörszennyezés okozta károk enyhítése szükségessé teszi a megújuló, környezetkímélő energiaforrások minél nagyobb mértékű bevonását az energiafelhasználásba. (BAI ET ZSUFFA, 2001., MAROSVÖLGYI, 2001.a.)

A megújuló energiaforrások alternatívát kínálnak a fosszilis energiahordozók felhasználásának mérséklésére, így például a biomassa, ezen belül a dendromassza energetikai hasznosításának legfontosabb környezetvédelmi hatása, hogy eltüzelésekor nem növeli a légkör széndioxid terhelését, mert elégetése esetén körülbelül annyi CO₂ szabadul fel, amennyit termeszése során a légkörből leköt. Tehát például a lignocellulózok energetikai hasznosítása révén elérhető egy környezetkímélő energiatermelés, amelynek egyik legfontosabb jellemzője a zárt CO₂ ciklus. A lignocellulózok azok a természetes anyagok, amelyek nagy mennyiségben tartalmaznak lignint, cellulózt és hemicellulózt. A legnagyobb mennyiségben, a növényekben, a fitomasszában, tehát az elsődleges biomasszában lelhetők fel. (BAI, 2002., MAROSVÖLGYI ET AL., 2005., HANCSÓK, 2004.)

A megújuló energiaforrások keresése Magyarország számára azért is kiemelten fontos, mert hazánk köztudottan szegény ásványi eredetű energiahordozókban. A megújuló energiaforrások tekintetében a nap, a szél, a geotermikus energia és a biomassa terén Magyarország jelentős potenciállal rendelkezik, ugyanakkor ezeknek az energiahordozóknak a használata számos ok miatt csekély mértékben terjedt el. A nap, a

szél és a geotermikus energia hasznosítására a jelenleginél nagyobbak a lehetőségek, de Magyarországon a legjelentősebb megújuló energiaforrásként a biomassza jöhet számításba. (BARÓTFI, 1996., BARÓTFI, 1998., BOHOCZKY, 2005., MAROSVÖLGYI, 2002.b.)

A megújuló energiaforrások előtérbe helyezésének szükségességét nyomatékosítja az a körülmény, hogy hazánk egy olyan gazdasági közösséghez, az Európai Unióhoz csatlakozott, amely maga is jelentős energiahordozó behozatalra szorul. Az Európai Unió az elmúlt években megfogalmazta és meghirdette a megújuló energiaforrások használatának növelését előirányzó stratégiáját és akcióprogramját, amelyet számos jogszabály révén (2001/77/EC, 2001/0265 (COD)) már hatályba is léptetett. Az Európai Unióban a tagországokkal szembeni elvárás az, hogy a megújuló energiahordozókat nagyobb mértékben hasznosítsák. A megújuló energiaforrások arányának a tagországok összes energiafelhasználásában – tagországonként differenciáltan – 2010-re el kell érnie a 12 %-ot. (Az Európai Unió Fehér Könyvének célkitűzései szerint.) Ezzel párhuzamosan a megújulókkal termelt villamos energia részarányát 22,1 %-ra kívánják növelni. (MAROSVÖLGYI, 2001.b, MAROSVÖLGYI, 2002.a)

Magyarországon ezek a célkitűzések a biomassza jelenlegi kihasználásának nagyobb fokú energetikai célú hasznosítását teszi szükségessé. A biomassza jelentős mértékű hasznosítása növelné Magyarország energiamérlegében a biomassza arányt, tehát a téma a magyar EU-s előírások teljesítését javítja, valamint csökkenti az importfüggőséget. (KERÉNYI, 2001., BOHOCZKY, 2001., PÁLVÖLGYI ET FARAGÓ, 1995., MAROSVÖLGYI ET IVELICS, 2004.a, MAROSVÖLGYI ET IVELICS, 2004.b)

Magyarország felé konkrét elvárás fogalmazódott meg, a nemzeti stratégia kialakítása során cél, hogy a magyar teljes energiafelhasználásban 2010-re a megújuló energiaforrások részarány elérje a 7 %-ot, amely alacsonyabb értéket képvisel, mint a többi európai uniós tagország vállalása. A megújuló energiaforrások a magyar teljes energiafelhasználásban elérte a 4,1-4,2 %-ot 2004-re, 2005-ben pedig 5,8 % volt. (BAI, 2005., BAI, 2006.)

A villamos energiatermelésben, a Magyarország által aláírt Csatlakozási szerződés következtében 2010-ig 3,6 % fogyasztáshoz viszonyított megújuló energiaforrásokból származó áramtermelést ír elő. Ezt az értéket 2005. év végére meghaladta a biomassza alapú erőműi beruházások és fejlesztések segítségével, mivel 2005-ben ez az arány 4,1 % volt, (Kazincbarcika, Pécs, Ajka, Mátra – településeken található erőművek működésével). (BAI, 2006.)

A megújuló energiahordozók közül napjainkban jelentős mértékben megnőtt a biomassza gyűjtőnévvel illetett mező- és erdőgazdasági hulladékok, melléktermékek és energetikai főtermékek iránti érdeklődés. Ebbe a körbe tartoznak az energetikai célú termesztett növények, a másodlagos (állati eredetű) hulladékok és főként disszertációk központi témája, az energetikai célú mini vágásfordulójú faültetvények.

Az értekezés keretein belül a megújuló energiaforrások egyik jelentős képviselőjével a faanyaggal, ezen belül is az energetikai célú minirotaációs faültetvényekből származó dendromasszával, illetve ennek termesztés-technológiájával, hozamával, géprendszerével és hasznosításával kívánok részletesen foglalkozni.

1.1. A kutatás célkitűzései

A doktori értekezés bemutatja az energetikai célú elsősorban mini vágásfordulóú faültetvények kérdéskörében, az elmúlt 5 évben végzett kutatásaim eredményeit.

A Tatai Parképitő Rt. és a Pannonpower Holding Rt. területén, valamint egyéb kisebb kiterjedésű területeken, a Nyugat-Magyarországi Egyetem Energetikai Tanszékének témavezetésével hazánkban elsőként telepített energetikai célú minirotaációs faültetvények, illetve egyéb területeken elhelyezkedő energetikai célú faültetvények kutatása során, a következő fontosabb feladatok megoldását tűztem ki célul:

- Az energiapolitika elemzése Magyarországon és az Európai Unióban a dendromassza energetikai hasznosítása szempontjából.
- A mini vágásfordulóú energetikai célú faültetvények esetén az optimális vágásforduló kialakítása és vizsgálata az egyes termesztés-technológiák esetén.
- A minirotaációs energetikai célú dendromassza ültetvények növekedési tulajdonságainak, összefüggéseinek kialakítása.
- A mini vágásfordulóú energetikai faültetvények (MVEF) fahozamának (t/ha/év) meghatározása és összehasonlítása.
- További fafajok és fajták bevonása a minirotaációs termesztésbe.
- A fafaj függő MVEF termesztés-technológia elemzése. Különböző külföldi és hazai termesztés-technológiák vizsgálata.
- A mini, midi és rövid vágásfordulóú faültetvények betakarítási rendszereinek kialakítása. A betakarítógépek feltárása, apríték központú vizsgálata.
- A minirotaációs faültetvények faanyagának energetikai, tüzeléstechnikai vizsgálata.
- A dendromassza ültetvények hagyományos energetikai célú hasznosítása mellett elhelyezkedő újabb potenciális hasznosítási módok felkutatása és vizsgálata.

A kialakított témakörökben a fő célkitűzés az volt, hogy a téma egymáshoz kapcsolódó szakterületein úgy végezzek kutatásokat, hogy a részeredmények új tudományos megoldások kifejlesztésének feltételeit teremtsék meg, és az új megoldások alkalmazásával a téma továbbfejlesztésének újabb lehetőségei alakuljanak ki.

A fenti témakörök megválaszolásával a mini vágásfordulóú energetikai célú dendromassza ültetvények termesztését, illetve a minirotaációs faanyag energetikai hasznosításának ügyét fejleszti a disszertáció.

2. A KUTATÁSI TÉMÁVAL KAPCSOLATOS ELŐZMÉNYEK, HELYZETELEMZÉS

2.1. Energiagazdálkodási, energiapolitikai előzmények

Szinte majdnem minden emberi tevékenységhez energiára van szükség. A társadalmak fenntartásának és az életszükségletek kielégítésének elengedhetetlen feltétele az energia. A fejlett, civilizált világban el sem tudjuk magunkat képzelni villamos- és hőenergia nélkül. A kialakult ipari, mezőgazdasági, technológiai és gépesített világban az energia felhasználás egyre nagyobb mértékben növekszik. Az előző évtizedekben az országok saját energia igényüket fosszilis és atomenergia segítségével látták el. Ekkor az energiatermeléshez kapcsolódó környezeti hatások még nem teljesen körvonalazódtak, amelyeket a mai világban már nem lehet figyelmen kívül hagyni. Itt szükséges kiemelni elsősorban az üvegházhatást, a savas esőket, amelyeket többek közt a fosszilis energiahordozók égéséből származó különböző gázok okoznak.

Ilyen energiafelhasználás mellett bizonyos időn belül (50-100 év) a szén-dioxid tartalom a légkörben megduplázódhat, amely az átlaghőmérséklet (kb.: 0,5-1,5 °C) emelkedését eredményezheti. A kén-dioxid pedig a savas esőket és a természetes vizek elsavanyodását okozza. Ezek a tények felhívták a figyelmet arra, hogy az energiatakarékosságra törekedni kell, és a biológiai erőforrások egyre nagyobb mértékű hasznosítását kell előtérbe helyezni. (KACZ ET NEMÉNYI, 1998., MAROSVÖLGYI, 2001.a.)

A XX. század végére az emberiség energiaszükséglete hatalmas méreteket ért el és az energiaigény tovább nőtt. 2000-ben a világ primerenergia-felhasználása valamivel több, mint 400 EJ (exajoule = 10^{18} J) volt. Az igények fedezésére 4,6 Gt kőolajat és 4,5 Gt szenet, valamint 2,5 Tm³ földgázt kellett kitermelni. A megújuló energiaforrások a szükségletek 12-16%-át fedezték, 50-65 EJ értékben. Ezen belül a vízenergia 25 EJ-t, a bioenergia (legnagyobb részt tűzifa) 25-40 EJ-t tett ki, míg a nap-, szél-, geotermikus energia alig érték el az 1 EJ mennyiséget. (GAZDASÁGI MINISZTERIUM, 2005.)

Ezzel szemben a Nemzetközi Energia Ügynökség (IEA) 2002-es adatai alapján a globális primerenergia-felhasználás 2000-ben elérte a 0,355 ZJ-t (zettajoule = 10^{21} J), a 2000-2030-ra vonatkozó előrejelzésük szerint a következő változásokra számíthatunk ebben az időszakban:

- 1,7 %/év növekedés az energia-fogyasztásban (30 év alatt összesen 66 %),
- 60 % növekedés az olaj-felhasználásban,
- a gázfelhasználás megduplázódása, melynek 60%-át erőművek használják fel,
- környezetvédelmi szempontok miatt csökkenni fog az atomenergia részaránya, Kína és India ugrásszerűen növekvő energia-igénye miatt nőni fog a szén szerepe. (BAI, 2005.)

A WEC (2000) előrejelzése három változatban vizsgálta meg az energiafelhasználás nagyságának és megoszlásának 2050-re várható változását (2.1. sz. táblázat). Az IEA becslésének megfelel a WEC előrejelzése, de a viszonyítási alaphoz képest 2,5-3,5-szeresére nő a megújulókból származó mennyiség. Ennek a jövőképeknek a megvalósulása a bázisidőszakhoz képest 2,8-4,2 Gtoe (118-177 EJ) megújuló energia felhasználását tenné szükségessé, melynek mintegy egynegyede lehetne biomassza.

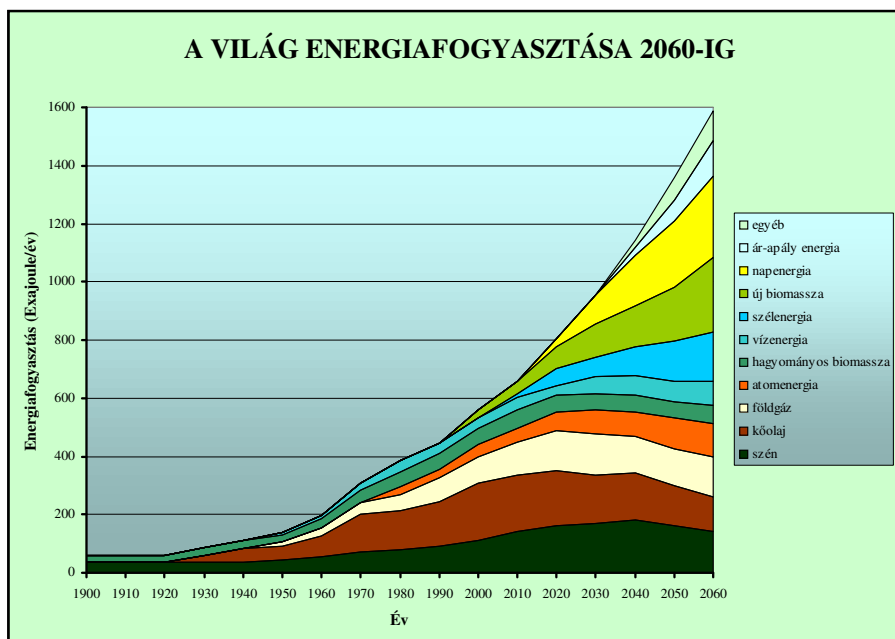
2.1. sz. táblázat: A világ energiastruktúrájának változatai 2050-re

Energiahordozók	Legvalószínűbb változat		Környezetbarát változat	„Erős növekedés” változat
	1990			
Szén	24,00%	21,00%	11,00%	32,00%
Kőolaj	34,00%	20,00%	19,00%	19,00%
Földgáz	19,00%	23,00%	27,00%	22,00%
Nukleáris	5,00%	14,00%	4,00%	4,00%
Megújuló	18,00%	22,00%	39,00%	23,00%
Primer energia évi felhaszn.	9 Gtoe	20 Gtoe	14 Gtoe	25 Gtoe

Forrás: WEC, 2000. IN BAI, 2005.

A SHELL, 2002. előrejelzése még nagyobb energiaigénnyel számol (2060-ra 1600 EJ/év), melynek kétharmadát megújulók teszik majd ki. (2.1. sz. ábra)

2.1. sz. ábra: A világ energiafogyasztása 2060-ig, a SHELL vállalat előrejelzése alapján



Forrás: SHELL, 2000. in MAROSVÖLGYI ET IVELICS, 2005.

A 2.1. sz. ábra mutatja, hogy 2060-ig az ún. új biomassza (elsősorban az energetikai célra termelt lignocellulóz) jelentős szerepet fog betölteni a világ primer energiaellátásában.

2.1.1. Az Európai Unió energiapolitikája

Az elkövetkező években politikai-gazdasági elképzeléseinket növekvő mértékben fogja befolyásolni az Európai Unió.

A tagországok fosszilis energiaszükséglete továbbra is növekvő tendenciát mutat. Az Európai Unió jelentős erőfeszítéseket tesz a megújuló energiaforrások jövőbeli fokozottabb mértékű hasznosításának elősegítésére. Az alternatív energiaforrásokat a legtöbb EU országban ma még csak korlátozottan, minden különösebb koordináció nélkül, lassan növekvő mértékben hasznosítják.

A megújulókat hasznosítása nemcsak a környezetvédelemhez és a fenntartható fejlődéshez járul hozzá, hanem ösztönzi a helyi munkahelyteremtést, biztonságosabbá teszi az energiaellátást, lehetővé teszi az ENSZ éghajlatváltozásról szóló keretegyezményéhez csatolt Kyotói Jegyzőkönyvben foglalt célkitűzések gyorsabb megvalósulását és kedvezően hat a társadalmi kohézióra, ami alapfeltétele az EU jövőbeni fejlődéséhez. Ennek köszönhetően mára az energia-, a mezőgazdasági- és a környezetvédelmi politika szerves részévé váltak a megújuló energiaforrások. Az Unió régi 15 tagállamában a megújuló energiák részaránya jelenleg 5,3 % (2.2. sz. táblázat), mely jelentősen magasabb a hazai adatnál, ám jelentősen elmarad a kívánatos mértéktől.

2.2. sz. táblázat: A megújuló energia részaránya az EU régi tagállamaiban

Ország	Részarány	Ország	Részarány
Ausztria	24,3%	Luxemburg	1,4%
Belgium	1,0%	Németország	1,8%
Dánia	7,3%	Olaszország	5,5%
Egyesült Királyság	0,7%	Portugália	15,7%
Finnország	21,3%	Spanyolország	5,7%
Franciaország	7,1%	Svédország	25,4%
Görögország	7,3%	EU-15 összesen	5,3%
Hollandia	1,4%	MAGYARORSZÁG	3,6%
Írország	2,0%		

Forrás: SZAJBERT, 2005. in BAI, 2006.

A megújuló energiaforrások részarányának növelése érdekében első lépésként, 1996-ban elkészült a megújuló energiaforrások fejlesztésével foglalkozó *Zöld Könyv*, majd 1998-ban a teljes stratégiai fejlesztési programot tartalmazó *Fehér Könyv*. A program célja egy integrált piac megteremtése és versenyhelyzet kialakítása az energiaellátás területén, mert csak így biztosítható az olcsó energia, valamint a gyártóipar versenyképessége. E feladatba az energiaárak leszorítása is beletartozik. Ezen kívül kötelező a kapcsolt hőtermelés (kogeneráció, trigeneráció) és a megújuló energiák alkalmazásának előmozdítása. (BIOENERGY, 2002., FEHÉR KÖNYV, 1997., VAJDA, 2001.)

Az Európai Unió megújuló energiaforrás fejlesztési koncepciója azt tűzte ki célul, hogy a megújuló energiaforrások arányának növelésével jelentős mértékben elősegítse a globális üvegházhatást okozó gázok 2010-ig mintegy 15%-kal való csökkentésére vonatkozó nemzetközi egyezményekben rögzített követelmények teljesítését. A koncepció megvalósításának egy további indoka az EU energiainport függőségének csökkentése. Jelenleg az EU tagországok energiaszükségletük mintegy 50%-át importból fedezik. Ez az arány jelentősebb energiapolitikai intézkedések megtétele nélkül 2020-ig elérheti a 70%-ot. (BOHOCZKY, 1994., BARÓTFI, 2000., MAROSVÖLGYI, 2004.)

A fejlesztési program legfontosabb célja, hogy tíz év alatt a megújuló energiaforrások részesedése az EU 15 (EU 25) tagországában kétszeresére, kb. 12%-ra növekedjék, aminek feltétele, hogy az egyes megújuló energetikai technológiák fejlesztését illetően teljesüljenek a korábbi fejlesztési koncepciókban rögzített műszaki célkitűzések. Ennek érdekében az Európai Unió a K+F keretprogramjain belül kiemelt pénzügyi támogatást biztosít a racionálisnak megítélt fejlesztési programok teljesítéséhez és a korábban

megfogalmazott műszaki, gazdasági és egyéb akadályok elhárítására. Ezzel olyan átfogó intézkedéseket helyez kilátásba, amelyek az energiapiac, a környezetvédelem, az agrárgazdaság, a regionális és vidékfejlesztési politika, a munkaerő-gazdálkodás, az adózási és versenyszabályok, a kutatás és fejlesztés, valamint az oktatás területeire egyaránt kiterjednek. (POÓS, 1999.)

A fejlesztési koncepció a megújuló energiaforrások körébe sorolja a napenergiát, a szél- és víz energiát, a biomasszát és a geotermikus energiát, elsősorban hő- és villamos energiaellátás céljaira, valamint a biomassza eredetű energiahordozók motor hajtóanyagként történő hasznosítását. Az EU tagországokban a megújuló energiaforrások részaránya 1990-1995 között 5,0%-ról csupán 5,3%-ra növekedett. Legmagasabb Svédországban (26,7%), Ausztriában (23,3%), Finnországban (20,9%) és Portugáliában (16,9%), elsősorban azon országokban, ahol a biomassza energetikai hasznosítása már jelenleg is számottevő. (DENCs ET AL. 1999.)

BAI, 2006. szerint a vízenergia mellett a biomassza képviseli a legnagyobb részarányt a megújulók között, jelentőségét viszont növeli univerzális felhasználhatósága, szemben a vízenergiával, mely csak elektromos energia előállítására alkalmas. A villamosenergia-termelésben a megújulók részarányában várható a legnagyobb, a következő három évtizedben mintegy háromszoros növekedés. (BAI, 2006.)

2.3. sz. táblázat: Az EU megújulókkal kapcsolatos legfontosabb jogszabályai

Évszám	Jogszabály
1974	Határozat az energiatakarékosági politikák fejlesztéséről
1980-1990	Energiapolitikai célkitűzések meghatározása
1986-1995	Újabb közös energetikai célkitűzések meghatározása
1995	Fehér Könyv a Közösségi energiapolitikáról
1996	96/92/EC: az energiapiac liberalizációjáról
1997	8522/97. sz. határozat („Zöld Könyv”)
1999	Felkészülés a Kyotoi Jegyzőkönyv végrehajtására
2001	2001/77/EK : megújuló erőforrásokból származó energia elterjedésének támogatása
2002	Sevillai keret-megállapodás a megújítható energiaforrások fejlesztéséről
2003	A villamos energia határokon keresztül történő kereskedelme esetén alkalmazandó hálózati hozzáférési feltételekről (1228/2003/EK)
	A villamos energia belső piacára vonatkozó közös szabályokról és a 96/92/EK irányelv hatályon kívül helyezéséről (2003/54/EK)
	Az üvegházgázok kibocsátási egységei Közösségen belüli kereskedelmi rendszerének létrehozásáról (a 96/91/EK irányelv módosítása, 2003/87/EK)
	2003/30 EK a bioüzemanyagok közlekedésben való alkalmazásáról
2004	a hasznos hőigényen alapuló kapcsolt energiatermelés belső energiapiacian való támogatásáról és a 92/42/EGK irányelv módosításáról (2004/8/EK)

Források: SZAJBERT, 2005., BOHOCZKY, 2004., GÖGÖS, 2005. in BAI, 2006.

2.1.2. Magyarország energiahelyzete, a hazai energiapolitika

A magyar energiamérlegben megállapítható, hogy a primer-energia szükségletünk több mint 70%-át importból (kőolaj, földgáz, villamos energia) fedezzük. A primer-energiák közül nagy részarányú a földgázfelhasználás, amely miatt energiaellátásunk különösen érzékeny a gázár és az ellátási lehetőségek változására. Ugyanakkor magas arányt képvisel a kőolaj- és villamos energia felhasználásunk is. Ez utóbbi egyharmad részét importból biztosítjuk. A megújuló energiaforrások részaránya ennek ellenére még mindig alacsony a hazai energiafogyasztásban. (2.4. sz. táblázat) (BOHOCZKY, 1994., GIBER ET AL. 2005., BAI, 2006.)

2.4. sz. táblázat: A hazai megújuló energia-termelés adatai

Megnevezés	Villamosenergia-termelés (GWh)					Hőhasznosítás (TJ)**				
	2001	2002	2003	2004	2005*	2001	2002	2003	2004	2005
Geotermia	-	-	-	-		3 600	3 600	3 600	3600	
Napkollektor	-	-	-	-		60	70	76	76	
Tűzifa	7	6	109			13 539	14 592	18 176	23900	
Erdészeti hulladék	-	-	-	793	1500	4 600	4 550	4 800	15029	
Egyéb biomassza	-	-	-			12 461	11 602	9 625		
Biogáz	7,6	11,2	18,4	23	16	126	133	191	229	
Vízenergia	186	194	171	210	160	669,6	698,4	615,6	756	
Szélenergia	0,9	1,2	3,6	5,5	7	3,2	4,3	12,9	20	
Fotovillamos	0,06	0,06	0,07	0,1		0,0216	0,0216	0,0252	0,36	
ÖSSZESEN	201,5	212,4	301,97	1031,6	1683	35,1 PJ	35,2 PJ	37,1 PJ	42,7 PJ	62 PJ
Hulladékégetés	112	59	67	54	60	2 597	1 995	1 507	1373	1450
Mindösszesen	313,5	271,4	368,97	1089,6	1743	37,7 PJ	37,2 PJ	38,6 PJ	44,1 PJ	63,5 PJ
Részarány (%)	0,8	0,6	0,9	2,6	4,1	3,6	3,6	3,5	4,2	5,8

Jelmagyarázat: * becült adatok

** villamosenergia-termelésre felhasznált mennyiséggel

Forrás: SZAJBERT, 2005., BOHOCZKY, 2005., BAI, 2005., TÓTH, 2005. in BAI, 2006.

A hazai energiatermelés adatait a következő 2.5. sz. táblázatban mutatom be:

2.5. sz. táblázat: Hazai energetikai alapadatok

Megnevezés	M.e	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Belföldi energiatermelés	PJ	489	472	459	449	430	433	425	420*
Belföldi energiafogy.	PJ	1046	1043	1036	1069	1059	1092	1088	1100*
Belföldi villamosáram-fogyasztás	GW h	37928	38217	38725	39590	40340	41084	41830	42400
Benzinfogyasztás	et	2113	2083	2068	2111	2288	2055	2020	1990
Gázolaj-fogyasztás	et	1897	1898	2058	2060	2103	2253	2637	2920
GDP változás	%	4,9	4,2	5,2	3,8	3,5	3	3,8	4,3

Jelmagyarázat: *: előrejelzés

Forrás: KSH, 1998-2004., GKM, 2006., VPOP, 2006. in BAI, 2006.

A magyar energiapolitikának elő kell segítenie az Európai Unió által előírt változások megvalósítását. Alapvető szempont, hogy a magyar energiapolitika illeszkedjen az EU energiapolitikájához, és általa olyan szabályozás alakuljon ki a hazai energiapiacra, ami lehetővé teszi, hogy hazai energiapiacunk zökkenőmentesen váljon az európai piac részévé. (SZERGÉNYI, 1997.)

A rendszerváltás nemcsak az energiafelhasználás összértékét, hanem annak ágazati megoszlását is módosította. Az ipari energiafelhasználás aránya csökkent, a lakossági és kommunális fogyasztás aránya azonban jelentősen emelkedett (bár a tényleges fogyasztás nem változott), mai részaránya meghaladja az 50%-ot. Energiaellátásunkban jelenleg a szén, az olaj, a földgáz és az atomenergia szerepe egyaránt jelentős, vagyis a kialakult energiastruktúra a több lábon állás szempontjából kedvező. (BÜKI, 1997., VAJDA, 2001.)

Hazánkban az 1970-es évek végén érzékelték először az olajválság világgpiacra gyakorolt hatását (1973. első, 1981. második olajválság.). A megújuló energiaforrások, ezen belül a biomassa energetikai felhasználásának kérdése ekkor vált aktuálissá.

Magyarország energiafelhasználása az olajválság előtti évekig gyorsan növekedett, majd ezt követően a növekedés lelassult. A rendszerváltást kísérő gazdasági átalakulás következtében az energiafelhasználás jelentősen, 1992-re mintegy 20 százalékkal csökkent. Azóta lényegében stagnál, illetve alacsony növekedés mutatkozik az ezredforduló óta. (BARÓTFI, 1994.a, SZERGÉNYI, 1992., VAJDA, 2001.)

Az utóbbi tíz év alatt a felhasznált energia szerkezete és típusa is megváltozott. A szén aránya csökkent, az olaj és olajtermékek viszonylagos felhasználása az áremelkedés ellenére valamelyest növekedett. Legjelentősebben a földgáz felhasználása emelkedett. Ma már a települések többsége, beleértve a vidéki településeket is, földgázzal ellátott. A nukleáris energia részaránya lényegében változatlan maradt, illetve alacsony növekedést mutatott. A megújuló energiaforrások felhasználása változatlanul nagyon alacsony. (2.6. sz. táblázat)

2.6. sz. táblázat: Magyarország primer energiafelhasználása, 1990-2004 között (PJ-ban)

	1990	1995	1998	2003	2004
Forrás összesen	1.328,1	1.163,3	1.148,7	1221,2	1203,7
Hazai termelés	603,4	553,9	489,2	434,7	434,4
Behozatal	724,7	609,4	659,5	786,5	789,3
Kivitel	70,8	87,6	74,3	108,2	119,7
Készletváltozás	13,1	8,7	28,4	21,4	7,0
Energiafelhasználás	1.244,2	1.067,1	1.046,0	1091,6	1077,0

Forrás: GAZDASÁGI MINISZTERIUM, 2005.

Előrejelzések szerint a szilárd fűtőanyagok szerepe tovább csökken, a kőolaj és földgáz felhasználás állandó marad, és várhatóan az atomenergia és a megújuló energiák szerepe fog növekedni. (VAJDA, 2001., GIBER ET AL., 2005.)

A társadalmi-gazdasági környezet fenntartható fejlesztése a környezetvédelem és az energiagazdaság érdekeit egyaránt figyelembe vevő hosszú távú stratégia alkalmazását igényli. Ez ágazatközi és társadalmi együttműködést tesz szükségessé, amelynek legfőbb alapelve a gazdaság energiahatékonyságának javítása, illetve az energiatakarékosság és környezetvédelem szükségességének társadalmi elfogadtatása.

Az 1995-ben hatályossá vált környezetvédelmi törvényt követte az erőműi kibocsátásokat szabályozó 22/1998. (VI.26.) KTM rendelet, mely az 50 MW és az ennél nagyobb hő teljesítményű tüzelőberendezések légszennyező anyagainak kibocsátási határértékeit írja elő.

Az új levegőtisztaság-védelmi jogszabály meglévő erőműi tüzelőberendezések esetében 2004-ig türelmi időt biztosított az EU konform kibocsátási határértékek betartására. A rendelet szerint azonban ezen időszak lejártával a határértékeket túllépő erőművek tovább nem üzemeltethetők, a környezetvédelmi hatóság által leállításra kerülnek/kerültek (Bezárásra kerültek különböző szenes erőművek, pl. Báhhidai erőmű, valamint több szénerőmű átalakításon esett át, pl. Vértesi Erőmű, Pécsi Erőmű). Az erőművek leállításával kapcsolatban meg kell oldani a rekultivációs feladatokat is (égetési és füstgáztisztítási maradékok elhelyezése, salakhányók bezárása, a táj helyreállítása).

A magyar erőműrendszer fejlesztésének keretében az új erőműveket úgy kell létesíteni, hogy azok a környezetvédelmi előírásokat maradéktalanul teljesítsék. A fenntartható fejlődés biztosításának egyik legfontosabb eleme energetikai szempontból a környezet- és természetvédelemmel kapcsolatos költségek elismerése az árban. (KFKI, 2005.)

A környezetvédelmi előírások teljesítése döntő részt a levegő tisztasággal van összefüggésben. E területet két levegőszennyező kibocsátásával kapcsolatos nemzetközi vállalat érinti:

- a Kén-II. Egyezmény szerint az ország kéndioxid kibocsátását - az 1980. évi szinthez képest - 2010-ig 60%-kal kell csökkenteni;
- a Kyoto-i Klímaegyezmény szerint az ország széndioxid kibocsátását - az 1985-1987. év átlagához képest - 2010-ig 6%-kal kell mérsékelni.

A Kén-II. Egyezmény vállalásaival összhangban van az új levegőtisztaság-védelmi szabályozás, valamint a fokozódó energiatakarékosságra irányuló kormányzati szándék. A Kyoto-i Egyezmény is szükségessé teszi az energiatakarékossági tevékenység javítását, valamint a hazai energia-felhasználáson belül a megújuló energiahordozók részarányának erőteljes növelését. (ENERGIAINFO, 2005.)

A hagyományos energiahordozók árának emelkedése miatt a megújuló energiaforrások versenyképességének esélyei javulnak. Különösen a biomassa, a kommunális hulladékok, valamint a geotermikus energia piacával lehet középtávon számolni. A nap-, a szél- és a vízenergia felhasználásának lehetőségei - az ország természeti adottságainak következtében - mérsékeltek. (VAJDA, 2001.)

A nemzetközi vállalásaink és az Európai Unió elvárások teljesítése az energetika területén az illetékes Gazdasági Minisztérium koordinálásával, a környezetvédelmi és a földművelésügyi és vidékfejlesztési tárca folyamatos és összehangolt tevékenységét teszi szükségessé. E közös cselekvésnek a következő főbb intézkedésekre kell a közel jövőben kiterjednie: a környezetvédelmi és energiatakarékossági célkitűzések elfogadtatására az ország polgáraival, az energiahatékonyság növelésének ösztönző rendszereire, a makrogazdasági eszközök alkalmazásának lehetőségeire, a hagyományos tüzelőanyagok helyettesítésének mértékére és a racionális felhasználás lehetőségeire, a fogyasztói magatartás befolyásolására és a társadalmi részvétel erősítésére.

A csatlakozási tárgyalások során Magyarország felé a 2.7. sz. táblázatban közölt elvárás alakult ki az EU részéről az összenergia-, a villamos energia- és a hajtóanyagok felhasználásán belül:

2.7. sz. táblázat: Az EU és Magyarország biomassza-energetikai vállalásai

	2003	2010
EU összes megújuló	6 %	12 %
EU zöld áram	14 %	22 %
EU zöld hajtóanyag	0,3 %	5,75 %
Mo. összes megújuló	3,5 %	7 %
Mo. zöld áram	0,8 %	3,6 %
Mo. zöld hajtóanyag	0 %	2 %

Forrás: BAI, 2006.

Napjainkban kedvező képet láthatunk. A kormány az 1107/1999. (X.8.) évi "a 2010-ig terjedő energiatakarékossági és energiahatékonyság-növelési stratégiáról" szóló határozatában többek között a következőket állapítja meg:

- a gazdaság összenergia-igényének évi 3,5%-kal kell mérséklődnie a hazai össztermék hosszabb távú, mintegy 5%-os évi növekedéséhez igazodóan,
- a részben államilag támogatott energia-megtakarítási tevékenységek révén 75 PJ/év hőértékű energiahordozó megtakarításra, illetve kiváltásra kerüljön hazai megújuló energiahordozókkal. E megtakarítások révén a kéndioxid-kibocsátás 50 Kt/év, a széndioxid-kibocsátás 5 Mt/év mértékben mérséklődjön,
- a megújuló energiahordozók jelenlegi 28 PJ/év felhasználását 2010-ig 50 PJ/évre kell növelni,

A kormány az előző stratégiához - a megvalósulást elősegítő - Cselekvési Programot hozott létre, amely többek közt az alábbi feladatokat határozza meg:

- energiatakarékossággal és a megújuló energiahordozók bővítésével kapcsolatos K+F tevékenység külföldi kutatásaiba való bekapcsolódás, a szükséges jogi eszközök megteremtése,
- energiaveszteség feltáró vizsgálatok (auditok) rendszeresítése,
- az ipari energia felhasználásának mérséklése,
- a mezőgazdasági termelés energetikai technológiáinak korszerűsítése,
- a lakossági és a közületi energia megtakarítás támogatása,
- alternatív tüzelési rendszerek alkalmazásának növelése,
- a megújuló energiaforrások hasznosításának bővítése, ezen belül a biomassza, a geotermikus hőenergia és szerves hulladék hasznosítás kiemelt támogatása,
- "20 000 napkollektoros tető 2010" program,

A támogatások kedvezményes hitel vagy lakossági fogyasztók részére egyszeri vissza nem térítendő támogatás formájában igényelhetők, a beruházási költség 20-30%-ának értékében.

A magyar energiaellátás jövőbeli lehetőségeit a világhelyzet, valamint az Európai Unió stratégiája fogja meghatározni. Ezáltal energiaszükségleteinket ellentétes hatások befolyásolják. A fejlődés (gazdasági növekedés, belső piac élénkülése, szolgáltatások fejlődése, a lakosság életszínvonalának emelkedése) többletigénnyel jár együtt. Ugyanakkor a piaci verseny, az energiatakarékosság állami ösztönzése és az energiaárak növekvő tendenciája fékezi az igények növekedését. Az előrejelzések szerint 2010-re a jelenlegi kb. 1-1,05 EJ/év primer-energiaigény 1,1-1,25 EJ/év-re fog nőni, és az import jelenlegi 2/3-ot meghaladó részaránya is tovább nő. (VAJDA, 2001., GIBER ET AL., 2005.)

Jelenleg az EU-előírások teljesítését és az ezzel kapcsolatos joganyag átvételét a következő energiapolitikai jogszabályok biztosítják hazánkban:

- A villamos energiáról szóló 2001. évi CX. törvény,
- A 2/2005. (I. 13.) és 9/2005. (I. 21.) GKM rendeletek a kötelező átvételi árakról.
- A földgázellátásról szóló 2003. évi XLII. törvény.
- A 4/2005. (I. 21.) GKM rendelet a közüzemi célra és elosztó hálózati veszteség pótlására értékesített villamos energia árszabályozásáról.
- A 2233/2004. (IX. 22.) kormányhatározat és a 354/2004.(XII. 22.) kormányrendelet a bioüzemanyagok és egyéb megújuló üzemanyagok közlekedési célú felhasználására vonatkozó nemzeti célkitűzésekről.
- A 42/2005 (III. 10) kormányrendelet a bioüzemanyagok és más megújuló üzemanyagok közlekedési célú felhasználásának egyes szabályairól.

Az Országgyűlés Mezőgazdasági Bizottsága 2005. május 17-én határozati javaslatot fogadott el "Az alternatív energiahordozók elterjesztésének hatékonyabbá tételéről" címmel, és azt a plenáris ülés elé terjesztette. Ha a plenáris ülés is elfogadja a javaslatot, akkor az alábbi, igen jelentős feladatokat előirányzó országgyűlési határozat fog életbe lépni:

1. Az Országgyűlés felkéri a Kormányt, hogy készítsen elő egy akadálymentesítő jogszabályi csomagot az alternatív energiaforrások elterjedésének gyorsítása érdekében az alábbiak szerint:
 - A villamos energia előállításához használt alternatív energetikai beruházások befektetőinek nagyobb biztonsága érdekében a kötelező áram átvételt és támogatási feltételeit törvényben kell szabályozni.
 - Az alternatív energetikai beruházásokat segítő a túlbürokratizált környezetvédelmi engedélyezési eljárást egyszerűsíteni kell.
 - A mezőgazdasági alapanyagból előállított folyékony energiahordozók térnyerése érdekében az Európai Unió ajánlásait is figyelembe véve kötelezővé kell tenni azok üzemanyagokba bekeverését, 2007-től energiatartalomra vetítve 2%-os, 2010-től legalább 4%-os mennyiségben. A szabályozásnál kiemelten kell érvényesíteni a hazai alapanyag-termelők érdekeit.
 - A biogáz termelés fokozását segítő módosítani kell a gáztörvényt, olyan módon, hogy a megfelelő minőségű biogáz meglévő gázrendszerbe történő bevitel lehetővé váljon.
 - Az FVM az Európai Unió támogatási rendszereivel összhangban alakítson ki energetikai növény, egyéb mezőgazdasági melléktermék támogatási kosarat, ahol vegye figyelembe a mezőgazdasági eredetű energiahordozók hasznosíthatóságának valamennyi formáját.
 - Az energiaültetvények területének növelése érdekében az erdőtörvény módosítását el kell végezni.
2. A Kormány 2005. november 30-ig számoljon be az Országgyűlés Mezőgazdasági Bizottságának az első pontban meghatározott feladatok teljesítéséről. (BAI, 2005.)

2.2. A mini vágásfordulóju energetikai celu faültetvényekkel kapcsolatos nemzetközi és hazai kutatások, tendenciák

2.2.1. Az energetikai faültetvényekkel kapcsolatos nemzetközi tendenciák

A megújuló energiahordozók között fontos szerepet tölt be a biomassa, ezen belül a dendromassza (fás szárú lignocellulózok). Ennek magyarázata az, hogy a fa termesztése természetbe illő folyamat, a fa, mint energiahordozó tiszta, könnyen kezelhető, fűtőértéke megközelíti a hazai barnaszénét, elégetésekor nem keletkezik többlet CO₂, minimális a kéntartalma (kb. 0,00-0,02 %, szemben a szénnel: 2,0-3,5 %), alacsony a hamutartalma, és környezetbarát tüzelőanyag. A dendromassza, mint megújuló energiahordozó bővítetten újratermelhető, helyi és decentralizált energiatermelésben is hasznosítható energiaforrás.

Széleskörű kísérletek folynak rövid vágásfordulóju energetikai celu faültetvényekkel. Ennek oka elsősorban az, hogy a világ fafelhasználásában a lágýfák iránti kereslet fokozatosan emelkedik, illetve az előzőekben említett globális regionális környezetvédelmi problémák miatt, a dendromassza-bázisú energiatermelés alapanyag igénye rohamosan emelkedik. (Hazánkban 2003. évtől a 2004. évre 50 %-kal nőtt a fa alapú energiatermelés alapanyag igénye – ideértve a lakossági, a hő- és villamosenergia-termelés nyersanyag igényét. ((MAROSVÖLGYI, 2003.))

A rövid vágásfordulóju energetikai celu faültetvények létesítésével, üzemeltetésével kapcsolatban számos példát találhatunk a világban. Európában Svédországban, Németországban, Nagy-Britanniában, Horvátországban, Szerbia és Montenegróban, Finnországban, Magyarországon találhatunk intenzív kísérletezést. Ezekben az országokban elsősorban fűz, nyár, akác, nyír és éger klónokkal végeznek vizsgálatokat. Magyarországon, ezeken kívül pusztaszillel és bálványfával is találhatunk kísérleti parcellákat. Mindemellert a mediterrán európai országokban eukaliptusz ültetvények is találhatóak. Európán kívül az USA, Ausztrália, Új-Zéland, Mexico, valamint néhány ázsiai ország kísérletezik elsősorban fás szárú energetikai ültetvények üzemeltetésével. Az előző országban eukaliptusszal, trópusi fafajokkal, valamint az USA-ban akáccal.

Az amerikai vizsgálatok eredményei szerint egy hektár akác energetikai faültetvény hozama, 10-45 ha természetes erdő hozamával egyezik meg. (JANZSÓ ET AL. 1988., CONVERSE-BETTERS, 1995.)

Az utóbbi időben egyre fontosabb szereppel rendelkezik az energiagazdálkodásban a rövid vágásfordulóju energetikai celu faültetvény. Ennek oka az, hogy jelentősen nő a kisebb-nagyobb hőenergiát termelő fűtőművek, a villamos energiát termelő erőművek, valamint a lakosság biomassa, dendromassza alapú energiahordozó igénye. A növekvő igényeket a hagyományos erdőgazdálkodásból nem lehet kielégíteni, mert a természetesen és hagyományosan kezelt erdők éves hozama csak 1,0-1,5 odt dendromassza. (Az odt angol nyelvterületen, a rövid vágásfordulóju energetikai celu faültetvények nemzetközi szakirodalmában széleskörűen elfogadott és elterjedt mértékegysége, amelynek jelentése oven dried tons, vagyis abszolút száraz tonna.)

A minirotációs energetikai celu faültetvények átlagos hozama 15-45 élő nedves t/ha/év-ig, 5-25 odt/ha/év-ig terjedhet, a termőhely, a klíma, a fafaj és a termesztés-technológia függvényében. (MAROSVÖLGYI, 1995, MAROSVÖLGYI ET AL. 1999.a)

Svédországban jelentős szerepet szánnak a fának, mint megújuló energiahordozónak az ország energiagazdálkodásán belül. A nagymértékű energetikai célú faigényeket elsősorban rövid vágásfordulójú fűz ültetvényekből kívánják elérni. Svédországban a rövid vágásfordulóval kezelt faültetvényeknél átlagosan 15 (7-20) odt/ha/év dendromasszával számolnak.

A svédek intenzíven foglalkoznak fűz-kultúrákkal, mivel a fűzet könnyebb elfogadtatni a mezőgazdákkal, ugyanis ezek 1-2 éves vágásfordulóval kezelendők, ami mezőgazdasági gazdálkodásformába könnyebben beilleszthető, mint a 3-5 éves ciklussal kezelt nyár és más lágylombosok. A fűz az északi klimatikus viszonyoknak is jobban megfelel.

A fűzültetvény telepítéséhez maximum 18-20 ezer fűzdugvány szükséges hektáronként. Lehet telepíteni 1*0,5 vagy 1,25*0,75 m hálózatban, esetleg 1,5 m sortávolsággal is. 1986-88 között Svédországban 500 ha területet telepítettek be fűz klónokkal, 1990-91-ben ebből az első 50 ha-t takarították be, azon folyamat-tanulmányokat végeztek. 1989-91 júniusáig egy újra megkezdett faenergia-programban már 3500 ha fűzkultúrát telepítettek energetikai hasznosításra. Átlagban az egyes területek 10 ha-osak, összesen mintegy 300 földtulajdonos csatlakozott aktívan 1992-ig ehhez a programhoz. A művelt területek elérték 1992 nyarán a 7000 ha-t, 1993-ban a 9000 ha-t, 1994-ig 11 000 ha fűz ültetvényt. A nagy sikerek alapján a svéd kormány úgy döntött, hogy ezt a programot tovább támogatja, és a művelt területeket megduplázza, azaz mintegy 20 ezer ha lesz. Jelenleg a svéd fűz ültetvények területe meghaladja a 20.000 ha-t. (PERTTU, 1999., TELENUS 1999., NORDH ET VERWIJST, 2003., HOFFMANN ET WEIH, 2005.)

Olaszországban a rövid vágásfordulójú faültetvények nagy része nemesnyár állományokban áll, a Pó-síkságon Lombardia tartományban több ezer hektár faültetvény létesült. Az olasz kutatások szerint a rövid vágásfordulójú energetikai célú nemesnyár klónok hozama – a 2. évtől kezdődően - 30-50 t/ha/év élő nedves dendromasszát szolgáltat. Ezen kívül kísérleteket folytatnak akác és eukaliptusz fajokkal egyaránt. (SPINELLI ET HARTSOUGH, 2001.)

Finnországban a fa energetikai hasznosítását óriási méretekben valósítják meg, hiszen itt található a világ legnagyobb biomassza bázisú energiatermelő létesítménye, 650 MW összteljesítménnyel. A svéd programokhoz hasonlóan a finn erdőgazdálkodás foglalkozik rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények kutatásával. Jelentős mennyiséget képvisel azonban a fa energetikai hasznosításán belül az erdészeti melléktermékek – elsősorban a vágástéri hulladékok – hasznosítása. A faültetvényeknél elsősorban a fűz klónok dominálnak, de emellett nemesnyár, nyír és éger, valamint kevert nyír-fűz rövid és hosszú vágásfordulójú állományokkal is folytatnak kísérleteket. (HYTÖNEN ET KAUNISTO, 1999., JOHANSSON, 1999., HYTÖNEN ET ISSAKAINEN, 2001.)

Angliában energianyeres céljára több százezer hektár szántóterületet kívánnak bevonni. A kutatások szerint különböző fűz klónokkal átlagosan 10-12 odt/ha/év hozam érhető el, de kísérleti ültetvényeken újabban létrehozott fűz klónokkal 40 t/ha/év hozamot sikerült elérni. (TUBBY ET ARMSTRONG, 2002., ROBINSON ET AL., 2004.) Emellett ARMSTRONG ET AL. 1999. kísérletei rövid vágásfordulójú nemesnyár ültetvényeken biztató eredményeket ért el. 'Beaupré', 'Trichobel', 'Boelare' klónokkal folytatott kísérleteket 1,0x1,0, 2,0x2,0 m hálózatban, amelyek alapján megállapította, hogy a kisebb növtérű, vagyis a kisebb tőtávú és sortávú faültetvények szolgáltatnak nagyobb hozamot. Kutatásaik szerint a 'Boelare' klón érte el a legnagyobb hozamot, 13,6 odt/ha/év dendromasszát szolgáltatott.

Írországban és Észak-Írországban elsősorban rövid vágásfordulójú fűz ültetvényekkel folytatnak kísérleteket. Eredményeik alapján több fűtőmű alapanyag ellátását oldották meg energetikai dendromassza állomány által szolgáltatott biomasszával. A fűz optimális vágásfordulóját 2-3 évben határozták meg, 10, 15 és 20 ezer hektáronkénti telepítési tőszám esetén. (MCCRACKEN ET AL. 2001.)

Ausztriában már az 1980-as évek eleje óta folytatnak kísérleteket gyorsan növő fafajokkal, rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények létesítésével és üzemeltetésével, valamint hasznosításával kapcsolatban. A vágásfordulók fűz esetében 1-2 év, nemes nyaragnál 4-6 év, égernél 6-10 év.

Dániában a rövid vágásfordulójú faültetvények elsősorban fűz ültetvényeket jelentenek. A kutatások különböző fűz klónok, többféle vágásfordulóban és hálózatban létrehozott ültetvényein zajlanak. Mindemellett több ezer hektár fűz ültetvény létesítését tűzték ki célul. Azonban kísérleteket végeznek nyár és éger fafajokkal egyaránt. (JÖRGENSEN ET AL. 2005.)

Horvátországban kísérleteket folytatnak rövid vágásfordulójú fűz, nyár, éger és nyír energetikai célú faültetvényekkel. KAJBA ET BOGDAN eredményei szerint fűz klónokkal lehet a legnagyobb hozamokat elérni, 1-2 éves vágásfordulóval és 20 000 tő/ha telepítési tőszámmal. (KAJBA ET BOGDAN, 2003.)

Szerbia és Montenegróban hasonlóan, mint hazánkban fűz, nyár és akác fafajokkal is végeznek kísérletek energetikai célú faültetvényekben. Kutatásaik alapján, a rövid vágásfordulójú nemesnyár faültetvények esetén, a drasztikusan megnövelt hektáronkénti tőszám esetében a biomassza produkció lecsökken, viszont nagy hozamok érhetők el 30-40 ezer hektáronkénti tőszám esetén. A legjobb nemesnyár klónok 1 éves biomassza produkciója 38 ezer telepítési tőszám esetében 23, 9 odt/ha volt. (ORLOVIC ET KLASNJA, 2004.)

Hollandiában és Belgiumban nemesnyár és fűz faültetvényekkel folytatnak kísérleteket. Elsősorban energiatermelés céljára telepítenek rövid vágásfordulójú dendromassza ültetvényeket, amelyeket kis és közepes teljesítményű, fa bázisú hő- vagy villamosenergiatermelő egységekbe szállítanak. A fűz ültetvények 7-16 odt/ha/év dendromaszát szolgáltatnak, emellett a nemesnyár állományoknak valamivel alacsonyabb az éves biomassza produkciója. (LAUREYSENS ET AL. 2003., KAUTER ET AL. 2003., LAUREYSENS ET AL. 2005.)

Megállapítható, hogy az egyes rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvényeket sok fokozatban vizsgálták/vizsgálják. A hektáronkénti tőszám esetében ez kb. 190.000-3.000 db/tő közötti intervallumot jelent, valamint a növőterben kb. 0,05-3,00 m²-ig terjed.

A rövid vágásfordulójú energetikai vagy egyéb célú dendromassza ültetvények átlagos hozama eltérő az egyes országokban. Ezért szükséges az egyes energetikai célú rövid vágásforduló faültetvények hozamának összehasonlítása. (2.8. sz. táblázat) A 2.1. sz. melléklet 1-7. sz. diagramjai segítségével megállapítható, hogy Magyarország előkelő helyet foglal el a mini vágásfordulójú energetikai célú faültetvények kutatás fejlesztésében, hiszen a vizsgált nemzetségek közül az Alnus, a Salix, a Populus, az Ailanthus, a Robinia nemzetségekhez tartozó fafajtákkal folytattak/folytatnak kísérleteket. A minirotaációs

faültetvények hozama megfelelőnek nevezhető, ha eléri az évenkénti 8-10 abszolút száraz t/ha értéket.

2.8. sz. táblázat: A minirotaációs energetikai faültetvények hozamának nemzetközi összehasonlítása:

	Ország	Nemzet-ség	Hozam (odt/ha/év)	Hozam minimum (odt/ha/év)	Hozam maximum (odt/ha/év)	Eltérés (-)	Eltérés (+)	Szórás
1	Anglia	Populus	8,5	6,1	13,6	2,4	5,1	3,8
		Salix	10,5	5,0	18,0	5,5	7,5	6,5
2	Ausztria	Alnus	3,6	3,0	4,7	0,6	1,1	0,9
		Populus	5,8	2,5	8,1	3,3	2,3	2,8
3	Belgium	Populus	6,0	2,0	11,0	4,0	5,0	4,5
		Salix	12,0	8,1	15,2	3,9	3,2	3,6
4	Dánia	Salix	7,0	5,3	9,8	1,7	2,8	2,3
5	Csehország	Populus	1,9	1,3	2,3	0,6	0,4	0,5
6	Egyesült Királyság	Alnus	2,1	1,6	2,7	0,5	0,6	0,6
		Populus	9,0	6,6	10,4	2,4	1,4	1,9
		Salix	8,1	6,5	8,9	1,6	0,8	1,2
7	Észak-Írország	Salix	12,0	-	-	-	-	
8	Észtország	Alnus	9,6	6,7	14,8	2,9	5,2	4,1
9	Franciaország	Eucalyptus	7,6	6,2	9,6	1,4	2,0	1,7
		Populus	8,2	6,5	10,2	1,7	2,0	1,9
10	Finnország	Alnus	3,1	2,6	3,4	0,5	0,3	0,4
		Betula	5,1	4,5	5,9	0,6	0,8	0,7
		Salix	9,1	4,0	13,0	5,1	3,9	4,5
11	Írország	Populus	13,7	12,0	15,0	1,7	1,3	1,5
		Salix	8,7	3,0	15,0	5,7	6,3	6,0
12	Hollandia	Populus	7,0	6,0	10,0	1,0	3,0	2,1
		Salix	10,5	8,0	12,0	2,5	1,5	2,0
13	Horvátország	Alnus	3,9	2,5	7,6	1,4	3,7	2,6
		Betula	3,3	2,1	4,5	1,2	1,2	1,2
		Populus	5,5	1,7	8,9	3,8	3,4	3,6
		Salix	12,9	3,2	26,1	9,7	13,2	11,5
14	Kanada	Populus	9,0	5,0	16,0	4,0	7,0	5,6
		Salix	20,0	8,3	23,7	11,7	3,7	8,0
15	Kína	Populus	12,8	8,3	17,2	4,5	4,4	4,5
16	Lengyelország	Populus	5,1	3,1	6,2	2,0	1,1	1,6
17	Magyarország	Ailanthus	11,0	8,6	12,5	2,4	1,5	2,0
		Alnus	7,6	5,8	8,2	1,8	0,6	1,2
		Populus	15,4	7,0	22,0	8,4	6,6	7,5
		Robinia	7,4	3,7	13,2	3,7	5,8	4,8
		Salix	13,2	10,3	24,3	2,9	11,1	7,4
18	Németország	Populus	14,2	4,6	18,7	9,6	4,5	7,2
		Salix	9,6	6,0	14,0	3,6	4,4	4,0
19	Olaszország	Populus	20,3	16,0	24,0	4,3	3,7	4,0
		Robinia	7,1	3,4	11,2	3,7	4,1	3,9
20	Skócia	Salix	9,3	8,1	13,5	1,2	4,2	2,8
21	Svédország	Populus	9,6	8,0	12,0	1,6	2,4	2,0
		Salix	10,2	6,7	20,0	3,5	9,8	6,9

22	Szerbia és Montenegro	Populus	23,3	6,9	28,7	16,4	5,4	11,4
23	USA	Ailanthus	5,6	5,1	8,6	0,5	3,0	1,9
		Platanus	6,4	4,0	10,7	2,4	4,3	3,4
		Populus	11,3	4,5	22,0	6,8	10,7	8,8
		Robinia	8,4	5,6	13,8	2,8	5,4	4,2
		Salix	13,5	6,6	24,5	6,9	11,0	9,0
24	Új-Zéland	Eucalyptus	10,6	7,3	14,2	3,3	3,6	3,5

Forrás: HYTÖNEN ET KAUNISTO, 1999., JOHANSSON, 1999., HYTÖNEN ET ISSAKAINEN, 2001., LAUREYSENS ET AL. 2003., KAUTER ET AL. 2003., LAUREYSENS ET AL. 2005., ORLOVIC ET KLASNJA, 2004., KAJBA ET BOGDAN, 2003., MCCRACKEN ET AL. 2001.

A különböző mini és rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények hozamának megállapítására az egyes országokban a következő kutatók végeztek vizsgálatokat, valamint a különböző fafajok teljesfa tömegének, térfogatának, hektáronkénti hozamának és a faállomány fatérfogatának becslésére. (2.9. sz. táblázat)

2.9. sz. táblázat: A mini és rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények teljesfa tömegének és a hozamának meghatározására irányuló kutatások és eljárások:

Név (ország)	Év	Fafaj/ Fafajta	A teljesfa tömegének meghatározására szolgáló képlet	Az állomány hozamának meghatározására szolgáló képlet
KOPECZKY RICHÁRD in VEPERDI, 2005. (Magyarország)	1891	Különböző állományok	Fatömeg-görbés eljárás: $M=a \cdot D_{1,3}^2 - b \cdot D_{1,3} - c$ $D_{1,3}$ -mellmagassági átmérő (cm), a,b,c-konstansok. Fatömeg-egyenes: $M=a \cdot G_{1,3} - b$ $G_{1,3}$ -mellmagassági körlap (cm ²), a,b-konstansok.	A vastagsági fokoknak megfelelő átlagos köbtartalom meghatározása után, a törzsszámmal való szorzással a faállomány térfogata meghatározható.
SZENDRÓDI L. (Magyarország)	1993	Nyár	ÉNT (kg) = e^{z+cd} ÉNT-élő nedves tömeg (kg), d-mellmagassági vagy tőátmérő (cm), z,c-konstansok.	ÉNT (ASZT) = e^{z+cS} ÉNT-élő nedves hozam vagy abszolút száraz (t/ha), S-átlagos növőtér (m ²), z,c-konstansok.
HYTÖNEN; HYTÖNEN ET KAUNISTO (Finnország)	1995; 1999	Fűz	$DM=a \cdot D^b$, DM-a fa száraz tömege, d-adott magasságon mért átmérő, a,b-konstansok.	-
HYTÖNEN; HYTÖNEN ET KAUNISTO (Finnország)	1995; 1999	Nyír	$DM=a+bd^2+cd^3$, DM-a fa teljes tömege, d-adott magasságon mért átmérő, a,b,c-konstansok.	-
TELENIUS (Finnország)	1999	Fűz, nyár, nyír, éger	$W = a+bD^c$, W-a teljes fa száraz tömege, D-adott magasságon mért átmérő (50, 130 cm), a, b, c- konstansok.	-
TAHVA-NAIENEN ET RYTKÖNEN (Finnország)	1999	Salix viminalis	$Y=a \cdot d_{1,1}^b$, Y-a fa száraz tömege, $d_{1,1}$ -110 cm-en mért átmérő, a,b-konstansok.	-

ARMSTRONG ET AL. (Anglia)	1999	Nyár	$y = a \cdot x^b$, y-teljes fa tömege, x-adott magasságon mért átmérő, a,b-konstansok.	Hozam (odt/ha/year) = = $PT \cdot HT / (PTSZ \cdot VT \cdot 0,01)$ PT-adott parcella fatömege, HT-hektáronkénti tőszám, PTSZ-parcellánkénti tőszám, VT-visszavágás óta eltelt idő.
KOPP ET AL. (USA)	2001	Fűz	$Y = A / (1 + B e^{-nx})$, Y-hozam (odt/ha/év), A-maximális várható hozam (odt/ha/év), B-konstans, n-valódi növekedési ráta, x-ültetvény kora (év).	
BALLARD ET AL. in HELLER ET AL. (USA)	2003	Fűz	$Yield = I + A / (1 - e^{-vt})$, Yield = hozam (odt/év), A = 6.836 odt/év, I = 5,876 odt/év, v = -0,00916, f-műtrágyázási ráta (0,100,200,300 kgN/ha).	-
NORDH ET VERWIJST (Svédország)	2004	Fűz	$W = b \cdot D_{55}^c$, W-a fa száraz tömege, D- 55 cm-en mért átmérő, b,c-konstansok.	$B = W_{\text{átlag}} \cdot S \cdot T$, B- hektáronkénti hozam, $W_{\text{átlag}}$ -minta parcellák átlaga, S- maradék tövek száma hektáronként (%), T- telepített tövek száma,
PELLIS ET AL. (Belgium)	2004	Nyár	$Y = a \cdot X^b$, Y-a fa száraz tömege, X-adott magasságon mért átmérő, a,b-konstansok.	A mintaparcellánkénti átlagos fatömeg és a megeredési adatokkal határozták meg a hektáronkénti éves hozamot.

Forrás: A hivatkozott szakirodalom, a Név és az Év c. oszlopok szerint.

A nemzetközi és a hazai szakirodalomból egyértelműen kiderül, hogy a rövid vágásfordulójú energetikai vagy egyéb célú faültetvények (fűz, nemesnyár, nyír, éger, stb.) esetén, ahol a mellmagassági átmérő kisebb, mint 5 cm, ott a mellmagassági vagy egyéb átmérő függvényében megbecsülhető a teljesfa tömege (kg/tő), amelyből mintaparcellánkénti felvételezéssel és megeredés vizsgálatokkal, valamint megfelelő regresszió analízissel ($R^2=0,80-0,90-0,95$) és statisztikai próbákkal egyértelműen meghatározható az adott állomány éves hozama. (MAROSVÖLGYI ET AL. 2005., VEPERDI, 2005., SOPP, 1970., SOPP ET KOLOZS, 2000., valamint a 2.2.1.2. sz. táblázat hivatkozásai.) Ebből is látszik, hogy az erdészeti gyakorlatban alkalmazott összefüggések nem alkalmasak a mini vágásfordulójú energetikai célú faültetvények hozamának megállapítására, mert ezek a fatömeg számítási táblázatok fatérfogatot határoznak meg, ugyanakkor ezekben az adott fafajhoz tartozó táblázatokban a mellmagassági átmérőnek 5 cm-nél nagyobbak kell lennie. A fiatalok hajtások ezen függvényektől eltérő növekedést mutatnak, ezért szükséges vizsgálni a minirotaációs energetikai faültetvények állomány tulajdonságait és hozamát.

2.2.1.1. A mini vágásfordulójú energetikai faültetvény létesítésével, üzemeltetésével és hasznosításával kapcsolatos nemzetközi szakirodalom áttekintése, fontosabb megállapítások

A fejlett országok számára az utóbbi évtizedekben nyilvánvalóvá vált, hogy a gazdasági politikai stabilitásuk nagymértékben függ a fosszilis energiahordozó-importtól. Ezért már az 1970-es évek első felében, az első olajválságot követően megalakult az IEA (International Energy Agency, Nemzetközi Energia Ügynökség), amely a fenntartható

energiagazdálkodással foglalkozott, foglalkozik. (BARÓTFI, 1987.a, BARÓTFI, 1987.b, KOVÁCS-MAROSVÖLGYI, 1990.)

Az 1980-as és az 1990-es években, valamint a XXI. század elején a FAO, illetve az IEA is létrehozta az energetikai célú biomassza termelés témában a nemzetközi kutatási programjait, (Pl.: FAO Európai Mezőgazdasági Energia Együttműködési Hálózata (CNRE) „Biomassza termelés energia célra” című programja, IEA Bioenergy különböző rövid vágásfordulójú faültetvény kutatásai, IEA Task 30 Short Rotation Crops for Bioenergy System) amelyekhez a világ meghatározó energetikai célú biomassza kutatói csatlakoztak. Nagyfokú energetikai célú biomassza és dendromassza termesztési és hasznosítási kutatások folytak/folynak. Svédországból T. Verwijst és B. Telenius, az USA-ból L. Wright és R. Costello, Dániából U. Jorgensen és K. Mandrup, Horvátországból D. Kajba és B. Jelavics, Kanadából A. Gordon és P. Hall, Új-Zélandról I. Nicolas és J. Gifford, Ausztráliából D. McGuire és S. Schuck, Brazíliából L. Couto és M. Poppe és Angliából J. Seed és G. Shanahan, valamint számos egyéb kutatók vettek/vesznek részt a Nemzetközi Energia Ügynökség által létrehozott Rövid Vágásfordulójú Ültetvények a Bioenergia Rendszerek Ellátására című program(ok)ban. (BARÓTFI, 1988., VERWIJST, 2003., IEA, TASK 30. SRC FOR BS, 2002. in IEA, 2005.)

A 2005/2006-os év telén – a kialakult ún. mini gázválságban – az Európai Unió számára még hangsúlyosabbá vált, hogy diverzifikálni szükséges az energiaellátást, illetve előtérbe kell helyezni a fosszilis energiahordozókkal szemben a megújuló energiaforrások hasznosítását. Ennek eredményeképpen az Európai Unió Bizottsága már előzőleg kialakította a Biomassza Akciótervét (COM(2005) 628 final, Brussels, 07.12.2005.), amelyben a rövid vágásfordulójú energetikai faültetvényekkel kapcsolatos kutatások nagy prioritást élveznek, a bioenergia termelés hangsúlyozása érdekében.

A minirotaációs energetikai faültetvények kutatás-fejlesztésével foglalkozó kutatók különböző kutatásait a 2.2. sz. mellékletben mutatja be a disszertáció.

A kutatók a mini vágásfordulójú dendromassza ültetvények energetikai hasznosításával kapcsolatos előnyöket a következőkben foglalják össze:

- A biomassza ezen belül a rövid vágásfordulójú faültetvények a napenergia hasznosításának legegyszerűbb, egyben teljes mértékben a természetes folyamatokba illeszthető megoldása,
- Az energetikai célú rövid vágásfordulójú faültetvény, mint energiahordozó, megújuló valamint bővítetten megújítható. Előállítása során az élőhely értéke javul,
- Hasznosításával fosszilis energiahordozókat lehet kiváltani, amellyel az országok importfüggősége csökkenthető,
- A dendromassza energetikai hasznosítása során – a lignocellulózok anyagi összetételéből adódóan – a káros anyag emissziók jelentősen csökkennek, a fosszilis energiahordozók felhasználásához képest,
- A rövid vágásfordulójú faültetvények energetikai hasznosítása lehetőséget biztosít a decentralizált energiatermelés megvalósítására, amely a fentebb említett Európai Unió Biomassza Akciótervének egy kulcsfontosságú momentuma.

A kutatók abban is egyetértenek, hogy a társadalom, gazdaság, az ipar növekedése egyre több faanyagot igényel. Az energetikai fejlesztések hatására a növekvő alapanyagigényt a természetszerű erdők nem tudják kielégíteni, ezért a rövid vágásfordulójú faültetvények termesztése, szinte az egyetlen megoldás a természetes és természetszerű erdők

tehermentesítésére. A szükségletek túl gyors ütemben növekednek ahhoz, hogy a természetes erdők azokat el tudják látni. Az ipar, az energetika egységes minőségű, nagy mennyiségű faanyagot igényel. Az energetikai és egyéb szükségletek kielégítésének feltétele, hogy a faanyag önköltségi ára minél jobban csökkenjen, amely csak a rövid vágásfordulójú faültetvényekkel lehetséges.

A kutatók döntő többsége egyetért azzal is, hogy a dendromassza hasznosítása, mint biológiai eredetű energiahordozó, közvetlen és közvetett gazdasági hatásokat eredményez. Az egységnyi energia-előállítás költségeinek csökkenése közvetlen gazdasági hatás. Közvetett gazdasági hatás viszont a rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények természetével összefüggő globális, valamint egészségügyi és környezetvédelmi problémák hatásának csökkentése.

A rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények, mint biológiai energiaforrások hasznosítása és hasznosításának terjedése csak részben műszaki, biológiai kérdés. A műszaki, biológiai eredmények csak megfelelő gazdasági, politikai rendszerben hasznosulhatnak.

2.2.2. A minirotaációs energetikai faültetvényekkel kapcsolatos hazai tendenciák

Magyarországon a biomassza-bázisú, illetve ezen belül a dendromassza-bázisú energiatermelés lehetőségeit és korlátait napjainkban a nemzetközi kötelezettségeinkből levezethető feladatok, az áramtermelés hazai technikai-technológiai háttere, valamint a hazai nyersanyagbázis és annak hasznosítási-bővítési lehetőségei határozzák meg. A dendromassza-bázisú áramtermelés újbóli megjelenése három tényezőre vezethető vissza: a keletkező hulladékok hasznosítása energiatermeléssel, a fosszilis energiahordozó kiváltása és ezzel a környezet védelme, tovább a CO₂ emisszió csökkentésére vonatkozó nemzetközi megállapodások, és az ezek alkalmazását gazdasági alapokon támogató CO₂-kereskedelmi egyezmények. (MAROSVÖLGYI ET AL. 2005.)

Magyarországon a biomassza-bázisú áramtermelésnek az elmúlt évtizedekben nem volt érdemi szerepe. 2001-ben az áramtermelésben a megújuló energiahordozóknak összességében sem jutott fontos szerep, amit az is bizonyít, hogy abban az évben az összes megújuló energiahordozó részaránya az áramtermelésben alig érte el a 0,5 %-ot.

A megújuló energiaforrások mintegy 3,5-3,6 százalékkal részesedtek az ország összes energiafelhasználásából 2004-ben. Ennek az energiának

87,0 %-a	tűzifából és egyéb szilárd biomasszából,
10,0 %-a	geotermiából,
3,2 %-a	megújulóbból termelt villamos energiából,
0,5 %-a	biogázból és kommunális hulladék égetéséből,
0,2 %-a	napenergiából,
1,1 %-a	egyéb forrásból származott. (BOHOCZKY, 2005.)

Tehát megállapíthatjuk, hogy az elmúlt 3-4 évben a megújuló energiaforrások szerepének nemzetközi felértékelődése és a CO₂-kereskedelmi lehetőségek, a dendromassza hő- és áramtermelésben betöltött szerepét is befolyásolják.

A megújuló energiahordozó áramtermelés elsősorban dendromassza-bázisú villamos-energiatermelésként valósult meg, amely alapanyagigényét a hagyományos erdőgazdálkodásból nem lehet tovább bővíteni. Ezért szükséges elemezni a dendromassza-bázisú alapanyag rendelkezésre állását és bővítésének lehetőségeit. A fanyersanyag a

hagyományos erdőgazdálkodásból, újabb erdőtelepítésekéből, illetve a rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvényekből származhat. A hagyományos erdőgazdálkodásból jelenleg Magyarországon 2,3 millió m³ tűzifa származik, energiataralma kb. 20 PJ. Az erdőgazdálkodás melléktermékeinek becsülhetően 30%-a hasznosul energiahordozóként, ami további kb. 4 PJ-t képvisel, tehát az erdőgazdálkodás jelenlegi energia kibocsátása 27,3 PJ/év, ami az ország éves energiaigényének mintegy 2%-a. A hagyományos erdőkben a fakitermelés 2010-re várhatóan 7 millió m³ lesz. Az előbbi arányokat alapul véve a kitermelésre kerülő faanyagból kb. 32 PJ/év energiabázis áll rendelkezésre. A tervezett erdőtelepítés hagyományos és védelmi célokat szolgáló erdőket eredményez, tehát hosszabb távon a mintegy 600 ezer ha új erdőterületről, a jelenlegi hasznosítási arányokat feltételezve (3,3 bruttó m³/ha/év), 10 PJ/év többlet energiaforrás tervezhető. Ez a nyersanyagbázis 20-25 év alatt teremthető meg, és 40-60 év múlva válik hozzáférhetővé. (MAROSVÖLGYI ET AL 2002., MAROSVÖLGYI ET IVELICS, 2005.)

A faültetvények mezőgazdasági hasznosításból kivont területeken létesülnek, és fatermesztés mellett racionális földhasznosítást is szolgálnak. A technológia átmenetet képez az erdőgazdálkodás és a mezőgazdálkodás között, ezért megnevezésére külföldön „agroerdészet” elnevezést is használják, illetve az agroerdészet egy részét tekintik rövid vágásfordulójú faültetvénynek. A faültetvények jó termőképességű területeken létesülnek, a szántóföldi gazdálkodás terepviszonyai mellett. Tehát olyan területen, amelyen mezőgazdasági tevékenység folyt (vagy folyhatna), de a mezőgazdasági termék iránti kereslet hiányzik (túltermelés), vagy a termelésbiztonság kicsi (időszakonként belvív- vagy árvízkárok, stb.), ezért a terület a szántóföldi hasznosításból kikerült, és rajta gazdaságos rövid vágásfordulójú energetikai célú ültetvényes dendromassza-termelés folyhat.

Magyarországon energetikai faültetvényekkel azokban a térségekben számolhatunk, ahol a biztos felhasználó piac is megjelenik. A rövid vágásfordulóval kezelt, sarjazzatott üzemű ültetvények jól kapcsolhatók az energiatermelők (fűtőmű, fűtőerőmű, erőmű) beruházásához, hiszen a létesítmény tervezésével egyidőben indított telepítéssel elérhető, hogy az energiatermelő üzem alapanyag szükségletét ellássa.

Kívánatos lenne, hogy Magyarországon a megújuló energiahordozók felhasználásának aránya az EU-ban tervezett tendenciáknak megfelelően változzon. Ez a hazai energiaigény-növekedést is feltételezve (1000 PJ/év) 120 PJ/év nem fosszilis eredetű energiafelhasználást jelentene, és a növekménynek legalább felét fabázison lenne célszerű előállítani.

A növekmény 87,3 PJ, melynek legalább felét (43,65 PJ/év) fabázison (a faipar saját energia-ellátási célra felhasznált hulladékait is figyelembe véve) kellene előállítani.

A fafeldolgozó iparból (elsődleges és tovább-feldolgozó ipar) szabad hulladékkal alig számolhatunk, ezért elsősorban a bővülő erdőterület és az energetikai faültetvények jelenthetik a többletforrást. (MAROSVÖLGYI ET AL. 1999.b, MAROSVÖLGYI ET AL., 2005.)

A betakarított biomassa, dendromassza gazdaságos energetikai hasznosításának több feltétele van.

Legfontosabb az, hogy a biomassa termesztésének és hasznosításának feltételei egyidejűleg meglegyenek. MAROSVÖLGYI, 2003. szerint

- egyértelműen gazdaságos az energetikai ültetvény létesítése és üzemeltetése, ha azt a földtulajdonos saját tulajdonán létesíti, és a hasznosítás lehetőségével is rendelkezik (farm-jellegű gazdálkodás, önkormányzat, stb.),

- gazdasági szempontból biztonságos az az energetikai ültetvény is, amelynek termékére hosszú távú termeltetői szerződést kötöttek,
- kockázatokkal kell számolni az olyan energetikai ültetvények gazdaságosságát illetően, ahol azt bérelt területen létesítik, ahol a saját felhasználási lehetőség hiányzik, ahol a termesztett biomassa értékesítésének hosszú távú garanciáit szerződésekkel nem sikerült megteremteni.

A gazdasági szempontok mellett figyelembe kell venni azt is, hogy az önkormányzatok a faültetvényeket a lokális energiaellátásban hasznosíthatják, és ezzel egyben környezetvédelmi problémákat is megoldhatnak (meddőhányók, zagyterek, stb. rekultivációjával, a szálló por mennyiségének csökkentésével, parlagterületek hasznosításával, stb.). Egyben eredmény érhető el a földhasznosításban, a foglalkoztatáspolitikában, a település lakosságmegtartó-képességének növelésében. (MAROSVÖLGYI ET AL., 2005.)

Az energetikai célú biomassa programok erdészeti alprogramjaiban vagy energetikai növénytermesztési alprogramjaiban az energetikai faültetvényvel kapcsolatos projektek a legtöbb országban megtalálhatók. Ezek nemcsak a melléktermékek és hulladékok hasznosítására irányuló törekvésekre korlátozódtak, hanem az országok klimatikus adottságainak megfelelő szelektált tulajdonságú célnövényekkel telepített energiaültetvények létesítésére is. (Magyarországon ide sorolható a készülő Agroenergetikai Program, illetve a készülő Megújuló Energiahordozó Program.)

Az energetikai faültetvényekkel a gyors növekedésű fafajok kezdeti növekedési erélyét igyekeztek még jobban kihasználni. A hálózatot és a vágásfordulót igyekeztek egyre inkább leszorítani.

A nagyon rövid vágásfordulójú faültetvényeket minirotaációs faültetvényeknek is nevezik. (GAMBLES ET ZSUFFA, 1984. in SZENDRŐDI 1987.)

A vágásforduló hossza szerint beszélhetünk

- rövid (termesztési időtartam 5 év alatt),
- közepes (termesztési időtartam 5-10 vagy 5-15 év),
- hosszú (termesztési időtartam 10-20 vagy 15-30 év)

vágásfordulójú faültetvényről (német szakirodalom alapján).

Létezik egy másik csoportosítás miszerint a termesztési időtartam alapján lehetnek

- mini (1-4 év),
- midi (5-10 év),
- rövid (11-15 év),
- közepes (16-19 év),
- hosszú (20-25 év)

vágásfordulójú faültetvények. Ez a kanadai szakirodalom által említett felosztás. (ZSUFFA, 1995.)

MAROSVÖLGYI szerint a vágásfordulót, illetve a rotációs időtartamot alapvetően a fafaj, a fajta, a termőhely, a termesztési cél, illetve a kitermelendő fa mérete határozza meg. (MAROSVÖLGYI, 2003.b)

MAROSVÖLGYI szerint a vágásforduló, a rotációs idő, illetve a termesztés időtartama szerint a faültetvény lehet:

- mini vágásfordulójú (1-3 év),

- midi vágásfordulójú (4-8 év),
- rövid vágásfordulójú (8-13 év). (MAROSVÖLGYI ET AL.2003.c, MAROSVÖLGYI ET AL., 2005.)

E besorolás alapján az energetikai faültetvényekben a mini és a midi vágásfordulót alkalmazzák. Az ennél hosszabb termesztési időtartamúak az energiaerdőhöz vagy más néven újratelepítéses faültetvényekhez tartoznak. A mini vágásfordulót abban az esetben alkalmazzák, ha a kitermelést és az aprítást e célra készített kombájnnal végzik, és eleve számítanak arra, hogy ez bizonyos növedékvesztéssel jár. Tehát az előzőekben elemzett szakirodalom alapján megállapítható, hogy a fásszárú, energetikai ültetvények esetén a következő csoportosítás alkalmazható:

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

Ezt a felosztást tartom alkalmazhatónak, ezt alkalmaztam és alkalmazom az energetikai célú faültetvények kutatása során.

A vágásforduló idejét a föld feletti dendromassza felhasználásának módja határozza meg. Energiacélú felhasználásra 1-10 (12) év, cellulóz és papírgyártásra 6-15 év, farostlemezgyártásra szintén 6-15 év felel meg. (MAROSVÖLGYI ET AL. 2005.)

A nemzetközi kutatások megállapították, hogy szinte minden fafajnál, illetve klónnál a legnagyobb hektáronkénti fatömeget a legszűkebb növényterű állományokban találták. (SZENDRŐDI, 1987.)

2.2.2.1. A minirotaációs energetikai faültetvényekkel kapcsolatos korábbi hazai kísérletek áttekintése

A rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények fatermesztési kérdéseivel kapcsolatos kutatások a 1970-es évek végén, illetve az 1980-as évek elején kezdődtek hazánkban. Tágabb értelemben azonban ide sorolhatók azok a kísérletek, kutatások, amelyek gyors növekedésű fajták termesztésével, a vágásforduló rövidítésével, sarjzattal, a hektáronkénti tőszám növelésével próbálták a hozamokat növelni (SZENDRŐDI, 1993.)

Magyarországon számos erdész kutató már az 1960-as évektől foglalkozott a fatérfogat és a hektáronkénti tőszám összefüggéseivel szűk hálózattal intenzív nemesnyár ültetvényekben és természetes állományokban (SZODFRIDT, 1962.; PALOTÁS, 1962.; TÓTH, 1962.; TIHANYI, 1962. in SZENDRŐDI, 1993.). Vizsgálták a rövid vágásforduló és a sarjzattal előnyeit és hátrányait, sőt az ilyen jellegű fatermesztés gazdaságosságát is. (KÁLLAY, 1962. in SZENDRŐDI, 1987., SZODFRIDT, 2001.)

SZODFRIDT kutatásai szerint 11 éves korban az 1,1x1,1 m és az 1,4x1,4 m hálózattal állomány adta a legnagyobb hektáronkénti fatömeget kései nyár esetében. Megállapította, hogy a fák növényterének növelése egészen 4x4 m hálózattal jelentősen csökkentette a hektáronkénti összes fatermesztést. A 4x4 m hálózat felett a fatömeg csökkenés mértéke mérséklődött. (SZENDRŐDI, 1987.)

A további kutatások is csak arra irányultak, hogy a fatömeg növelésének lehetséges formáit keresték. Nem energetikai szempontból, hanem a vékonyabb választék termelésének növelése szempontjából vizsgálták az ültetvényeket. Megállapították azonban a sűrű hálózatú, rövid vágásfordulójú állományokban rejlő óriási lehetőségeket. Ennek ellenére a rövid vágásfordulójú nyárfatermesztés csak a tág hálózatú ültetvények irányába fejlődött.

GÁL ET KERESZTESI in SZENDRŐDI, 1993. említést tesznek a rövid vágásforduló és a sarjzartatás eredményes külföldi gyakorlatáról (GÁL ET KERESZTESI, 1980. in SZENDRŐDI, 1993.). Fontosnak tartották a nagyon rövid vágásfordulójú, sűrű hálózatú ültetvényekkel, energiaerdőkkel, energetika faültetvényekkel kapcsolatos hazai kutatások beindítását is (MÁTYÁS, 1981. in SZENDRŐDI, 1993.). A gyenge termőhelyen lévő állományok hozamfokozási kérdéseivel, a tömegfa termesztés lehetőségeivel csak nagyon kevesen foglalkoztak hazánkban (SZENDRŐDI, 1980.; CSÉSZNÁK, 1981. in SZENDRŐDI, 1993.).

Az erdei biomassza komplex hasznosításának kérdéseiben nemzetközi irányzatoknak megfelelően nálunk is főleg az energetikai hasznosítással foglalkozó publikációk domináltak.

A dendromassza teljes körű hasznosítása szempontjából alapvető fontosságú volt, hogy jelentős, előrehaladás történt az apríték termelés, az aprítás géprendszerének, valamint a dendromassza egyéb hasznosítás fejlesztése terén (MAROSVÖLGYI, 1985., MAROSVÖLGYI, 1987., MAROSVÖLGYI, 1988., MAROSVÖLGYI, 1989., MAROSVÖLGYI, 1993., KOVÁCS ET MAROSVÖLGYI, 1990., MAROSVÖLGYI ET AL. 2003.a, MAROSVÖLGYI ET IVELICS, 2004.a).

A mini és rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvény állományokkal kapcsolatos kísérletek hazánkban mintegy 20 éve kezdődtek. A hazánkban folyó, a témához kapcsolódó faenergetikai kísérletek két alapvető technológián alapultak.

Az egyik a hagyományos módon kezelt, jól sarjadzó állományok ilyen célú hasznosítását jelenti, amikor véghasználat után megfelelő gyökérszaggatással nagy egyedszámú sarjállományt nyerünk, melynek dendromassza hozama az első 4-5 évben igen nagy. Ez a módszer kis létesítési költségigényű, de a már meglévő erdőterületekhez kötött. A hazai erdők közül a legegyszerűbben átalakítható erre a célra és minden szempontból legalkalmasabb fafaj az akác. Az akácon kívül felhasználható erre a célra a hazai és egyéb nyaral, a füzek, az éger és a bálványfa. (MAROSVÖLGYI ET IVELICS, 2004.b)

A másik alaptermotechnológia a speciális energetikai faültetvények telepítése. Ezen módszer nagy előnye, hogy tetszőleges helyen, tehát a hasznosítás helyéhez közel is telepíthetőek, többszöri letermeléssel hasznosíthatóak. A kísérletek tapasztalatai szerint a legnagyobb mennyiségű dendromasszát a legrövidebb idő alatt, az e célra legalkalmasabb fajokkal létesített faültetvényekben lehet megtermelni. Az ültetvények hátránya azonban az, hogy az előző technológiával szemben az első kivétel viszonylag nagy költséget emészt fel. A legalkalmasabb fafajok a termőhelytől függően az akác, a nemesnyár és fűz fajták, a pusztaszil, a bálványfa és esetleg cserje alkatú gyalogakác (kinincs). (MAROSVÖLGYI ET IVELICS, 2004.b)

A következőkben szeretném megemlíteni azoknak a hazai kísérleteknek az eredményeit, amelyek a rövid vágásfordulójú faültetvények termesztésével foglalkoztak Magyarországon.

Hanságligeti kísérletek

A rövid vágásfordulójú nemesnyár aprítéktermelő faültetvények vizsgálatára - hazánkban elsőként - a mosonmagyaróvári Lajta-Hansági Állami Tangazdaság területén és

kivitelezésében, az Erdészeti és Faipari Egyetem Erdőtelepítéstani Tanszékén gondozott kutatási program keretében 1981-ben végeztek kísérleteket. (SZENDRŐDI, 1993.). A vizsgálatok lefolytatására 1981. márciusában 3 tényező, 2 valódi ismétléses kísérleti ültetvényt létesítettek 1,5 hektár nettó területen. A kísérleti faültetvény talaja mezőgazdasági művelésből kivont réti talaj, régebbi láposodási folyamatok nyomaival. A terület az erdészeti termőhely-értékelés szerint erdőssztyepp klímájú. A talaj többletvízhatástól független, félszáraz vízgazdálkodási fokú, vályogos szövetű, mély termőrétegű, lápos jellegű réti talaj. Összességében a termőhelyi viszonyok legfeljebb közepes, de inkább gyenge adottságokat biztosítanak a nemesnyár számára, elsősorban a hidrológiai és a talajviszonyok miatt.

A kísérleti ültetvény fejlődését a vágáslap feletti törzsfatermés térfogatadatainak évenkénti felvételével kísérték nyomon. A második és a negyedik évben tömegméréses felvételek is történtek. (2.10. sz. táblázat)

2.10. sz. táblázat: Hanságligeti kísérletek eredményei (ASZT=abszolút száraz tömeg)

Fajta	Növőtér	2. évi ASZT	4. évi ASZT	ASZT átlagnövedéke 4 éves korban
	m ²	t/ha	t/ha	t/ha/év
'I-214'	0,5	-	45,85	11,5
	1	8,14	38,27	9,6
	2	-	30	7,5
'OP-229'	0,5	-	56,49	14,1
	1	15,629	51,48	12,9
	2	-	49,3	12,3
'I-45/51'	0,5	-	56,55	11,6
	1	7,726	34,69	8,7
	2	-	24,17	6
'Blanc du Poitou'	0,5	-	37,66	9,4
	1	9,563	39,26	9,8
	2	-	27,63	6,9

Forrás: SZENDRŐDI, 1993.

A kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy a gyenge termőhelyen a hektáronkénti törzsszám jelentős növelése, azaz az egyes fák növőterének csökkentése nagyarányú hozamnövekedést eredményezett. A vizsgált nemesnyár klónok mindegyike a legszűkebb növőtér mellett adta a vizsgált életkorokban a hektáronkénti legnagyobb abszolút száraz dendromassza hozamot, a 'Blanc du Poitou' klónnál tapasztalt egyetlen eltérés kivételével. A fajták közül kiemelkedő hozamokat mértek az 'OP-229' (jelenlegi neve 'Agathe-F') klónnál. Általában minden fajtánál a növedék a második, a harmadik, a negyedik évben folyamatosan növekszik, ezért fatermési szempontból nem célszerű az ültetvényt 2-3 éves korban letermelni.

Vizsgálták, hogy a kísérleti területen műtrágyázással befolyásolható-e a fatermés mennyisége. SZENDRŐDI, 1987. megállapítása szerint a műtrágyázás a rövid vágásfordulójú ültetvényeken nem befolyásolja pozitívan a növekedést. Magassági növekedésben, átmérő növekedésben, az egyes fák átlagos törzsfatermésében és a hektáronkénti fatermésben sem mutatkozott szignifikáns eltérés a különböző műtrágyázási szintek között. A

műtrágyakezelések eredménytelenségét valószínűség szerint a talaj nagy pufferkapacitása, az eleve nagy humusz- és tápanyagtartalom, valamint a víz, mint minimumfaktor együttesen okozzák. A kísérlet bebizonyította, hogy műtrágyázással közvetlen hozamfokozást a nagy szervesanyag-tartalmú és nagy pufferkapacitású talajon nem lehet elérni, különösen akkor, ha a talaj vízellátása is gyenge.

A faegyedek vizsgálata mellett talajvizsgálatokat is végeztek. Évente három alkalommal vettek talajmintát, és a mikrotápelemek mennyiségét mérték. A fafaj számára korántsem optimális termőhelyen nem észlelték a tőszám növelésével, azaz a dendromassza populáció növekedésével arányos leromlást a talaj tápanyagkészletében. Az évek során a mikrotápelemek mennyisége nemhogy csökkent volna, hanem szinte minden elemnél mennyiségi növekedést mutattak ki. A kísérlet cáfolja azt a szakmai közvéleményben is elterjedt nézetet, miszerint a rövid vágásfordulójú ültetvények kizsarolnák a talajukat.

A kísérlet egyértelműen bebizonyította, hogy ezen a mezőgazdasági művelés alól kivont gyenge termőhelyen is lehetséges dendromassza ültetvénylétesítés. A kísérlet eredményei alapján nem fogadható el fenntartás nélkül az a szakmai közvéleményben elterjedt nézet, miszerint ilyen ültetvényeket csak a fafaj számára optimális termőhelyen érdemes létesíteni.

Karancslapujtói kísérlet

Az akác energiaerdő kísérleti területet 1985 novemberében telepítették Karancslapujtő határában. A korábban mezőgazdasági művelés alatt álló terület cseres-kocsánytalantölgyes klímában található, a talaj Ramann-féle barnaföld. A javasolt célállomány akác közepes növekedéssel.

A közönséges akácot 0,09-1,00 m² között 8-féle növőtérrel telepítették. A 'Nyírségi', és az 'Üllői' akácot 3-féle növőtérben (0,49; 0,64; 1,00) ültették. A kísérleti területet 1987-ben mérték fel a vegetációs idő után. A mért adatokat a 2.11. sz. táblázat tartalmazza.

2.11. sz. táblázat: Karancslapujtői kísérlet mérési eredményei

Növőtér		Egyedszám	Átlagfa absz. sz. tömeg	2 éves hozam (ASZT)	Éves átlagos hozam	Éves átlagos fatermés OE-ben
névleges m ²	tényleges m ²	ezer db/ha	kg/fa	t/ha	m ³ /ha	t/ha
Közönséges akác						
0,09	0,09	111,1	0,11	12,04	9,26	2,2
0,16	0,21	47,6	0,22	10,38	7,99	1,9
0,25	0,48	20,8	0,56	11,61	8,51	2,07
0,36	0,56	17,9	0,71	12,64	9,73	2,37
0,49	0,81	12,3	0,78	9,61	7,39	1,8
0,64	0,74	13,5	0,88	11,94	9,18	2,23
0,81	0,87	11,5	1,06	12,17	9,36	2,28
1	1,22	8,2	0,82	8,75	6,73	1,64
Nyírségi akác						
0,49	0,6	16,7	0,58	9,62	7,4	1,8
0,64	0,65	15,4	0,77	11,83	9,2	2,24
1	1,02	9,8	0,57	5,6	4,3	1,05

Üllői akác						
0,49	0,52	19,2	0,44	8,5	6,54	1,6
0,64	0,6	16,7	0,65	10,81	8,32	2,03
1	0,9	11,1	0,78	8,69	6,86	1,67

Forrás: JANZSÓ ET AL., 1988.

A nemesített fajták hozami előnyt nem mutattak a kommersz akáccal szemben. Nagyobb különbség tapasztalható a hektáronkénti törzsszámok között, mert a nemesített akácok kisebb mértékű törzsspusztulást szenvedtek. Ápolásra csak az első tavaszon volt szükség, mivel augusztusra olyan volt az állomány fejlettsége, hogy az élő és egynyári gyomok fejlődését lehetetlenné tette. Az utolsó felvétel 1995-ben volt. Mára az állomány kiritkult, az eredeti tőszám 40-85%-a található meg, a megmaradt fák töltmérése a 20 cm-t is eléri. Vágást követően sem lehetne a területen az ültetvényt ill. a kísérletet felújítani (JANZSÓ ET AL., 1988., MAROSVÖLGYI ET AL, 1999.a).

Jánosházai és celldömölki kísérletek

Ezek olyan energiaerdő kísérletek voltak, amelyeknél azt kívánták megállapítani, hogy a meglévő akácok kitermelése után létrejövő sarjállományok mennyire alkalmasak energiacélú erdők kialakítására. A hagyományos akácerdőkben III-IV fatermési osztályban az optimális véghasználat időpontja 25-30 év, viszont itt többszöri emberi beavatkozást jelentenek a nevelővágások. Ott azonban, ahol a maximális hozam elérése az egyedüli cél, nincs szükség erre a többszöri beavatkozásra. A növedék ott valószínűleg előbb eléri a maximumát. A felsorolt szempontok eldöntésére, a feltett kérdések megválaszolására HALUPA 1980 őszén kísérleteket állított be a két területen. A kísérlet elsődleges célja annak megválaszolása volt, hogy a sarj akácok mindenféle beavatkozás, illetve kezelés nélkül mikor adják a legnagyobb évi folyónövedéket. (MAROSVÖLGYI ET AL, 1999.a)

A Jánosháza 13A erdőrészletben és az 1975. tavaszán kivágott Celldömölk 1-2 tagban létesítették a kísérleti parcellákat, amelyek minimum 0,1, maximum 0,2 hektárosak voltak. A kísérlet kezdetekor abból a feltevésből indultak ki, hogy a fatömeg növekedése a maximumot 7-9 év körül éri el. 1980 decembere és 1982 márciusa között kétszer mérték a hozamokat úgy, hogy összesen 14 parcellán meghatározták a fatömeg nedvességtartalmát. A kitermelt fatömeg mindkét kísérleti helyen és mindhárom évben növekedett. A 7 éves erdő 12,7 tonna, a 8 éves 14,6 tonna olajegyenértéket termelt. A folyónövedék olajegyenértéke is meredek emelkedést mutatott, mert az 5 éves 1,65 tonnáról a 8. évben 3,3 tonnára nőtt. Sajnos a fahozamra vonatkozó mérések 1983-ban abbamaradtak, így több adat nem áll rendelkezésre. (JANZSÓ ET AL., 1988.)

Helvéciai kísérletek

A Helvéciai Állami Gazdaság területén az ERTI irányításával 1987 tavaszán nemesnyár és akác fajta, illetve hálózati kísérleteket végeztek. A nemesnyár kísérletben 7 fajta szerepelt melyekkel 1,5x1,0 m-es hálózatot telepítettek. A mért adatok alapján a következő hozamokat állapították meg. A legnagyobb hozamot (abszolút szárazanyagban mérve) az 'OP 229'(6,17t/ha/év) és a 'Pannónia'(5,97t/ha/év) produkálta, emellett azonban a 'BL'(5,97t/ha/év) és a 'Blanc du Poitu'(4,76t/ha/év) is figyelmet érdemel. Az átlagtól (4,65t/ha/év) elmaradtak az 'I-45/51'(3,53t/ha/év), az 'S-298-8'(3,48t/ha/év) és az 'I-214'(3,21t/ha/év). A hálózati kísérletek alapján megállapítható volt, hogy a nemesnyár energiacélú ültetvényekben a legnagyobb mennyiségű dendromassza, a 0,5-1,0 m növőtérben adódik.

A kísérlet egyik parcelláján akác fajtakísérleteket hoztak létre, melyben 4 fajta, és 3 féle közönséges akác szerepelt. A hálózat itt is 1,5x1,0 méteres volt. A hozamokat tekintve megállapítható volt, hogy a kommersz akác nem minden esetben volt kisebb produktumú, mint a fajták. Az Üllői és a Jászkiséri fajta felülmúlta a kommersz akácot. A hálózati kísérletekre az volt jellemző, hogy a legsűrűbb hálózatba telepített akác hozama jelentősen meghaladta a ritkább hálózatban lévőkéét. A törzsszám és a fahozam között egyenes arányú összefüggés állt fenn. Az 1,5x0,3 m-es hálózat 6,447 t/ha/év abszolút száraz tömege 149%-a az 1,5x0,5 m-es hálózat 4,339 t/ha/év hozamának, és 203%-a az 1,5x1,0 m-es hálózat 3,184 t/ha/év hozamának. A helvéciai kísérletek alapján összefoglalóan megállapítható, hogy a nyár számára kedvező termőhelyen az akác és a nemesnyár megközelítőleg azonos eredményt ad, az abszolút száraz tömeg viszont az akácnál magasabb a nagyobb térfogatsűrűség miatt. A területet később azonban elhanyagolták, a kísérletet felújítani nem lehet, mivel az öngyérülés jelentősen előre haladt (MAROSVÖLGYI ET AL, 1999.a).

Tiszakécskei kísérletek

Teljes talaj-előkészítés után 1998. tavaszán Tiszakécske határában nyár és akác fajta, valamint pusztaszil hálózati kísérleteket állítottak be. A nyár fajtakísérletben 5 fajtát, 'I-58/57', 'H-328', 'Kornik 21', 'S 299-3' klónokat és fehérsnyár magcsemétét vontak be, 1,5x1,0 m-es hálózatban. A negyedik vegetációs időszak után történt felmérések adatai alapján a 'H-328' és a 'Kornik 21' klónok számítottak a legjobbnak a 23,0 t/ha és 23,3 t/ha hozamértékekkel. A többi klón jelentősen lemaradt, de a fehérsnyarak még ennél is rosszabb eredményeket értek el (2,8 t/ha; 7,0 t/ha). Az akác fajtakísérletbe 6 fajtát vontak be 1,5x1,0 m-es hálózatban. Szintén a negyedik vegetációs időszak után történt felmérések alapján a legnagyobb abszolút száraz fatömeg 19,1 t/ha volt (ófehértói magágyi csemete). A pusztaszil hálózati kísérleteket 1,5x0,5m, 1,5x1,0m, és 1,5x1,5m-es hálózati variációkban telepítették. 1,5x1,0m-es hálózatban 22,6 m³/ha térfogatot termelt. Amennyiben ezt a teljesítményt több helyen is igazolja, és a fűtőértéke is megfelelő lesz, alkalmazása azért is kedvező lenne, mert termőhellyel szembeni tűrése tágabb, mint az akácé. A pusztaszil állományok mára túltartottá váltak, rövid vágásfordulóban még sarjzartatást követően sem használhatók. A nyárállományokat azonban erdészeti technológiát alkalmazva energiaerdőként tovább lehetne üzemeltetni (JANZSÓ ET AL., 1988., MAROSVÖLGYI ET AL, 1999.a).

Mezőfalvi kísérletek

1988-ban 6,0 hektáron létesítettek akác ültetvényt, hálózati és telepítéstechnológiai kísérlet céljából. A telepített parcellák hálózata 1,5x1,0m és 1,5x0,5m volt. A kísérleti parcellákon elért abszolút száraz tömeg átlagosan 6,0-6,9 t/ha/év körül adódott a 8. évben. A különböző talaj-előkészítéssel és termelési technológiával kezelt területeken sem a famagasságban sem a hozamban lényeges különbség nem adódott. A forgatásos talaj-előkészítés esetén csak 10%-al mutatott jobb eredményt az állomány a nem forgatotthoz képest, a különböző hálózatok esetén a nagyobb sűrűségű állományokban a fatermés 10-15%-al volt nagyobb. A sarjról felújított állományok folyónövedéke 6, a csemetével ültetett állományok folyónövedéke 7 éves korban kulminált. (HALUPA, 1982.)

Sopron környéki kísérlet

Tarra vágott akácokban gyökérszagatást végeztek, majd a tuskósarjakat vegyszerrel kiirtották, így 90 %-ban gyökérsarjkból álló állományt kaptak. A kísérletek során 5 éves korra átlagosan 32,5 t/ha szárazanyag jött létre, ami 6,5 t/ha/év hozamnak felel meg, ez pedig 2,35 tOE/ha/év energiahozamot jelent. (HALUPA, 1982.)

Jakabszállási kísérletek (2.12-13. sz. táblázatok)

A hagyományos akác energiácélú hasznosítását, a sarjaztatás eredményeit vizsgálták. Itt csak vágástakarítást végeztek, a tuskó- és gyökérsarjak szabadon növekedhettek.

2.12. sz. táblázat: Jakabszállási kísérletek I.

Kor (év)	Fatömeg (t _{ASZT} /ha)	Átlagnövedék (t _{ASZT} /ha/év)	Energiahozam (tOE/ha/év)
1	4,9	4,9	1,77
2	17,5	8,8	3,15
3	34,5	11,5	4,15
4	46,8	11,7	4,22

Megállapították, hogy a tuskósarjak elleni védekezés indokolatlan, mivel a tuskósarjak a hozamot jelentősen növelik (ezenkívül a tuskósarjak elleni védekezés költsége megtakarítható).

2.13. sz. táblázat: Jakabszállási kísérletek II.

Parcella	Kor (év)	Fatömeg		Hozam (t _{ASZT} /ha/év)
		Nedves (t/ha)	Száraz (t/ha)	
1	5	62,5	37,5	7,5
2	5	108,0	64,8	13,0

A bálványfa kísérleti területet 1985-ben letermelt akác helyén létesítették. Az 50 éves akác alatt sűrű bálványfa cserjeszint volt. Az akác letermelése után a területen nem végeztek semmilyen előkészítő műveletet. A beavatkozásra a bálványfa erőteljes gyökér- és tuskósarjképződéssel reagált, és az akác teljesen visszaszorult. (SZENDRŐDI, 1993.)

Tisza hullámterében végzett kísérletek

A KÖVIZIG Szolnok telepített partvédelmi füzeseket töltésvédelmi céllal. Ezeket 4-5 éves vágásfordulóval kezelték, a letermelt anyagot energiatermelésre szerették volna felhasználni. A kísérlet alapján 1 m² körüli növőtér mellett kapták a legnagyobb hozamot 3 év alatt. A legkisebb hozam 8,2t/ha/év, a legnagyobb 20,7t/ha/év, az átlagos 13,7 t/ha/év volt. Ez olajjegyenergiában 2,7-6,9 t/ha/év energiahozamnak felelt meg.

1988 tavaszán Tiszasüly térségében is létesítettek fűzültetvényeket, 'Csertai', 'Bédai', 'Sárvári', 'I 59', és 'Velki Bajar' fajtákkal. A rövid vágásfordulójú fűzültetvények hullámtéri alkalmazása csak a védelmi célok megvalósítása mellett képzelhető el. A betakarításokat térben és időben úgy kell elhelyezni, hogy a védelmi funkció számottevően ne csökkenjen. Ezekkel a fűzültetvényekkel olyan területeket is hasznosítani lehet, ahol más fafaj nem élne meg. (SZENDRŐDI, 1993.)

Dobozi kísérlet

A Körös holtág melletti területen 1995-ben végeztek vizsgálatokat egy 0,3ha-os területen, melyen korábban "I-214" olasznyár állomány volt. A területet 1984/85-ben letermelték, de a terepviszonyok miatt a kituskózás elmaradt, így nagy mennyiségű tuskósarj jött fel. Így lehetőség volt összehasonlítást végezni a tuskósarjából keletkezett és ültetett állomány között. A beültetett részen a fák mind magassági-, mind fatömeg növedékben megelőzték a sarjállományt. Amennyiben letermelt állományok helyén kívánunk sarjából energetikai ültetvényt létesíteni, célszerű a sarjak egyenletesebb eloszlása érdekében gyökérszagatást is végezni a sorok között. (JANZSÓ ET AL. 1998., MAROSVÖLGYI ET AL. 1999.)

Bánhidai kísérlet

1991-ben történt kísérleti fásítás, a hőerőmű környékén található több mint 100 ha pernyehányón ezüstfával és akáccal. A fák magassága elérte a 4 m-t, tőátmérőjük pedig 8-10 cm között változott. Az itt megtermelt faanyag tüzelési célra felhasználható, de az ültetvény elsődleges funkciója természetesen a környezetvédelem. (JANZSÓ ET AL. 1998., MAROSVÖLGYI ET AL. 1999.)

Alsónémedi kísérlet

Az 1995-ben indított kísérlet célja az 1991/92-ben letermelt nemesnyár állomány után maradt vágásterületen feljött sarjállomány fatermeszének vizsgálata. A 3 éves tuskó-, illetve gyökérsarjakból álló állományban 4,0-4,5m-es famagasságokat és 2,0-2,5 cm-es mellmagassági átmérőket mértek, a hozam 7,4 t_{ASZT}/ha volt. (JANZSÓ ET AL. 1998., MAROSVÖLGYI ET AL. 1999.)

2.2.2.2. A mini vágásfordulójú energetikai faültetvény létesítésével, üzemeltetésével és hasznosításával kapcsolatos hazai szakirodalom áttekintése, fontosabb megállapítások

Hazánkban, az utóbbi évtizedekben – az 1970-es évektől kezdődően – egyre több kutató vetette fel a dendromassa energetikai hasznosításának lehetőségeit. Majd a XX. végére, illetve a XXI. század elejére a technológiai, valamint az energetikai fejlesztések megkövetelték a biomassza, ezen belül a dendromassa egyre nagyobb mértékű energetikai hasznosítását.

A különböző faanyagok, kezdetben elsősorban melléktermékek, valamint hulladék jellegű faanyagok energetikai hasznosításával kapcsolatos eredményekről számolnak be a következő kutatók: Varga I., Janzsó J., Várady G., Zágonyi I., Sitkei Gy., Herpay I., Bohoczky F., Marosvölgyi B., Kovács J., Horváth B., Rumpf J., Almási J., Németh K., Réczey Istvánné. (ALMÁSI, 1987., JANZSÓ ET AL. 1988., JUHÁSZ, 1998., KÜRTÖSI, 1998., LUKÁCS, 1989., MAROSVÖLGYI ET IVELICS, 2005.)

A mini és rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények kísérleti kutatásával elsősorban a következő kutatók foglalkoztak: Keresztesi B., Rédei K., Halupa L., Simon M., Szendrődi L., Marosvölgyi B., Kovács J., Rumpf J., Almási J., Lukács G. S., Kürtösi A. (ALMÁSI, 1987., JANZSÓ ET AL. 1988., FÜHRER ET AL. 2003., HALUPA ET RÉDEI, 1983., HERPAY ET AL. 1984., IVELICS, 2005.c, JANZSÓ ET AL. 1988., KÜRTÖSI, 1998., LUKÁCS, 1989., MAROSVÖLGYI ET AL. 2005., MAROSVÖLGYI ET IVELICS, 2005. RÉDEI, 1983., RÉDEI 1997., SZENDRŐDI, 1993.,)

Ültetvényszerű fatermesztéssel kapcsolatos kísérletek eredményei elsősorban Szofridt I., Palotás F., Tóth B., Erdős L., Járó Z., Szontagh P., Halupa L., Simon M., Rédei K., Führer E., Kapusi I. Marosvölgyi B., Kürtösi A. munkáiban kerülnek bemutatásra. (BONDOR 1980., BONDOR ET AL, 1979., GYARMATINÉ, 1981., HALUPA ET RÉDEI, 1983., LUKÁCS, 1989., MAROSVÖLGYI ET AL. 2005., RÉDEI, 1983., RÉDEI 1997., SZENDRŐDI, 1993., SZODFRIDT, 2001., SZONTAGH, 1990., SZONTAGH ET TÓTH, 1988., TAMÁS, 1997., TÓTH, 1988.)

A kutatók alapvetően egyetértenek abban, hogy napjainkban a minirotációs faültetvények termesztésének fejlesztése és termesztési területének növelése – a növekvő ipari és energetikai igények kielégítése érdekében – elengedhetetlen.

A kutatások eredményeképpen megállapítható, hogy hazánkban minirotációs energetikai célú fatermesztésre elsősorban a nyár, a fűz, az akác, valamint néhány jelenleg még kísérlet

alatt álló fafaj, illetve fafajta (bálványfa, gyalogakác, császárfa és egyéb fafajok) alkalmazható.

A mini, midi és rövid vágásfordulójú faültetvények termesztése és energetikai hasznosítása várhatóan napjainkban, a XXI. század elejére válik üzemszerűvé. A rövid vágásfordulójú dendromassza ültetvények hő-, valamint villamos energiatermelésbe vonása elsősorban MAROSVÖLGYI B. munkásságának köszönhető. MAROSVÖLGYI B. kutatómunkájának eredményei segítették elő, hogy a rövid vágásfordulójú faültetvények mezőgazdasági területen való termesztése állami támogatásban részesüljön. (74/2005. Korm. Rend.) Ennek eredményeképpen az agroenergetikai program szerint, 2010-ig körülbelül 100 ezer hektár energetikai faültetvényt szükséges telepíteni. A 2006. évben több fűtőmű és erőmű tervezi – a biomassza, a dendromassza bázisú energiatermelési beruházásai és fejlesztései hatására – több száz, illetve több ezer hektár minirotaációs energetikai faültetvény létesítését. Ennek eredményeképpen a mini vágásfordulójú energetikai célú faültetvények termesztéstechnológiájának és hasznosításának vizsgálata elengedhetetlenül fontos a megújuló energiatermelés szempontjából. (MAROSVÖLGY, 2005., MAROSVÖLGYI ET IVELICS, 2005.)

2.2.2.3. A korábbi rövid vágásfordulójú, minirotaációs energetikai faültetvényekkel kapcsolatos kísérletekből levonható következtetések

A korábbi hazai faültetvények kísérletek alapján megállapítható, hogy alapvetően erdészeti célú vizsgálatok történtek. A vizsgálatok megállapították, hogy ezek a faültetvények elsősorban nagy tömegű biomassza előállítására alkalmasak, de minőségi faanyag-termelésre nem megfelelőek. Továbbá az erdészeti szakemberek nem látják alkalmazhatónak a faültetvények minirotaációs hálózatban való termesztését, annak ellenére, hogy a kisebb növénytér az első években nagyobb dendromassza termelést eredményez.

Magyarországon, ahogy az előzőekben láthattuk, a nagy dendromassza hozam érdekében folyó kísérletek, faenergetikai kutatások két alaptechnológián alapultak. Ezért mindenképp el kell különíteni a két, egymással össze nem vethető dendromassza termelő technológiát. Az egyes technológiák esetén, SZENDRŐDI, 1993. szerint maximum ötszöri, MAROSVÖLGYI, 2004. szerint kb. 5-6-szori letermelés lehetséges egyes állományokról, azután a faültetvényt újra kell telepíteni. Az ültetvény 2-4 évenkénti célgépekkal történő betakarítása során az előállítani kívánt célválaszték az energiahordozóként energetikai hasznosításra alkalmas erdészeti apríték.

Az eddigi kísérletek tapasztalatai szerint az energetikai faültetvényeken lehet megtermelni a legnagyobb dendromassza hozamot a legrövidebb idő alatt. Az energetikai faültetvények, energiaerdők létesítésére alkalmas fafajokkal szembeni követelmények a következők: fiatalkori intenzív növekedés, jó sarjadó-képesség, a faanyag nagy térfogati sűrűsége, magas szárazanyag termelés, jó ellenálló képesség biotikus és abiotikus károsításokkal szemben, jó égési tulajdonságok, viszonylag gyors vízvesztés, száradás, könnyű kitermelhetőség és feldolgozhatóság. A fenti követelmények természetesen különböző súlyal érvényesülnek az energetikai ültetvények, illetve sarjállományok vonatkozásában.

A minirotaációs energetikai célú faültetvények fontosabb előnyei:

- Rendszeresen és biztonságosan újratehermelhető, valamint állandóan megújuló,
- A szántó föld racionális hasznosításának egyik módja,
- CO₂ felhasználásával és O₂ termelésével csökkentheti a Föld klímájában várhatóan bekövetkező változásokat,

- Megfelelő termesztést-technológia kialakításával környezetkímélő,
- Az energetikai faültetvények által szolgáltatott dendromassza alacsony kén-, és hamutartalma miatt kevésbé szennyezi a környezetet, mint a fosszilis energiahordozók,
- Elégetése során keletkező hamu tápanyag utánpótlásra alkalmas, bizonyos korlátozások kikötése mellett,
- Eloszlása az ország területén viszonylag egyenletesebb, mint a fosszilis energiahordozóké, és az energiaimport függőség csökkenthető,
- Minden felhasználó körzetében az optimális szállítási távolságon belül elhelyezhető a dendromassza, valamint létrehozása nemcsak a energiagazdálkodást, hanem a mezőgazdálkodást, a vidékfejlesztést is érinti, munkalehetőséget teremt. (MAROSVÖLGYI ET AL. 2005.)

A mini vágásfordulójú energetikai célú faültetvények hátrányai:

- A közvélemény az energetikai faültetvényeket elsősorban a technológiai ismeretek hiánya miatt ma még csak hátrányait tartja számon,
- Energiasűrűsége alacsonyabb, mint a fosszilis energiahordozóké, ezért nagyobb mennyiséget kell begyűjteni és kezelni,
- Rendelkezésre állása szezonális a faanyag biológiai tulajdonságai révén,
- Nedvességtartalma változó, ami nehezítheti a hatékony felhasználást,
- Az agrár és erdész szakemberek, elsősorban az energetikai ismeretek hiánya miatt előítéllettel kezelik a dendromassza energetikai hasznosítását. (JANZSÓ ET AL., 1988., KOVÁCS ET MAROSVÖLGYI, 1990., MAROSVÖLGYI ET AL. 2005.)

A kísérletekből kitűnik, hogy szükségesek további energetikai célú faültetvény vizsgálati helyek kialakítása, elsősorban azért, hogy hazánk számára megfelelő, nagyüzemi, minirotációs energetikai célú faültetvény termesztés-technológiát lehessen kialakítani.

2.3. Az energetikai ültetvények és a faenergetika kapcsolata

2.3.1. Szántóföldi energianövényekkel létesített ültetvények fontosabb változatai és jellemzői

A biomasszát mint energiahordozót többnyire szilárd energiahordozónak tekintik, holott az energetikai hasznosítás lehetőségeinek és igényeinek megfelelően különböző felkészítettségi fokon és három halmazállapotban (szilárd, folyékony, gáz) állhat rendelkezésre.

Az EU adatbázisaiban többféle olyan biomassa is szerepel, melyek hazai szerepe még nem tisztázott. Az energiatermelésre számításba vehető növények száma szinte korlátlan, hiszen lignocellulózként mindegyik alkalmas a környezetbarát energiatermelésre a napenergia megkötése révén, és a zárt CO₂-körforgalom előnyeinek megjelenése mellett. (KOVÁCS ET MAROSVÖLGYI, 1995., MAROSVÖLGYI, 2001.a)

A kiválasztás jelenleg fontos szempontjai a következők:

- többféle termesztési-technológia megvalósítása váljon lehetővé,
- egy-egy már jól kialakult nemzetgazdasági ágazat technológiai és műszaki megoldásai legyenek hasznosíthatók,
- legyen megoldás az intenzív és az extenzív termesztési és hasznosítási technológiák alkalmazására,

- a lehető legkülönbözőbb termőhelyi viszonyokra lehessen választani közülük. (MAROSVÖLGYI, 2001.a)

Mindemellett a faültetvények alaki és egyéb jellemzői, valamint a lágyszárú energianövények tulajdonságai alapján, az energianövények csoportosítása MAROSVÖLGYI, 2001.a nyomán in IVELICS, 2005.b szerint a következőképpen alakul (2.14. sz. táblázat):

2.14. sz. táblázat: Az energianövények csoportosítása

ENERGIANÖVÉNYEK								
FÁSSZÁRÚAK						LÁGYSZÁRÚAK		
Energia-erdő	Faültetvények						Egy-nyári	Évelő
Fa-alakúak	Fa-alakúak				Cserjefélék		Repce	Nád
	Nyárfélék	Fűzfélék	Akác	Egyéb	Fűzfélék	Egyéb	Triticálé	Energiafű
	Nyárfajok	Fűzfajok	Akác	Bálványfa	Fűzfajok	Gyalogakác	Kender	Kínai nád
	Nyárklónok	Fűzklónok	Akác fajták	Császárfafa és egyéb	Fűzklónok	Egyéb	Egyéb	Egyéb

Forrás: IVELICS, 2005.

2.3.1.1. Lágyszárú energianövények

Jellemzőjük a ha-onkénti igen nagy növény(hajtás)-szám, a viszonylag kis növénymagasság, a mezőgazdálkodásban kialakult technológiák-, és a kialakult műszaki megoldások alkalmazhatósága.

Ezen növények és technológiák alkalmazásának nagy előnye az, hogy a mezőgazdálkodásban alapvető műszaki-technológiai megváltoztatására, változtatásokra nincs, vagy alig van szükség, de a megtermelt biomassza évenkénti betakarítása, illetve a növények életciklusa miatt a betakarítások száma nagy és nem halasztható.

Hazai kísérleti eredményekkel rendelkezünk a következő növényekkel:

- Egynyaras növények: repce, triticálé, rostkender, stb.
- Évelő növények: magyar rozsnok, nádfélék, Miscanthus, energiafű.

Hazánkban adottságainkból (és korlátainkból) következően hagyományosan fontos szerepe van a mezőgazdaságnak. A környezetükben ható folyamatok mellett azonban nyilvánvaló, hogy a hagyományos mezőgazdasági hasznosításból jelentős területek kivonására kerül sor. Ezek a földterületek azonban nem feleslegesek, hanem igen nagy haszonnal művelhetők, ha a hagyományos gondolkodás szerint kétszektörű (növénytermesztés, állattenyésztés) mezőgazdaság háromszektörűvé (élelmisznövény-termesztés, állattenyésztés, ipari és energetikai ültetvénygazdálkodás) alakul át. Ezzel az új eljárással nemcsak a hazai környezetbarát energiahordozó-bázis bővül, hanem a mezőgazdaság jövedelmezősége is javítható. (BARÓTFI, 1994.b, MAROSVÖLGYI, 2001.a)

2.3.1.1.1. A rostkender (*Cannabis sativa* L.)

Egynyári növény. Termesztéséhez minden évben talaj-előkészítés, vetés, növényvédelem, betakarítás és cikluszáró talajmegtisztítás tartozik.

A növényvel közepes humuszos rétegű, réti csernozjom talajon végezték vizsgálatokat Szarvason. Négy kísérleti év átlagában a legnagyobb szárazanyag-termést (13,57 t/ha) érték el. Az eredmény eléréséhez N és K műtrágyázás is szükséges volt.

Energetikai célra a nádfélékhez hasonló módon (aprítás, vagy bálázást követően direkt tüzelés, biobrikett és energetikai pellet előállítás) használható fel. A számított energiahozam: 230 GJ/ha/év.

Szükséges kiemelni, hogy a kender betakarítása és az aprítása nehézkes, még nem terjesen megoldott. (DENCs ET AL. 1999., MAROSVÖLGYI, 2001.a, FOGARASSY, 2001.)

2.3.1.1.2. A tritikalé

Keresztezéssel előállított gabonaféle, melyet elsősorban takarmánynövényként termesztnek. Termesztéstechnológiája megegyezik a búzáéval. Termőhellyel kapcsolatos igényei szerényebbek, ezért kevésbé jó termőhelyen, illetve kisebb mértékű tápanyag-utánpótlás mellett termeszthető. Kedvező esetben 8-10 t/ha/év szárazanyag-hozam is elérhető, melynek 35-40 %-a a mag tömege. Energianövényként korábban etanol-előállításban tervezték a felhasználását. Hazai kísérletek a teljes növény bálázást követő eltüzelésével folytak. A betakarítás a természetes száradás céljából rendrearatással történt, majd rendfelszedéssel kapcsolt bálázással készült a magot és a szárazanyagot is tartalmazó kisbála. Az így nyert biomassza nedvességtartalma 17 % volt, a fűtőérték 14,5 GJ/t. A hamutartalom 3-7 %. A kisbálák eltüzelésére szalmabála-tüzelő kiskazánban történt, ahol az anyag viszonylag nehezen gázosodónak, lassú égésűnek bizonyult, de a kigázosodást követően a bálamaradvány sötétvörös izzással a búzaszalmához viszonyítva hosszabb ideig, egyenletes hőleadással égett. Tüzeléstechnikai szempontból a búzaszalmához viszonyítva jobb tüzelőanyagnak bizonyult, ezért a növényvel további kísérletek indokoltak. (MAROSVÖLGYI, 2001.a)

2.3.1.1.3. A pántlikafű (*Baldingera arundinacea* L.)

Évelő, hosszú tarackos, ritka bokrú szálfü. A vetés után lassan fejlődik. Általában 4-5 évig hasznosítható. Nagy vízigényű, kozmopolita elterjedésű faj. Szára magas, 0,5-2(3) m, a nádra emlékeztető, néha elágazó. Vízzel bőségesen ellátott, semleges, humuszos agyag-, vályog-, hordalék-, vagy humuszos homoktalajokat szereti. Nitrogén-műtrágyázás a hozamot jelentősen növeli. Jó talajkötő és melioráló növény. Termőképessége félintenzív öntözött körülmények között 30-40 zöld t/ha, Intenzív körülmények között 60-70 zöld t/ha. A „Szarvasi-50” Zöldpántlikafű a magas altalajvízű-, és az öntözött területeken 80-120 t/ha hozamot ér el, de jól tűri a szárazságot is.

A pántlikafű hamutartalma jóval magasabb, mint a fás szárú lignocellulózoké, valamint a fűtőértéke is alacsonyabb, mint a faültetvények által termelt faanyagé. (MAROSVÖLGYI, 2001.a)

2.3.1.1.4. Nádfélék (*Phragmites* spp., *Arundo* spp.)

A nádból hosszú régóta készítenek különböző anyagokat az építőipar, a hangszergyártás és egyéb felhasználás számára. A közönséges nád (*Phragmites communis*) hagyományosan tetőfedő alapanyag, azonban Európában több helyen található nádültetvényeket, amelynek első osztályú részét az építőiparban, másodosztályú részét pedig tüzelőanyagként hasznosítanak. A kifejlett egyedek 1,5-3 méter magasságot érnek el. Átlagos hozam elérheti 10-22 t/ha/év-et. Kifejezetten jól tömöríthető, jó minőségű biobrikett készíthető belőle.

Az olasz nád (*Arundo donax*) hasonló, de sokkal magasabbra nő (6 m), mint a közönséges nád. Általában melegebb és szárazabb helyeken él. Néhány éven keresztül évi hozama 20-25 tonna szárazanyag is lehet hektáronként, amelyet rosttermelés, valamint energetikai hasznosításra, biogáz termelésre, tüzelésre hasznosítanak. A nádfélék anyagösszetétel jobban hasonlít a fáéhoz, ezért energetikailag könnyebben hasznosítható. (MAROSVÖLGYI, 2001.a)

2.3.1.1.5. Kínainád (*Energianád, Miscanthus synensis spp.*)

Távkeleti eredetű, de Európában már több mint 70 éve szelektált növény. Humuszos, laza talajt kedvel. Előnyös a tarackokhoz közeli (0,5 m) talajvízszint, de az elárasztást alig tűri. Az egy éves növény fagyérzékeny. A földfeletti szárrész minden évben elszárad, a következő évi szárazanyag a rizóma-rügyekből hajtanak ki. A kémiai szempontból fontos alkotók aránya, (MAROSVÖLGYI, 2001.a szerint): cellulóz (32 - 34%), pentozán (28 - 29%), lignin (14 - 15%), hamu (3 - 9.5%), utóbbi a növény törésének korától és a levélarányától függően változik. Tüzeléstechnikai szempontból fontos átlagos jellemzője a fűtőérték: 16,4 MJ/kg.

A növény első évben elsősorban rizómáit fejleszti, a szár magasság 1-1,5 m, és a ha-onkénti hozam 2-5 tonna zöldanyag. A második évben a hajtásszám jelentősen megnő, a szármagasság 1,5-2 m, a ha-onkénti hozam 7-16 t. A harmadik évtől az állomány záródik. A tövek átmérője 60-70 cm-ben állandósul, és a hozam 20 - 40 t/ha zöld anyag.

Betakarítása a kukoricaszár betakarítására alkalmas gépekkel történhet, de célszerűbb sorfüggetlen vágószerkezettel szerelt járvaszecskázókat használni. A *Miscanthus* anyaga energianyeréshez aprítást, bálázást-, esetleg tömörítést (brikettálás, pellettálást) követően hasznosítható. (MAROSVÖLGYI, 2001.a)

2.3.1.1.6. Az energiafű

Az energiafű energianövényt a szarvasi Gyepkutató Kht. fejlesztette ki hazánkba. A magas tarackbúza és egyéb fűfélék kereszteződése. A növény igénytelen, fagy-, só- és sziktűrő. Körülbelül 10-15 évig termeszthető. Magassági eléri a 2-3 métert. Évente többször kaszálható, amelynek következménye, hogy a második és harmadik betakarítási alapanyag nagy része a levélből tevődik ki, ezért ezeknek a betakarítási anyagoknak magas a hamutartalma, nagyobb, mint 8-10 %. Hektáronkénti éves hozama 10-18 tonna szárazanyag, amelynek fűtőértéke 14-17 MJ/kg között változik. Inváziós státusza még nem tisztázott, valamint a kutatások még nem támasztották alá a pontos növénytani besorolását. Energetikai és ipari alapanyagként is megfelelő. Jól illeszthető a mezőgazdálkodási termesztés-technológiákhoz, jól bálázható. A biogáz hozama kiemelkedik a fűfélék közül, tehát alkalmas a biogáz termelésre. Azonban a fűféléknek magas a hamutartalma, elsősorban magas a K, Si, Cl tartalma, amelynek köszönhetően a hamuolvadáspontja magas, ezért speciális tüzelő berendezések szükségesek ezek energetikai hasznosítása során. Mindemellett további hátránya az energiafű alapú energiatermelésnek, hogy az energiafű betakarítása a mezőgazdasági munkákkal egyidőben zajlanak, amely megnehezíti a betakarítást. (MAROSVÖLGYI, 2001.a, DÓCZI, 2004.)

2.3.2. A dendromassza, mint energiahordozó jelentősége, összehasonlítása más lignocellulózokkal

A fa szerepe az energetikában visszaszorult ugyan, de nem szűnt meg. Magyarországon jelenleg a teljes energiafelhasználásban közel 3,3-3,5 %-ot képvisel, és a villamosenergia-termelésben is közel 3,5-3,6 % a részvétele. (MAROSVÖLGYI ET AL., 2002.b)

A fa, mint energiahordozó az emberiség történetében mindig nagy szerepet játszott, és – megváltozott mértékben és okból – a jövőben is fontos szerephez jut.

A ipari forradalom kiteljesedése a fosszilis energiahordozók termelésében is jelentős fejlődést hozott. Kezdetben általánossá vált a szénbányászat, majd megjelent a kőolaj és a földgáz is. Ezek a nagy tömegben, fajlagosan kis élömunka felhasználással és folyamatosan kitermelhető energiahordozók visszaszorították a fa energetikai felhasználását. (Melléklet 2.2. sz. ábra.)

A jövőben Magyarországon a dendromassza energetikai szerepe jelentősen nő. Ennek egyik fontos oka, hogy a hazai erdőkben folytatott tartamos erdőgazdálkodás részét képező fakitermelés során, az egyre növekvő erdőterületekről egyre nagyobb mennyiségű fa termelhető ki, és a kitermelt faanyag több, mint 50 %-a (3-4 millió m³) csak energetikai célra alkalmas, egyéb fahasznosító ipar nem tart rá igényt. Emellett a hagyományos mezőgazdasági tevékenységre gazdaságosan nem hasznosítható területeken további rövid vágásfordulójú energetika célú faültetvények, valamint energiaerdők telepíthetők. (MAROSVÖLGYI ET IVELICS, 2004.b) Összesen 2010-ig körülbelül 50-60 ezer, 2025-ig körülbelül 150-200 ezer hektáron lehet tervezni rövid vágásfordulójú energetika célú faültetvény létesítését. (GIBER ET AL.,2005)

A lignocellulózok közül a fa a legfontosabb energiahordozó. Jellemzői nagymértékben hasonlítanak az egyéb lignocellulóz energiahordozók jellemzőihez, ezért a továbbiakban a fa jellemzőit mutatjuk be, több helyen összehasonlításban más lignocellulózokkal. Az élő fa növekedése közben a lombzatban folyó fotoszintézis során a napenergia felhasználásával széntartalmu vegyületek épülnek fel. Így tehát a fa mint nyersanyag a napenergia és a légköri CO₂ megkötésének és tárolásának sajátos módja. tehát megújuló (bővítetten megújítható).

A fában (lignocellulóz) jelen levő szénvegyületekből különféle módszerekkel ismét energia nyerhető. vegyületek oxidálásával a transzformált energia mindenek előtt hőenergia formájában visszanyerhető.

A fa, mint energiahordozó az egyéb energiahordozókra ismert paraméterekkel jellemezhető. Ezek közül a legfontosabbak a következők:

- a nedvességtartalom:
 - Élőnedves: 40-50 (60) %
 - Száradt: 20-30 %,
 - Légszáraz: 15-20 %, (Abszolút száraz: 0 % (Erdészeti szakirodalomban az „atro”, angol nyelvterületen az „oven dried”, „od” kifejezés, illetve jelzés használatos.)
- a hamutartalom: (MAROSVÖLGYI ET IVELICS, 2004.b)
 - Tiszta fa: 0,1-0,3 %,
 - Teljesfa, kéreggel: 1,5-3,5 %,
 - Vonszolva közelített fa kérge: 6,0-14 %,
 - Keménylombos fa gallyanyaga: 2,5-3,5 %,
 - Nemesnyár faültetvény faanyaga: 0,9-3,2 %,
 - Nemesnyár levél: 9,8-11,5 %, (utóbbi nem kerül energetikai hasznosításra),
 - A hamujában található K, Si tartalom alacsonyabb, Ca, Mg tartalom magasabb, mint a lágyszárú lignocellulózoké. Az utóbbiak a hamuolvadás pontját megemelik, az előbbieket pedig lecsökkentik. (Az energiafű

hamutartalmának 17,45 %-a Si, amely a bútorigipari por esetében csak 1,85 %, vagyis több, mint 9-szer több Si-tartalommal rendelkezik az energiafű, mint az adott energiafa típus. A K-tartalom esetén az energiafű hamuja 2,5-szer több káliumot tartalmaz, mint az előbb említett dendromassza.)

- a fűtőérték:
 - Élőnedves állapotban: 7-10 MJ/kg,
 - Abszolút száraz állapotban: 18-20 MJ/kg.
- az égetés során káros hatást kiváltó anyagok, úgymint
 - a kén (S) mennyisége minimális, elhanyagolható: kb. 0,02 %,
 - a klór (Cl), elhanyagolható: kb. 0,01 %,
 - egyéb nehézfémek: nyomokban.

A fa, mint energiahordozó különböző formákban állhat rendelkezésre:

- Tűzifa: vastag tűzifa, vékony tűzifa, egyéb tűzifa,
- Kandallófa,
- Energiafa,
- Erdei apríték,
- Faültetvény apríték,
- Faipari apríték.(MAROSVÖLGYI, 2001.a, MAROSVÖLGYI ET AL., 2003.a)

2.15. sz. táblázat: A fa és más lignocellulózok összehasonlítása fűtőértékük állapotban

Megnevezés	A légszáraz biomassza fűtőértéke (GJ/t)	Megnevezés	A légszáraz biomassza fűtőértéke (GJ/t)
Szalma	13,0-14,2	Gyümölcsfanyesedék	10,0-11,0
Kukoricaszár	10,5-12,5	Energiafű	14,0-17,0
Napraforgószár	8,0-10,0	Miscanthus	16,0-17,5
Erdei apríték	12,0-14,5	Nemesnyár faültetvény	18,0-19,5
Faipari hulladék	13,0-16,0	-	-
Szőlőnyesedék	10,5-12,5	-	-

Forrás: KOVÁCS ET MAROSVÖLGYI, 1990., MAROSVÖLGYI, 2001.a, MAROSVÖLGYI ET IVELICS, 2005.

A fa és más lignocellulózok energetikai és tüzeléstechnikai szempontú elemzése alapján a következők állapíthatók meg:

- A fás szárú energianövények fűtőértéke abszolút száraz állapotban mindig magasabbak, mint a lágyszárú lignocellulózoké.
- A fás szárú lignocellulózok hamutartalma alacsonyabb, valamint energetikai szempontból összetétele kedvezőbb, mint a herbomasszából származó növényeké.
- A minirotációs energetikai faültetvények által termelt faanyag tüzeléstechnikai, energetikai szempontból kedvezőbb, mint a lágyszárú lignocellulózok anyaga.

3. A KUTATÁS MÓDSZEREI

A dendromassza kutatási célokhoz igazodva, a munka módszere részben elméleti, laboratóriumi, kísérleti, továbbá tudományos együttműködés és információcsere jellegű volt.

Elméleti jellegű volt a kutatás a következő témakörökben:

- (a) Minirotációs faültetvények növekedési tulajdonságai.
- (b) Külföldi, fejlett géprendszerek (betakarítás, telepítés, brikettálás, pelletálás) jellemzőinek elemzése, értékelése.
- (c) A mini és rövid vágásfordulójú dendromassza ültetvények betakarítási folyamatának elemzése.
- (d) A lignocellulózok és a rövid vágásfordulójú dendromassza energetikai, tüzeléstechnikai tulajdonságainak elemzése.
- (e) A lignocellulóz brikettek összehasonlító és értékelő vizsgálatához szükséges tulajdonságok és azok jellemzőinek kiértékelése.

Laboratóriumi jellegű volt a kutatás

- a mini vágásfordulójú faültetvények faanyagának vizsgálata során,
- nedvességtartalom, hamutartalom, elemi összetétel, égéshő és fűtőérték, illetve egyéb tüzeléstechnikai tulajdonságokkal kapcsolatos vizsgálatoknál,
- a biotömörítvény-tulajdonságok vizsgálatánál.

Kísérleti jellegű volt a kutatás

- belföldi és külföldi gépek helyszíni vizsgálatánál, belföldön és külföldön.

Tudományos együttműködés és információcsere alapú volt a kutatás

- a mini vágásfordulójú faültetvények hozamának vizsgálata esetén,
- az energetikai faültetvények faanyagának vizsgálati metodikájánál,
- új fabázisú tüzelőberendezések elemzése esetén,
- a dendromassza energetikai hasznosításánál,
- a dendromassza energetikai hasznosításának környezetvédelmi vonatkozásai esetén.

A kutatómunkához, a laboratóriumi vizsgálatokhoz és a kísérletekhez a következő intézmények biztosítottak lehetőséget:

- Nyugat-Magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar EMKI Energetikai Tanszék laboratóriuma, tatai kísérleti energetikai faültetvénye,
- NYME Központi Könyvtára,
- Optigép Kft.,
- Somogyi Erdészeti és Faipari Rt.,
- Pannonpower Rt. laboratóriuma és királyegyházai faültetvénye,
- FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet Laboratóriuma,
- Veszprémi Egyetem, Kémiai Műveleti Tanszék, Veszprém
- Fantoni Ltd. Oposso, Olaszország,
- Italian National Research Cooperation, Trees and Timber Institute, Fiorentino (Firenze), Olaszország.

A tudományos együttműködés és információ csere külföldi intézményei:

- Italian National Research Cooperation, Trees and Timber Institute, Fiorentino (Firenze), Italy,
- University of Technology, Zólyom, Szlovákia,
- Universitat für Bodenkultur, Wien, Ausztria,
- International Commission of Agricultural Engineering (CIGR).

A minirotaációs energetikai faültetvények esetén, a kutatómunka, a laboratóriumi vizsgálatok és a kísérletek, valamint az egyéb vizsgálatok a következőképpen kerültek elvégzésre:

A minirotaációs energetikai faültetvények növekedési és hozam vizsgálatait 2001-től, egyes esetekben 2005-től folyamatosan végeztem az ország különböző faültetvény állományaiban.

A minirotaációs energetikai faültetvények növekedési tulajdonságainak (megekedési tényező, tövesztési tényező, tőátmérő, mellmagassági átmérő, magasság, tömeg) vizsgálata, elemzése és kiértékelése esetén 38 db állomány-felvételezést végeztem, amely során kísérleti területenként, fajtánként vagy egyéb elkülönített esetekben hektáronkénti 10*10 méteres quadrátok, vagy véletlenszerűen kijelölt – a terület nagysága és homogenitása alapján – 10 méter hosszú sorok kerültek kijelölésre mintaterületként. A növekedési vizsgálatok esetén, az egyes minirotaációs energetikai faültetvények állományaiban 200 db akác, 550 db nemesnyár, 150 db fűz és 50 db bálványfa egyedeket vizsgáltam meg.

Tömegmérések a különböző minirotaációs energetikai faültetvények mintaterületein történtek, alacsonyabb elemszámmal – az előbbi adatokhoz viszonyítva akác esetén a 30 %, nemesnyár esetén 20 %, fűz esetén 30 %, valamint bálványfa esetén 40 % – hiszen ekkor a mérendő faanyag kitermelésre került. (A különböző vizsgálatok során az ismétlések száma 3-5 volt.)

A betakarítási vizsgálatok 2002-től minden évben decembertől februárig, néha nyáron folytak. A betakarítások során az aprított faanyag frakció-eloszlási vizsgálatokat végeztem, amelyek elemszáma 5 db volt.

Továbbá a kitermelt vagy aprított minirotaációs energetikai faanyag fűtőértékének és elemi összetételének meghatározásánál ötszörös ismétlést alkalmaztam, mely vizsgálat pontosabb leírását a kutatási fejezetekben tárgyalja a disszertáció. A lignocellulózok brikettálása, illetve a nemesnyár energetikai faültetvényről származó alapanyag tömörítési vizsgálatait 2000-től folyamatosan végeztem.

A vizsgálatok, kísérletek esetén a következő statisztikai mutatókat és eljárásokat alkalmaztam:

- átlag,
- minimum,
- maximum,
- szórás,
- átlagos hiba,
- átlagos abszolút hiba,
- korrelációs koefficiens,
- korreláció analízis,
- regresszió vizsgálat (trendelemzés),
- varianciaanalízis.

4. A MINIROTÁCIÓS ENERGETIKAI FAÜLTETVÉNYEKKEL KAPCSOLATOS KUTATÁSOK

4.1. A mini vágásfordulójú energetikai faültetvény létesítésével, üzemeltetésével és hasznosításával kapcsolatos problémafelvetés

4.1.1. Néhány általános, a termőhelytől, a fafajtól és a fafajától független jellemző a minirotaációs energetikai faültetvény létesítésével és üzemeltetésével kapcsolatban

4.1.1.1. Ültetési hálózat

Az ültetési hálózatot a fafaj, a fajta, a termőhely, a termesztési cél, a termesztés időtartama, a rotációs idő, a termesztési technológia, a kitermelés módja együttesen határozzák meg. Egy adott fafaj vagy fajta ugyanazon termőhelyen azonos idő alatt nagyobb hozamot ér el, ha kisebb növényterbe ültették. Ez a dendromassza termelés szemszögéből azt is jelenti, hogy fiatal korban nagy tömegű dendromasszát, csak kis növényterben, nagy ültetési darabszámmal, sűrű hálózattal lehet előállítani. A telepítési technológiát alapvetően az ültetvény üzemeltetésére vonatkozóan kidolgozott gépesítési terv határozza meg.

Kisüzemi (kis területű) ültetvények esetében, lehetőség van a motormanuális technológiák alkalmazására, tehát lehetséges a kis sortáv, és ezen belül a nagy tőszám alkalmazása. A legkedvezőbb sortávolság a mini és a midi vágásfordulóban 1,5 m. A mezőgazdaságban széleskörben alkalmazott és a rendelkezésre álló univerzális erőgépek, ilyen kis sortávolságban nem alkalmazhatók.

4.1.1.2. Termőhely vizsgálat és terület-, illetve talaj-előkészítés

Az energetikai faültetvényt csak az arra alkalmas termőhelyen, a termőhelynek megfelelő fafajokkal, illetve fajtákkal szabad létesíteni. A termőhelynek megfelelő fafaj, fajta helyes megválasztásával akár 40-50 %-kal is növelhető a fatermés.

Az energetikai faültetvény, illetve az energiaerdő létesítésének első lépése a helyszíni bejárással egybekötött terepi termőhely vizsgálat, ami semmi mással nem helyettesíthető. Meg kell állapítani az esetleges rejtett talajhibákat, melyek kizárhatják az energetikai ültetvény létesítését. A helyszíni bejárással egybekötött terepi termőhely vizsgálat – szükség esetén laboratóriumi vizsgálattal kiegészítve – meg kell határozni az alkalmazandó fafajt, illetve fajtát, és a termesztési technológiát.

Utóbbi célja a terület alkalmassá tétele a talaj-előkészítésre (cserjék, bokrok, magaskóros növényzet eltávolítása égetéssel, mechanikai megsemmisítéssel, szárzúzással). Továbbá szükséges a gépi művelést akadályozó felszíni egyenetlenségek megszüntetése (gödrök, árkok betemetése). (MAROSVÖLGYI ET AL., 2005.)

Az energetikai ültetvények és energiaerdők szinte kizárólag csak mezőgazdasági művelés alatt álló szántókon, esetleg jelenleg parlagterületeken létesülnek. Ezért a nagy energiaigényű, drága mélyforgatásos talaj-előkészítés legtöbb esetben nem indokolt. Elegendő a 35-40 cm-es mélyszántás. Szükség esetén a mélyszántás előtt felszíni talajművelést, például tarlóhántást, stb. célszerű beiktatni. A mélyszántást homoktalajon az ültetés előtt, kötött talajon őszi ültetéskor június-július hónapban, tavaszi ültetéskor szeptemberben vagy októberben ajánlott elvégezni.

A talaj-előkészítésnek nemcsak az a célja illetve feladata, hogy megfelelő minőségű magágyat, vagy ültetésre alkalmas területet állítsunk elő hanem, hogy az ültetvény további ápolásának a lehetőségét is biztosítsa.

4.1.1.3. Ültetés

Az energetikai faültetvény létesítésére alkalmas különböző fafajok és fajták szaporítóanyaga, annak minősége, az alkalmazható technológia jelentősen eltér, ezért ezt részletesen az egyes fafajok tárgyalásánál ismertetem.

4.1.1.4. Ápolás

Az energetikai faültetvény minimális fenntartási ideje 15-25 év. Ahhoz, hogy ez alatt az idő alatt a maximális növekedést fel lehessen tartani, és így a maximális hozamot el lehessen érni, fontos a talajfelszín tisztántartása, tömörödöttségének megakadályozása, levegőztetése. Ha egy energetikai ültetvény valamilyen oknál fogva teljesen gyomosodik, megjelennek a különböző károsítók, akkor növekedése visszaeshet, esetleg leállhat és az ellenálló képessége, csökkenhet. Így a rotációt követően, csak kevés és gyenge növekedésű sarjhajtások keletkeznek, amiből a gyomosodás következtében sok el is szárad. Üres foltok, tisztások képződnek. A növekedés oly mértékben visszaeshet, hogy az ültetvény fenntartása nem gazdaságos, és fel kell számolni. Ezért alapvető fontosságú az ültetvény folyamatos, rendszeres jó minőségű ápolása.

Az ápolás fontosabb műveletei: sorközi, gépi művelés; kézi talajápolás; vegyszeres gyomirtás. A sorközi gépi művelés leggyakrabban alkalmazott technológiája a tárcsázás. Az ültetés évében legalább háromszor sorközi tárcsázást kell végezni. Erőteljes gyomosodás esetén, még egy negyedik tárcsázást is be kell iktatni, októberben. A második év tavaszán a mini vagy a midi vágásfordulóban tervezett igen sűrű hálózatban ültetett energetikai ültetvények, már a második év elején teljesen bezáródnak. Ezekben legfeljebb a második év elején lehet szükség egy sorközi tárcsázásra. Ezután az erőgép és a tárcsa egyaránt károsíthatja a fácskákat, ezért további sorközi művelésre nincs szükség. A közepes vagy hosszabb vágásfordulójú energetikai faültetvényekben, vagy energetikai erdőkben, ahol az ültetési növény, illetve a hálózat nagyobb, a faállomány záródásától függően a sorközi talajművelést legalább a második évben, szükség esetén a harmadik év elején is el kell végezni. A kézi talajápolás elsősorban kézi kapálást jelent. Az ültetés évében általában háromszori sorkapálás szükséges, különösképpen az ikersoros ültetésnél, ahol a keskeny iker sorközök géppel nem művelhetők.

A vegyszeres gyomirtás alkalmazásának szükségességét, az adott terület gyomvegetációja, illetve a gyomosodás mértéke határozza meg. A mezőgazdasági műveléssel felhagyott, erősen elgazosodott területeken, ahol mélyszántással az ültetés évében nem biztosítható a viszonylagos gyommentesség, és a mélyszántás jó minőségű elvégzése sem, ott szántás előtt teljes vegyszeres gyomirtást kell végezni. Vegyszeres gyomirtást kell végezni az ültetést követően azokban az energetikai ültetvényekben, ahol valamilyen oknál fogva a sorok egyáltalán nem, láthatók, és a gyomtalanítást nem lehet időben elkezdni. Így például, ha a nemesnyár-telepítés dugványozással történik.

4.1.1.5. A faültetvény betakarítása, a vágásforduló összehasonlítása az egyes termesztés-technológiák szempontjából

A rövid (mini) vágásfordulójú energetikai célú faültetvények betakarítási ciklusa rövid. Az 1 éves energetikai faültetvények esetén a legrövidebb a vágásforduló. Ez esetben a betakarítás minden évben újra és újra megtörténik.

A megoldás előnyei:

- A betakarítandó állományban a hajtások viszonylag vékonyak, ezért az agráriumban használatos vágószerkezetek is felhasználhatók.
- A tövenként mérhető dendromassa-tömeg viszonylag kicsi, ezért a betakarításkor kisebb anyagáramok lépnek fel, tehát a betakarítógép haladási sebessége adott motor-teljesítmény mellett viszonylag nagy.
- Az egységnyi felületről betakarított dendromassa mennyisége viszonylag kicsi, tehát a vágástér közelében könnyebben tárolható.

A megoldás hátrányai:

- A betakarítás évenként történik, tehát a betakarítógéppel minden évben a teljes területet be kell járni. A betakarítógép energiafelhasználása az aprítás-, a területen mozgás és az önmozgatás teljesítményigényéből adódik, tehát a fajlagos energiafelhasználás ebben az esetben a legnagyobb.
- A betakarítást követően nincs biztonsági tartalék.
- A vágásszám a teljes életsikluson belül a legmagasabb, ezért ebben az esetben a legnagyobb a növény-egészségügyi veszély is.
- Az anyagkoncentráció viszonylag kicsi, tehát csak nagy területek betakarítása esetében lehet a szállítókapacitást jól kihasználni.
- Az egy éves hajtások anyagának összetétele, beltartalmi jellemzőit illetően kedvezőtlenebb, mint az idősebb anyagé. Kisebb a térfogati sűrűség, nagyobb a kéreghányad és nagyobb a betakarításkori nedvességtartalom. Nyárok esetében ez az érték 50-55% is lehet.

A 2 éves vágásforduló kedvezőbb. Ez esetben a betakarítás minden második évben ismétlődik.

A megoldás előnyei:

- A betakarítás 2 évenként történik, tehát a betakarítógéppel nem minden évben kell a teljes területet bejárni. A betakarítógép energiafelhasználása az aprítás-, a területen mozgás és az önmozgatás teljesítményigényéből adódóan, tehát a fajlagos energiafelhasználás ebben az esetben kedvezőbb.
- A betakarítást követően van biztonsági tartalék.
- A vágásszám a teljes életsikluson belül a felére csökken, ezért ebben az esetben csökken a növény-egészségügyi veszély is.
- Az anyagkoncentráció már jelentős, tehát kisebb területek betakarítása esetében is jól ki lehet használni a szállítókapacitást.
- A 2 éves hajtások anyagának összetétele beltartalmi jellemzőit illetően jobban hasonlít a szokásos fához. A térfogati sűrűség nagyobb, a kéreghányad kisebb és kisebb a betakarításkori nedvességtartalom. Nyárok esetében a nedvességtartalom 45-50% lehet.

A megoldás hátrányai:

- A hajtások vastagabbak, a sor-folyóméterenkénti tömeg nagyobb, ezért nagyobb motorteljesítményű traktor szükséges a betakarító adapter hajtásához.
- A tövek méretesebbek, nagyobb befogadó-szelvényű betakarítógépre van szükség.
- A vezérhajtáson megjelenő oldalhajtások aránya nagyobb, ezért aprításnál nagyobb ún. „túlméretes frakció” jelenik meg.

A 3 éves vágásforduló hazai tapasztalatok szerint a legkedvezőbb. Ez esetben a betakarítás minden harmadik évben ismétlődik. (MAROSVÖLGYI ET AL., 2005.)

A megoldás előnyei megegyeznek a 2 éves vágásfordulójú technológia esetében leírtakkal. További előny a nagyobb anyagkoncentráció. Olyan klónok esetében célszerű alkalmazni, amelyek a levágást követően viszonylag sok hajtást hoznak, vagy a tő terjeszkedő. Nagy intenzitású fajok esetében hátrányos lehet a 3 éves vágásforduló, mert a hajtások nagy hányada esetén a tőátmérő eléri vagy meghaladja a 10 cm-t, és ebben az esetben a jelenleg használatos járvaaprító adapterekkel már nem végezhető el a betakarítás.

4.1.1.6. Az ültetvény letermelése utáni kezelés

A rotáció során általában 5-6 évenként végzett rendszeres letermelést követően végre kell hajtani a vágástakarítást. Ennek során el kell távolítani mindazokat az anyagokat, amelyek a területen a mozgást, a különböző ápolási és egyéb munkák végzését akadályozzák.

A letermelés után a záródás, a lefedés megszűnte után, a fény hatására legtöbb esetben nagyon erőteljes gyomosodás jelentkezik. Ezen kívül az erőteljes gyomosodás megakadályozása érdekében a letermelést követően, tavasszal legalább egyszer sorközi gépi talajművelést kell végezni tárcsázással. A tárcsázás elősegíti még a talaj lazítását és levegőztetését is. Erőteljes tömörödöttség esetén a tárcsázás helyett esetleg szántást vagy altalajlazítást is lehet végezni.

A talajművelés elősegíti a talaj felületén felhalmozódott levél és egyéb szervesanyag talajba való bekeveredését, humifikálódását, és az abba levő ásványi és egyéb tápanyagok feltáródását, hasznosítását. Vegyszeres gyomirtást csak indokolt esetben, az erősen elgyomosodott foltokban indokolt, illetve célszerű végezni.

4.1.1.7. Talajerő utánpótlás

A tápanyag-utánpótlással kapcsolatban megbízható tapasztalattal, adattal rendelkezünk. Ezzel kapcsolatban a gyakorlati vélemények megoszlanak. Egyes vélemények szerint, a rövid vágásfordulóban kezelt ültetvényeknél a gyakori kitermelés során az összes anyag elvitele miatt, a tápanyag felhasználás nagyobb, a visszapótlás kisebb, mint a hagyományos erdőgazdálkodásnál. Ezért indokolt, sőt szükséges is az egyes kitermelések után a tápanyag visszapótlás.

A szakembereknek egy másik csoportja szerint a magyarországi termőhelyeken nem a tápanyag a növekedést meghatározó minimumtényező, hanem a vízellátottság. A vízellátottság ritkán olyan optimális, hogy a tápanyag pótlás költsége az így képződött többletnövedékből megtérülne. A gyakorlati tapasztalatok azt bizonyítják, hogy a tápanyag visszapótlás csak a legoptimálisabb nyár termőhelyeken jár olyan többletnövedékkel, ami a tápanyag visszapótlás gazdaságosságát biztosítaná. (MAROSVÖLGYI ET AL., 2005.)

Véleményem szerint tápanyag-utánpótlás nem szükséges a minirotaációban kezelt energetikai faültetvények esetén. Ez elsősorban azzal magyarázható, hogy a faültetvény – betakarítása előtt – a levélzetét évente lehullatja, amely a talajban humusszá, valamint felvehető tápanyaggá alakul át.

4.1.2. A minirotaációs akác energetikai faültetvények

A magyarországi viszonyok között energetikai faültetvény létesítésére számba vehető fajok közül minden tekintetben az egyik legalkalmasabb az akác. Az akác fiatal korban gyorsan nő, gyökérről és tuskóról egyaránt jól sarjadzik, nagy a térfogati sűrűsége, nedvességtartalma viszonylag kicsi és nedvesen is jól ég.

4.1.2.1. A minirotációs akác energetikai faültetvények termőhelyigénye

Az akác rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények termőhely igénye eltér a nyáretől, nem szereti a kötött, levegőtlen, felszínig nedves, esetleg vízállásos termőhelyeket. Kedvező számára, ha a tavaszi talajvízszint nem éri el a felszíntől számított 80-100 cm-t. Ezért termőhely igény tekintetében a nemesnyárrakkal jól kiegészítik egymást. A sziklás, köves és kavicsos, karbonátos földes váztalajok, a futóhomok talajok energetikai akác faültetvény létesítésére nem alkalmasak. (RÉDEI, 1983., RÉDEI, 1997.)

A legalább 40-50 cm kalcium-karbonát-mentes és vályogos termőrétegű csonka erdőtalajok, a nem karbonátos humuszos homoktalajok, a két vagy többrétegű gyengén humuszos homoktalajok alkalmasak energetikai célú akác faültetvény létesítésére, ha a gyökerek az eltemetett humuszrétegeket hasznosítani tudják. (RÉDEI, 2003. IN FÜHRER ET AL. 2003.)

A hullámterekben a magas fekvésű humuszos öntéstalajokra és a homokos vagy vályogos nem karbonátos öntéstalajokra érdemes akácot ültetni. A lejtőhordalék talajokon gyakran a fagyveszély akadályozó tényező. A sötétszínű erdőtalajok nem alkalmasak akáctelepítésre. A barna erdőtalajok közül a laza, levegős szerkezetű, jó vízellátású agyagbemosódásos barna és a rozsdabarna erdőtalajokon, a barnaföldön, a kovárányos barna erdőtalajokon és a csernozjom barna erdőtalajokon érdemes akácot termesztetni. A CaCO₃-mentes barna erdőtalajokon lehet, sőt célszerű akác energetikai faültetvényt, vagy energia erdőt létesíteni. A csernozjom talajok közül a vastag humuszrétegű csernozjom jellegű homoktalaj, valamint a kilúgozott csernozjom talajok is általában alkalmasak akáctermesztésre. A mészlepedékes csernozjom talajon a szénsavas mész nagyobb mennyisége akadályozhatja az akác termesztését. A nátriumtelítettségű talajtípusok egyike sem alkalmas akáctermesztésre. (MAROSVÖLGYI ET AL., 2005., HALUPA ET RÉDEI, 1993.)

4.1.2.2. Akác energetikai faültetvény létesítését megelőző munkálatok

4.1.2.2.1. Termőhely-vizsgálat

A termőhely vizsgálat célja a faj illetve a fajta és az alkalmazandó termesztés technológia meghatározása. Helyszíni bejárás után termőhely-vizsgálat végzése, szükség esetén laboratóriumi vizsgálat, különös tekintettel az esetleges talajhiba megállapítására.

4.1.2.2.2. Terület-előkészítés

A megfelelő terület-előkészítés célja a terület alkalmassá tétele talaj-előkészítésre, (cserjék, bokrok, magaskóros növényzet eltávolítása, égetéssel, mechanikai megsemmisítéssel, szárzúzással. Erősen eltarackosodott Solidago-s, Calamagrostis-os területen teljes gyomirtás alkalmazásával)

4.1.2.2.3. Talaj-előkészítés

35-40 cm-es mélyszántás. Homoktalajon az ültetés előtt. Kötött talajon őszi ültetés esetén június, július hónapokban. Tavaszi ültetéskor szeptember vagy október hónapban. 50-70 cm-es mélyforgatást csak kivételes esetben, erősen elgyomosodott, felhagyott szántón, vagy parlagterületen indokolt végezni.

4.1.2.2.4. Ültetés

Sorjelölés (gépi vagy kézi sorhúzással); ültetési anyag szállítása, kezelése.; gyökér visszavágás (szükség szerint); csemetevermelés.

4.1.2.2.5. Szaporítóanyag

A különböző nemesített akác fajták termesztésével kapcsolatban csak kevés tapasztalattal és tény adattal rendelkezünk. Idáig az akác nemesítés célja elsősorban a jobb minőség és nem a nagyobb tömeg dendromassza előállítása volt. Ezért jelenleg a nemesített akác szaporítóanyagának nagyobb költsége miatt, az új fajták alkalmazását energetikai faültetvények létesítésénél nem javasoljuk.

Akác energetikai faültetvényhez kiválóan megfelelnek magtermő állományból (pl. Nyírségből) gyűjtött magról nevelt 1 éves csemetékből kiválogatott, legalább 100 cm-nél nagyobb válogatott csemeték. Méreten aluli, kicsi, gyenge csemetét nem szabad felhasználni.

4.1.2.2.7. Csemeteültetés

Géppel vagy kézzel. Jelenlegi technológiai fejlettség mellett a kisüzemi ültetvények telepítése csak kézzel, azonban a nagyüzemi faültetvényeket arra alkalmasa célgéppel lehetséges létesíteni.

4.1.2.2.8. Csemetekezelés, talajápolás

Az ültetést követő csemetekezelés (a beteg és az elszáradt részek levágása).

Talajápolás (kézi vagy gépi talajápolás az első évben kétszer, a második évben szükség esetén egyszer).

4.1.2.2.9. Az ültetvény letermelését követő kezelések

Vágástakarítás (talajművelést akadályozó anyagok eltávolítása); Talajlazítás, levegőztetés (történhet a sorközök tárcsázásával, esetleg szántásával, altalajlazítással; vegyszeres gyomirtás (csak indokolt esetben, az erősen elgyomosodott foltokban).

Az alkalmazandó ültetési hálózatot a termesztési cél, a termesztés időtartama és az ápoláshoz alkalmazandó gép típusának ismeretében kell meghatározni. Az 1,5 m-es sortávolságot elsősorban az un. háztáji gazdaságokban a kisterületű 4-5 éves vágásfordulóban kezelt akác energetikai ültetvénynél célszerű alkalmazni. Ezekben a gazdaságokban, a kisebb sortávolságban is alkalmazható erőgépek nagyobb valószínűséggel rendelkezésre állnak. A jelenleg alkalmazott erőgépek esetében általában csak a 2,5-2,8 m közötti, vagy ennél nagyobb sortávolság ajánlott. (RÉDEI, 1983., RÉDEI, 1997.)

A javasoltnál sűrűbb ültetési hálózat alkalmazása nem indokolt, mert a hálózati kísérletek adatai szerint az első kitermelés után a sarj állományban a törzsszám kiegyenlítődik. Az akác energetikai faültetvény létesítéséhez gazdasági okok miatt a 0,70 m-es tőtávolságnál kisebb ültetési távolság alkalmazása nem célszerű. Az ültetett akác energetikai faültetvény első kitermelése után az első sarj faállomány dendromassza tömege 4 éves korban elérheti a kétszeresét, de a háromszorosát is az eredeti ültetett állományénak. (MAROSVÖLGYI ET AL., 2005., RÉDEI, 2003. IN FÜHRER ET AL. 2003.)

Az alkalmazandó vágásforduló legkedvezőbb időpontját több tényező együttes figyelembevételével határozzuk meg. Ezek közül a fontosabbak: a termőhely, és az általa meghatározott átlagos mellmagassági átmérő nagysága és az átlagos famagasság értéke. Az ültetési hálózat nagysága. A kitermelés módja, és az alkalmazott gép típusa. Minél nagyobb a hektáronkénti törzsszám és minél kisebb a növétér, annál rövidebb ideig tartható fenn az energetikai faültetvény, annál kisebb a legkedvezőbb vágásforduló értéke, annál rövidebb a vágásérettségi kor. (HALUPA ET RÉDEI, 1993.)

A speciális arató-aprító gépekkel csak a vékonyabb (8-10 cm vastag) anyagot tudják betakarítani. A meghatározó kritikus méreteket jobb termőhelyen rövidebb idő alatt elérik, ezért jobb termőhelyen a vágásérettség ideje rövidebb, mint gyengébb termőhelyen. (MAROSVÖLGYI ET AL., 2005., RÉDEI, 2003. IN FÜHRER ET AL. 2003.)

4.1.3. A minirotaációs nemesnyár energetikai faültetvények

Az akácokon kívül az energetikai faültetvények egyik legfontosabb fajtája a nemesnyár. A nemesnyár fajtakísérletek tapasztalatai szerint energetikai faültetvény létesítéséhez nagyon gondosan meg kell választani az alkalmazandó fajtát.

Egy adott termőhelyen a legjobb növekedésű nyárfajta dendromassza termése két-háromszorosa is lehet a termőhelynek és a termesztési célnak nem megfelelő fajta fatermesztéséhez viszonyítva. Különösen fontos, hogy a nemesnyár energetikai faültetvényt legalább közepes fatermő képességű termőhelyre ültessék, ahol a termesztési időszakban az évenkénti térfogat növekedék legalább 10 m³, vagy annál nagyobb.

Az egyes fajták között nem csak növekedésben, de a fa térfogati sűrűségében is nagy eltérések lehetnek. Az 'Agathe F' nyárfajta abszolút száraz térfogati sűrűsége köbméterenként átlagosan 420 kg. A 'Pannónia' nyaré 410 kg, a 'BL Constanzo' nyaré 400 kg, a 'Blanc du Poitoué' 370 kg (HALUPÁNÉ, 1983. in MAROSVÖLGYI ET AL. 2005.)

A fajta megválasztásakor figyelembe kell venni a növekedés mellett a sarjadó-képességet is, mint fontos tulajdonságot.

A rendszeres tőre vágáskor a sarjadó-képesség befolyásolja azt, hogy a fák törzsének letermelése után hány és milyen növekedésű sarj képződik, és milyen azok egészségi állapota. Ezen kívül nagyon jelentős, hogy milyen a fajta ellenálló képessége a rozsdagombával szemben.

Az eddigi vizsgálatok szerint a nemesnyár energetikai faültetvények létesítésére a legalkalmasabbnak bizonyultak a 'Koltay', a 'Pannónia', az 'Agathe F', a 'Raspalje' és a 'Beaupre', (valamint az újonnan kipróbált – jelen kutatás eredményeképpen – az 'AF2', 'Monviso', 'AF6' nyár fajták). Az egyes nemesnyár fajták termőhely türesében és a növekedésük menetében még akkor is lehetnek eltérések, ha ezek a tulajdonságok látszólag azonosak.

4.1.3.1. A nemesnyár fajták termőhely-igénye

A nemesnyárak termesztésében a helyi, konkrét hidrológiai adottságok jellege általában döntő jelentőségű. A többletvízhatástól független hidrológiai állapot már önmagában általában kedvezőtlen és elégtelen a nemesnyárak termesztéséhez. A vízellátást azonban javíthatják esetenként a felszín alatt oldalirányban tovaszivárgó vizek.

Kedvező vízgazdálkodási tulajdonságai folytán alkalmasak lehetnek a mélyen humuszos mély, igen-mély termőrétegű vályog, homokos vályog, csernozjom, réti csernozjom talajú többletvízhatástól független termőhelyek is, ha az őszi-téli feltöltődés időszakában befogadják és tárolják a csapadékot, esetleg oldalirányból is további többletvízhez jutnak. Az ilyen termőhelyeken ültetvényszerű nyárfatermesztésre csak a termőhelyi és a környezeti adottságok kedvező együtthatása esetén szabad berendezkedni. Az ilyen termőhelyen az eredményes nemesnyár fatermesztés elengedhetetlen feltétele a talaj vízbefogadó, vízvezető és víztároló képességét, azaz a vízgazdálkodását javító megfelelő talaj-előkészítés, a rendszeres talajápolás és a vízfogyasztó gyomkonkurencia

visszaszorítása. A belvíz következményeként változó termőhelyek kiváló nemesnyár-termesztési területek lehetnek, ha az egyéb termőhelyi feltételek is kedvezőek.

Az állandó vízhatású termőhelyek a nyárok vízszükségletét általában zavartalanul kielégítik. Ha az egyéb termőhelyi feltételek is megfelelőek, akkor leginkább kedvező nyárfa-termőhelyek lehetnek. (HALUPA ET SIMON, 1985.)

A felszínig nedves hidrológiai adottságú termőhelyek eredeti állapotban, meliorációs beavatkozás nélkül nyárfatermesztésre nem alkalmasak. (MAROSVÖLGYI ET AL., 2005.)

Valamennyi nemesnyár fajta nagyon igényes a talajra. A fizikai talajféleség és talajszerkezet egybevetésével következtetni lehet a talaj szellőzési viszonyaira, vízbefogadó, (kapilláris vízemelő) képességére, a tárolható és a felvehető (hasznos) vízre, de még a talajélet feltételeire is.

Előnyös az olyan fizikai féleségű és humuszállapotú termőréteg, amelynek egyidejűleg jó a vízbefogadó és a vízvisszatartó képessége, valamint a növényzet számára érvényesülő vízleadó képessége is. Ez az ún. hasznosítható vízkészlet függ a termőréteg mélységétől, a talaj pólustérfogatától, a talaj humusztartalmától és a humusz minőségétől. A humuszos rétegek a nemesnyárok termesztési lehetőségeit illetően általában termőréteget jelentenek.

Mégis elveszti előnyös megítélését, ha homoki termőhelyen 50-60 cm humuszos felszíni réteg alatt 60-70 cm, vagy ennél vastagabb száraz durva homok réteg van, mert az a drénhatás miatt kiszárítja a felette levő humuszos réteget is. (HALUPA ET RÉDEI, 1993.)

Viszont kedvező lehetőséget teremthet a nemesnyárok termesztéséhez, ha homokos vályog, agyagos vályog, pl. réti csernozjom talajon 80-100 cm vastag humuszos réteg van, mert ennek jó víztároló és vízleadó képessége még többletvízhatástól független hidrológiai helyzetben is előnyös.

Az erdőssztyepp klímában a szikesség kizárja az ültetvényszerű nyárfa-termesztést. Továbbá alkalmatlanok a nemesnyár termesztésre a rossz vízgazdálkodású és szellőzetlen kötött talajok. (MAROSVÖLGYI ET AL., 2005., RÉDEI, 2003. IN FÜHRER ET AL. 2003.)

A nemesnyárok termesztésénél alkalmazott termőréteg-vastagság kategóriák: igen mély termőréteg (IME): legalább 140-150 cm, mély termőréteg (ME): legalább 120 cm, közép-mély termőréteg (KME): legalább 80-90 cm, sekély-közepes termőréteg (SEK): legalább 60-70 cm, sekély-közepes termőréteg vastagság már határ-termőhelyet jelent.

I. a) nyárfatermesztési termőhelycsoport:

Optimális nyár termőhelyek

- Mély vagy igen mély termőréteg,
- Időszakos vagy állandó vízhatású üde-félnedves vízgazdálkodási fok,
- Humuszos homok, vályog, gyengén agyagos vályog talaj,
- Kivételesen egyes igen mély termőrétegű, vastag (80-100 cm mély) humusztartalmú vályogtalaj, többletvízhatástól független termőhelyek is ide tartozhatnak.

I. b) nyárfatermesztési termőhelycsoport

- Középmély termőréteg, a mélyhez közelítő, legalább 90-100 cm mélységű átmeneti sávján,
- Időszakos vagy állandó vízhatás, üde-félnedves vízgazdálkodási fok,
- Humuszos homok, vályog vagy gyengén agyagos vályog talaj,
- Rövid termesztési időtartamú nyárasokat lehet rá tervezni.

II. a) nyárfatermesztési termőhelycsoport

- Mély termőrétegű, (de szárazabb félszáraz-üde) nyár termőhelyek. Ezt a kedvezőtlenebb (többletvízhatástól független, és a változó vízgazdálkodású) hidrológiai állapot, vagy a 10-15 % körüli szénsavas-mész tartalom jelenléte okozza.

II. b) nyárfatermesztési termőhelycsoport

- Közepes termőréteg mélység,
- Félszáraz-száraz vízgazdálkodási fok,
- Humuszos homok, vályogos homoktalaj,
Vagy
- Időszakos vízhatású hidrológiai adottság, 10-15 %-os szénsavas mésztartalom mellett,
- Rövid termesztési időtartam mellett.

III. a) nyárfatermesztési termőhelycsoport

- Mély termőréteg,
- Időszakos, állandó vagy változó hidrológiai adottság mellett, üde- félnedves vízgazdálkodási fokú,
- Esetenként túlnedvesedő (tenyészedő időszakon kívül 3-4 hétig, tenyészedő időszakon belül 2-3 hétig akár felszínig nedves, belvízborításos is lehet.

III. b) nyárfatermesztési termőhelycsoport

- Közepes, sekély-közepes termőrétegű.
- Időszakos, állandó vízhatású, esetleg változó vízgazdálkodási fokú félszáraz-nedves vízgazdálkodású.

A felszínhez közel elhelyezkedő víztorlasztó rétegek hatására a felszín könnyen és gyakran túlnedvesedő, vagy hosszasan belvízborított, többnyire már határ-termőhelyek. A határ-termőhelyen az ültetvényeszerű nyárfatermesztés nem javasolt. (HALUPA ET SIMON, 1985., HALUPA, 1982., HALUPA, 1998., RÉDEI, 2003. IN FÜHRER ET AL. 2003., TÓTH, 2003. IN FÜHRER ET AL. 2003., MAROSVÖLGYI ET AL., 2005.)

4.1.3.2. A nemesnyárra vonatkozó termesztés-technológiai műveletek áttekintése

A nemesnyár energetikai ültetvények létesítésénél nagyon fontos a jó talaj-előkészítés. A jó minőségű talaj-előkészítés alapfeltétele annak, hogy az ültetés utáni 2-3 évig tartó jó minőségű talajápolással meg lehessen gátolni az erőteljes elgyomosodást.

A gyomirtásnak, a talaj tisztán tartásának különösen nagy a fontossága a kitermelés után. Nagyon fontos a magas kóros gyomnövények (mint a vaddohány, az aranyvessző, stb.) eltávolítása, mert ezek jelentősen gátolják a sarjhajtások megjelenését, növekedését. Foltokban ez a gátló hatás olyan erős is lehet, hogy ki is pusztíthatja a nyárat. (HALUPA ET SIMON, 1985.)

A gyomosodás megelőzése érdekében, különösen az elgazosodott parlag területeken célszerű és ajánlatos a szántás előtt totális vegyszeres gyomirtást végezni. Ma már rendelkezünk olyan vegyszerekkel és technológiával, amivel a kitermelés után hirtelen fellépő gyomosodást is meg lehet akadályozni.

A nemesnyárasok létesítése történhet simadugványozással is. A simadugványozással végzett telepítés előtt szintén nélkülözhetetlen a vegyszeres gyomirtás, a terület elgyomosodásának megakadályozása érdekében még a nyár dugvány kihajtása előtt. (MAROSVÖLGYI ET AL., 2005.)

4.1.4. Fűz energetikai faültetvények

A meglévő kísérletek és a hazai termesztési tapasztalatok szerint fűz energetikai faültetvényt csak felszínig nedves hidrológiai adottságú termőhelyen és a hullámterek mély fekvésű területein szabad létesíteni, ahol már nemesnyár nem termesztendő. A nemesnyár termesztésére alkalmas termőhelyen a nemesnyár fatermése minden esetben lényegesen nagyobb, mint a fűzé, ezért ilyen termőhelyre semmilyen tekintetben nem ajánlott fűzet ültetni. (HALUPA, 1998.)

A hullámtérben partvédelemre alkalmas termelési célú ültetvényben célszerű fűzet termeszteni, elsősorban ott, ahol a hozam eléri hektáronként, évenként a 20 tonna abszolút száraz faanyagot. Jelenleg hazánkban nagyobb, összefüggő fűz termesztésre alkalmas terület nem igen található a hullámtéren kívül. Az itt-ott előforduló kisebb, általában néhány tized hektáros fűz termőhelyek, foltok, a nemesnyár termőhelyek között található. Amennyiben ezekre a területekre energetikai faültetvényt telepítenének, akkor a fűzre is a nemesnyárnál megadott termesztési technológia alkalmazása javasolt. (MAROSVÖLGYI ET AL., 2005.)

4.1.5. 'Pusztaszil' energetikai faültetvények

'Pusztaszil'-ből eddig csak egy hálózati kísérlet létesült, ami még kevés értékelhető eredményt adott. Az eddigi tapasztalatok szerint a pusztaszil alkalmazása egyes termőhelyeken lehetővé teszi az akác felváltását, mert jó fatulajdonságai mellett a betakarítása is könnyebb, mint az akácnak.

A 'Pusztaszil' hazai termesztésével kapcsolatos eddigi tapasztalatok szerint a mélyben sós, a sztyeppesedő réti talajokon esetleg már szikes termőhelyeken is, még megfelelő fatermést ad, azokon a termőhelyeken, ahol az ezüsthéj (Eleagnus angustifolia) kívül más fafajjal eredményes fatermesztés nem folytatható. (RÉDEI, 2003. IN FÜHRER ET AL. 2003.)

A 'Pusztaszil' tuskón nagyon nagy tömegű (esetenként 100 db) 1 éves sarjhajtás keletkezett. Mivel korán fakad és a nedvkeringése a többi fafajhoz, például az akáchoz képest korábban indul, a fakitermelést már február végéig el kell végezni. Ellenkező esetben a tuskón nagyon erőteljes nedvszivárgás lesz. A szivárgó nedvben élő alacsonyrendű élőlényekből vastag barna lepedék képződik, ami nagyon igénybe veszi a fa vitalitását.

A 'Pusztaszil'-t is az akáchoz hasonlóan kis területen (háztájiban) 1,5 x 1,0 m-es vagy 1,5 x 0,5 m-es ültetési hálózatban célszerű ültetni, elsősorban ott, ahol az ápoláshoz szükséges gép rendelkezésre áll. Széles körben, nagy területen a pusztaszil is a 2,5 –2,8 x 1,0 m-es ültetési hálózatban célszerű ültetni. A 'Pusztaszil' termesztését az akáchoz hasonlóan kell végezni. Ezért az akácra megadott termesztési technológiát célszerű alkalmazni. (MAROSVÖLGYI ET AL., 2005.)

4.2. A minirootációs energetikai faültetvényekkel kapcsolatos kutatások

4.2.1. A minirootációs energetikai faültetvények állomány tulajdonságaival és növekedésével kapcsolatos kutatások ismertetése

A rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények növekedésével és hozamával kapcsolatos kutatásaimat 2000-től folyamatosan a Nyugat-Magyarországi Egyetem Energetikai Tanszék és a Parképítő Rt. kísérleti energetikai faültetvény állományaiban (nemesnyár, fűz, akác, bálványfa) végeztem Tatán (18 ha). Ezen kívül 2004-től folyamatosan a Pannonpower Rt. királyegyházai rövid vágásfordulójú energetikai (villamos energiatermelés) célú faültetvényén (nemesnyár, 45 ha), illetve 2005-től folyamatosan egy mátészalkai kísérleti fűz ültetvényen végeztem vizsgálatokat (13 ha).

A kutatás célja az volt, hogy elsősorban fajta- és telepítési hálózat kísérletekre alapozott kísérleti, félüzemi, valamint üzemi vizsgálatok céljára telepített parcellákon

- hozamvizsgálatokat végezzek az egyes fafajták és klónok éves dendromassza hozamának meghatározására,
- megállapítsam az egyes jó hozammal rendelkező klónok jellemzői közti összefüggéseket,
- kísérleteket folytassak a fontosabb fafajták tömeg meghatározásának leegyszerűsítésére,
- megeredési kísérleteket dolgozzak és értékeljek a különböző minirootációs energetikai faültetvényeken,
- hazánkban alkalmazható termesztés-technológiára javaslatot dolgozzak ki az egyes fafajok, fafajták, valamint klónok által alkotott minirootációs energetikai faültetvényeken,
- a faültetvények dendromasszájának hasznosításával kapcsolatos javaslatokat alakítsak ki,
- javaslatokat dolgozzak ki a kísérletek folytatására, illetve azok főbb irányaira.

A kísérleti faültetvények egy része a tatai Parképítő Rt. területén, az Energetikai Tanszék témavezetésével készültek, amelyek fajtakísérletek céljait szolgálták. Továbbá kísérleti, üzemi és félüzemi vizsgálatokat végeztem a Pannonpower Rt. területén, az újonnan kipróbált olasz nemesnyár klónok által létesített faültetvényeken, valamint egy mátészalkai mezőgazdasági kft. fűz ültetvényén.

A kísérletek alkalmával a következőket vizsgáltam és határoztam meg:

- a faméreteket és állományjelzőket,
- tömeget az egyes klónoknál,
- a betakarítás és a gazdaságosság szempontjából fontos hozamjellemzőket,
- a megeredési tényezőket, (amelyeket a kutatásaim során kialakított megeredési mártix segítségével végeztem),
- a betakarítás szempontjából fontos egyéb jellemzőket,
- a felhasználás szempontjából lényeges nedvességtartalom, fűtőérték és egyéb vizsgálatokat.

4.2.1.1. Mini (1-2 éves) vágásfordulójú nemesnyár energetikai faültetvények létesítésével kapcsolatos kutatások

A Pannonpower Rt. (PP Rt.) 2002-ben kezdte el a tárgyalásokat az egyes fosszilis energiahordozóval ellátott kazánjainak átalakításáról. A tárgyalások eredményeképpen

létrejött egy biomassza kazán kialakításának gondolata. A PP Rt. 2004. augusztusában elindította a biomassza tüzelésre átállított biomassza kazánjának próbaüzemét, majd üzemszerű megújuló energiahordozó bázisú (fa) energiatermelést hozott létre (teljesítmény: 49,9 MWe). A fluidágyas kazán alapanyagát, 380 000 tonna/év tűzifát a környékbeli erdőgazdálkodási egységek szállítják be (Sefag Rt., Mefa Rt., magán-erdőgazdálkodók). Mindemellett a PP Rt. szeretné a biomassza-bázisú kazánjának alapanyagát energetikai faültetvényekből származó faanyaggal ellátni. Ugyanakkor a PP Rt. tervezi, hogy bővíti a megújuló energiaforrás hasznosításának körét, ezért további biomassza-bázisú kazánokat tervez kialakítani (Teljesítmény: kb. 30+50-60 MWe), amelyeknek alapanyagát energetikai faültetvényekből, illetve egyéb mezőgazdasági melléktermékekből és energianövényekből kíván fedezni.

A PP Rt. ezért Olaszországból származó szaporítóanyaggal, különböző nemesnyár dugványokkal 45 hektáros kísérleti, üzemi és nagyüzemi energetikai faültetvényt hozott létre a NYME Energetikai Tanszék vezetésével, Királyegyháza község határában, 2005. májusában. A kutatások és kísérletek beállítása a jelen kutatómunka eredményeképpen jött létre. A kutatás talajvizsgálattal kezdődött, amelynek laboratóriumi vizsgálatait és eredményeit a mellékletben helyeztem el.

4.2.1.1.1. A kísérleti, az üzemi és a nagyüzemi energetikai faültetvények kialakítása, telepítési rendszere

Az eddigi rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvény kísérleti eredmények és a kutatások alapján, az új olasz klónok és a régebbi klónok hozamának összehasonlítására, a fajtateszt kísérleteket a következőképpen alakítottam ki:

- 4 db ún. régi, Magyarországról származó nemesnyár klón (Tatai Parképítő Rt. anyateleperől.): 'Koltay', 'BL-Constanzo', 'Beaupré', 'Raspalje',
- valamint 6 db ún. új olasz klón (Olaszországból, Alasia Ltd.): 'AF2', 'Monviso', 'AF1', 'AF6', 'Villafranca', 'Pegaso'. (A különböző nemesnyár klónok fajcsoport szerinti besorolását a 4.1. sz. táblázat tartalmazza a mellékletben.)

A kísérleti terület 5 részből áll (A kísérleti faültetvény térképe 4.1. sz. mellékletben található.). Az F1 és az F2 parcellákon 'Monviso' klónt telepítettek, amely nagyüzemi energetikai faültetvény területnek tekinthető (18,57, 16,45 ha). Magyarországon ekkora területen még nem hoztak létre nagyüzemi kísérletre rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvényt. A két parcellán a vágásforduló 1 év, amelyet ikersorokban telepítettek. Az ikersorok között a távolság 2,8 m, az ikersorokban a két sor közötti távolság 0,75 m, a tőtávolság pedig 0,4-0,5 m. Ez alapján a telepítési tőszám kb. 11-12.000 db/ha.

Az F4 és az F5 parcellákon ún. biennale (kétéves vágásfordulójú) ültetvényt hoztak létre. A területen 5 sor 'Monviso' található, amelyet 'AF2' klónnal telepített terület követ. A kétéves vágásforduló miatt a sor és tőtávolság változik: a tőtáv 0,5 m, a sortáv 2,8 m (vagyis nem ikersoros a telepítési technológia), ezért a telepítési tőszám kb. 7000 db/ha. A terület üzemi kísérletnek nevezhető (5,4 ha).

Az F3 parcella a kísérleti parcella, ahol fajtateszt, tőtáv teszt, illetve a maradék területen ikersoros 'Monviso' található. A fajtateszt 6 db ún. új Olaszországból származó ('Monviso', 'AF1', 'AF2', 'AF6', 'Pegaso', 'Villafranca') és 4 db ún. régi Magyarországról származó ('Koltay', 'Beaupré', 'BL', 'Raspalje') klón egyidejű és egy területen történő vizsgálatát jelenti. A tőtáv teszt viszont csak egyetlen klónt tartalmaz, ahol az AF2 klónt 50 és 70 cm-es tőtávolsággal telepítették. A parcella területe 4,29 ha. A

kísérleti faültetvény (fajtateszt) teljesen szisztematikus elrendezésű. (Az elrendezés 4.2. sz. melléklet.)

4.2.1.1.2. Az olasz mini vágásfordulójú energetikai faültetvény (OMVEF) termesztés-technológiája

4.2.1.1.2.1. Egyéves és kétéves vágásfordulóval tervezett ORVEF technológia jellemzése, a kísérleti területen elvégzett munkálatok

1) Talaj- és terület-előkészítés

30 cm mélységig szükséges a szántást elvégezni. Agyagos, kötöttebb talaj esetén, a szántást ősszel, homokos talaj esetén tavasszal ajánlott elvégezni, mert így csökkenthető a gyomnövények elszaporodása. A talaj gondos előkészítése egy-két nappal előzze meg a dugványok elültetését: az ágyásokat 10 cm mélységben kell előkészíteni. A gondos talaj-előkészítés nagyon fontos tényező az állományok megeredési és a növekedési tulajdonságaiban. A kísérleti terület több tíz éven keresztül gyepterület művelési ágba tartozott, a terület a nemesnyár telepítést megelőző évben került feltörsésre (kukorica volt egy évig a területen). Sajnos nem mindenhol sikerült a talaj- és terület-előkészítést a leírt módon elvégezni. Az F3 parcella déli részén, ahol a Monviso került ikersorosan telepítésre, a nem megfelelő terület előkészítés miatt, az állomány nehezebben eredt meg, illetve alacsonyabb volt a megeredési tényező. A többi területen azonban kielégítőnek nevezhető a talaj- és terület-előkészítés. (4.3. sz. melléklet: Termőhely vizsgálat a királyegyházai faültetvény területen.)

2) Dugványok tárolása, ültetési időszak, telepítés

A dugványokat hűtőkamrában kell tartani, ahol a hőmérséklet -2 és $+1^{\circ}\text{C}$ között alakul, a páratartalom pedig 90 %-os. Emellett vízhatlan fóliával is le kell takarni őket, mert a hűtőkamra ventilátorai által keltett légmozgás könnyen kiszárítja azokat. Amennyiben a dugványok nem a kamrában vannak, úgy kötelező azokat árnyékban, huzattól védett helyen elhelyezni, emellett naponta legalább egyszer megöntözni. A dugványokat soha nem szabad napon hagyni. Amennyiben a dugványok három napnál tovább a hűtőkamrán kívül kerülnek elhelyezésre, úgy azokat a beültetés előtt két-három napig vízbe kell meríteni. Az ültetéshez a legideálisabb időszak január közepétől április végéig tart. Ugyanakkor a dugványok lehető leggyorsabb növekedése, valamint a gyomnövények elszaporodásának csökkentése érdekében, a telepítést január közepétől március végéig ajánlott elvégezni, mert az ebben az időszakban elültetett dugványok az április-májusi időszakban telepített társaikhoz képest, már az első évben egy méterrel magasabbra nőnek. Sajnos különböző okok miatt a telepítést csak 2005. év májusának első két hetében lehetett elvégezni. A területen ekkor több helyen belvíz volt, illetve magas volt a talaj víztartalma, emiatt nem lehetett alkalmazni, az olasz technológiában alkalmazott ültető gépet. A dugványok telepítése így több száz munkaórában, kézi ültetéssel került kivitelezésre.

3) Növényvédelem – permetezés

Amennyiben a telepítés március hónapban befejeződik, a gyomnövények elszaporodásának megakadályozása érdekében még március vége előtt, a teljes területen gyomirtóval való (gyomkihajtást gátló szerekkel) kezelést kell végezni. Amennyiben a telepítés áprilistól történt, úgy a kezelést a dugványok elültetése után három napon belül el kell végezni. Az ajánlott szerek közül különösen hatékony a DUAL GOLD (1,2 l/ha dózisban) + RONSTAR (oxadiazon, 2-3 l/ha dózisban) keverék. Ezek helyett alkalmazható még a STOMP 330E (fő hatóanyaga a

pendimethalin) 2-3 l/ha dózisban, valamint a GOAL (fő hatóanyaga az oxifluorfen) 3 l/ha dózisban. A javasolt szerek a kétszikű gyomnövények ellen is hatásosak. Normál mezőgazdasági célú permetezőgép használata szükséges.

4) Betartandó távolságok

Mivel nem magas törzsű fajokról van szó, a terület határaitól, valamint az utaktól mindössze 3 méter távolságot kell hagyni. Amennyiben a terület felett 10 méternél alacsonyabban elektromos vezeték húzódik, úgy célszerű a kábel alatt 4 méter távolságban kiirtani a dugványokat. A sorok mindkét végén érdemes egy 8 méteres sávot kihagyni, ahol a munkagépek könnyen meg tudnak fordulni.

5) Mechanikai gyomirtás

Elengedhetetlenül fontos meggátolni, hogy a dugványok körül kinőjön a fű. Amennyiben az első négy hónap során a fejlődő növények nincsenek megvédve a gyomok ellen, a termelés veszélybe kerülhet. Amennyiben korábban sor került gyomkihajtás elleni szer alkalmazására, úgy annak hatása lejártá után, amikor a fű magassága még nem haladja meg a 4-6 cm-t, mindenképpen végig kell menni a sorok között egy speciális fejjel ellátott tárcsával (a cukorrépa vagy a kukorica művelése során alkalmazott tárcsa is adaptálható a művelethez). A tárcsával a növények mellett néhány centiméterrel kell elhaladni, lehetőleg visszapúpozva a földet az ágyásokon, befedve a fűvet a földdel. A műveletet a gyomok mennyiségétől függően egy-két alkalommal kell elvégezni. A tárcsázást akkor is érdemes elvégezni, ha a terület nem gyomos, mivel a művelet során a göröngyök tömörítése segít megszüntetni az esetleg kialakult levegős üregeket. A területen 3-4-szer jött létre mechanikai gyomirtás, tárcsázással. Ennek eredményeképpen a gyomok elszaporodása és burjánzása bizonyos keretek közé volt szorítva, de augusztusban már több helyütt megfigyelhető volt 1-1,5 méter magas gyomállomány (*Artemisia vulgaris*, *Cirsium arvense*, és egyéb lágyszárúak).

6) Növényvédelem – permetezés a kihajtás után

Jelenleg nyárfákhoz szelektív gyomirtó szer csak az egyszikű növények ellen létezik. Optimális eredményt nyújt a GALLANT (fő hatóanyaga a haloxyfopethoxyethyl) vagy az AGIL (fő hatóanyaga a propaquizapof) 1-1, 2 l/ha dózisban. A kezelést a gyomok mennyiségétől függően egy vagy több alkalommal kell elvégezni. Egyéb szerek elkerülése javasolt, mert azok nyárfára gyakorolt hatásáról gyakorlati tapasztalatok még nem állnak rendelkezésre. A fenti gyomirtók az egyszikűek ellen hatnak. A kétszikű növények elleni védekezés mechanikus gépi úton történik. Az első évben augusztus-szeptemberig mindenképpen szükséges az ültetvény minél tisztábban tartása a gyomoktól. Ezen időszak után a nyárfa gyökerei már kifejlődtek, így a gyomok sokkal kisebb veszélyt jelentenek. Normál mezőgazdasági célú permetezőgép használata szükséges. A kísérleti, illetve a nagyüzemi és üzemi területeken permetezést végeztek 2005. június második hetében, PANTERA egyszikűek gyomirtására használt permetező szerrel, 2 liter/ha dózisban. A egyszikűek elleni védekezés annak ellenére létrejött, hogy a PANTERA nevezetű gyomirtó-szer hatását nem ismertük nemesnyár állományokban. A permetezést követően a második héten az állományok jelentős részében, a lombkorona felső részén a leveleken sárgás elszíneződés jött létre. A megfigyelések alapján megállapítható volt, hogy az F1, F2 illetve az F4, F5 területeken a permetszer hatása mérsékeltebb volt, mint az F3 kísérleti parcellán. Ezért az F3 parcellán a gyomirtást kézi kapálással végezték el.

A PANTERA gyomirtószer hatására nemcsak levél elszíneződés, hanem növekedési sokk is megfigyelhető volt. Az egyedek az auxin-gibberelin hormonok koncentrációjának változása miatt nem a csúcshajtásokat kezdték el növeszteni, hanem a sokk miatt, bekövetkezett túlélési stratégia részeként az oldalhajtások megerősödtek, így a növény elkezdett bokrosodni. Voltak olyan egyedek, amelyeken több mint 10-15 erős oldalhajtást lehetett megszámolni. A permetezőszer koncentráció szerencsére nem volt elég ahhoz, hogy az állomány egészét károsítsa. Egy hónapon belül (2005. július elejére) az állományokban lecsökkent az oldalhajtások növekedése, vagyis az auxin-gibberelin növekedési hormonok szintje a normálisra állt vissza, ismét elindult a csúcshajtások növekedése. Az oldalhajtások megmaradtak, de feltételezhető, hogy az állományok nagyobb részén valamilyen hozamcsökkenés alakult ki. Sajnos nem volt kontroll terület (ahol permetezés nem történt), ezért a hatások pontos elemzése, a hozamcsökkenés pontos kimutatása nem vizsgálható.

5) Szerves anyag utánpótlás

Az első év során a növények trágyázása nem szükséges.

A területeken a PP Rt. nem tervezett és nem tervez szerves anyag utánpótlást a kísérleti területeken.

6) Betakarítás

Az első év végén 6-10 élő nedves tonna/ha faanyag betakarítására lehet számítani, amennyiben a feltételek kedvezőek.

A betakarítási kísérletek a 2005. év telén kerültek elvégzésre, az Optigép Kft. Által kifejlesztett – a disszertáció 5.4.4. fejezetében bemutatott – járvaaprítóval. A hozameredmények az 5.4.2. fejezetben kerülnek tárgyalásra és elemzésre.

4.2.1.1.2.2. Kétéves vágásfordulóval tervezett technológia

A kétéves vágásfordulóú ültetvényeken ugyanazok a munkálatok történtek, mint az előző fejezetben leírt egyéves vágásfordulóú területeken. Azt azonban szükséges kihangsúlyozni, hogy az ültetési rendszer, illetve a második évtől a munkálatok és a betakarítás, nagymértékben különbözik az egyéves faültetvényekétől, amelyek a későbbiekben kerülnek tárgyalásra, a jövő évi munkálatok illetve vizsgálatok elvégzése után.

A betakarításra az egész tél folyamán sor kerülhet, novembertől április közepéig. Mivel a betakarítandó törzsek a kétéves ciklusú fák esetében vastagabbak, így erre a feladatra az Alasia Vivai meglévő gépeit megfelelően átalakította, mely feladat elvégzésében itt Magyarországon is segítséget nyújt. Ezenkívül az Optigép Kft. OGFA rendrevágó gépe is kipróbálásra kerül a következő években. Az első gép 7-50 cm-es darabolt faanyagot eredményez. Folyamatban van egy olyan gép kifejlesztése, amely 60 cm-es darabokat eredményez, melynek raktározása könnyebben megoldható. A magyar rendrevágó viszont rendre vágja az adott sorokat, amely rendre vágott faanyagot hosszú tűzifaként, vagy aprító gép, illetve kötegelő gép közbe iktatásával aprítékként vagy köteggként lehet beszállítani az erőműbe.

4.2.1.1.2.3. A faültetvények élettartama

A faültetvény élettartama 6-10 év. A ciklus végén mechanikus, gépi úton a gyökereket teljes mértékben szükséges eltávolítani a földből. Lehetőség van ezután a faültetvény újratelepítésére, vagy bármely más növénnyel is beültethető a terület. Amennyiben az

előírásoknak megfelelően kezelik az ültetvényt, úgy az előrelátható hozam éves szinten az első évben 6-10 tonna/ha, míg ez a második évre 40-50 tonnára / ha emelkedik. Ezt követően a hozam ezen a második éves szinten marad 5-6 évig, de ezek után fokozatosan csökken.

4.2.1.1.2.4. Várható hozamok

Egyéves betakarítási ciklusú ültetvények: az egyéves betakarítási ciklusú ültetvények első betakarítása általában a második év végén történik, mivel dugványról a növény lassabban fejlődik, mint az elvágott törzsről. Optimális körülmények között azonban lehetséges, hogy a növények már az első év végére olyan magasságot érnek el (3 méter felett), amelynél már ajánlott az első betakarítás, mivel amennyiben azzal a második év végéig várnak, a CLAAS betakarító gép nehézségekbe ütközik a betakarítás és az aprítás során (8 cm-t meghaladó törzsátmérő esetén). Amennyiben a fenti helyzet áll elő, és a növények magassága az első év végére meghaladja a 3 métert, úgy a várható termelés 8 tonna/ha nyersanyag lesz. A következő évben esedékes második betakarítás során ez az érték eléri a körülbelül 30 tonna/ha nyersanyagot. Amennyiben a telepítés utáni első év végére a növények magassága eléri a 4 métert, az első betakarítás során várható termelés körülbelül 10 tonna/ha nyersanyag lesz, a következő évben pedig eléri a 40 tonna/ha nyersanyagot. A fent leírt mennyiségek növekedhetnek is, mivel Olaszországban az éves termelés eléri az 50-60 tonna/ha nyersanyag mennyiséget.

Kétéves betakarítási ciklusú ültetvények: amennyiben a második év végére a növények magassága eléri a 6 métert, úgy a várható termelés körülbelül 25 tonna/ha lesz. A második év végére, ha a növények átlagos magassága eléri a 8 métert, úgy az első betakarítás során várható termelés körülbelül 50 tonna/ha lesz. Vágás után az apríték mennyisége sokkal nagyobb lesz, 60 és 100 tonna/ha között mozog minden második évben. Olaszországban, ideális körülmények között a termelt mennyiség ezen értékeket meghaladja.

4.2.1.2. Vizsgálatok, felmérések – eredmények – következtetések, alkalmazás

4.2.1.2.1. A 'Monviso' (Királyegyháza - F1, F2) nemesnyár klón vizsgálata

Az energetikai faültetvények töről sarjadó energiafát termelő ültetvények. Mivel a gazdaságos üzemeltetésnek alapvető feltétele a jó sarjadó-képesség, amelyet a betakarítás során alkalmazott technológia és a tövek egészségügyi állapota nagymértékben befolyásol, ezért szükséges a betakarítások előtt és után felmérni a tövek tulajdonságait, a tövek veszteségét és a tövesztések okát, illetve az egészségügyi állapotát.

Az F1 és az F2 parcellákon 20 illetve 17 mintaterületet jelöltem ki GPS készülékkel, mérőszalaggal, illetve vasrudakkal (4.1. sz. melléklet.). A mintaterületek számát a terület nagysága alapján határoztam meg (F1:18,56 ha, F2: 16,45 ha). Az észak-keleti sarok pontoktól kiindulva, egymástól eltolva jelöltük ki a vizsgálandó 10*10 méteres mintaterületeket. A mintaterületeket úgy alakítottuk, hogy a terület közepén egy ikersor legyen, így a telepítési sor- illetve tőtáv alapján egy mintaterületbe három ikersor illetve átlagosan 120 db tő esett. Összesen 37 db mintaterületen vizsgáltam a tövek megeredését és a tövesztési tényezőt. Az adott mintaparcellákra felvettem a megeredési mátrixot, amely alapján meghatározható az eredeti, a jelenlegi tőszám, illetve a hiányzó tövek száma, amely adatokból meghatározható az előbb említett megeredési és tövesztési mutató.

Ezen kívül minden mintaterületen 20 db tövet választottunk ki, megfelelő eljárással (meghatározott töveket), amelyeken átmérő és magasság méréseket végeztünk el. Ez alapján meghatározható erre az időszakra az adott klón magasság-átmérő függvénye. A

mérések során tolómérőt használtunk az átmérő mérésnél, és mérőszalagot a tövek magasságának vizsgálatánál.

Ahol lehetett a tövek károsodásának okát is lejegyeztük, de ez az esetek nagy részében nem volt megállapítható (85-95 %). Két helyen tapasztaltuk azt, hogy a csapadék miatt keletkezett belvíz miatt, nagy volt a tövesztési tényező, illetve egy helyen volt megfigyelhető, hogy a traktor okozta a tövesztési tényező növekedését. Külön felkérésre vizsgáltuk a gyomirtás hatásait az adott F1, F2 parcellákon, ahol minden egyes tőn mutatkoztak enyhe jelei a Pantera nevű gyomirtó szer hatásának.

Megállapítható, hogy a klón kiheverte ezeket a hatásokat, és a kezdeti bokrosodás után az egyik hajtás általában átvette a vezérhajtás szerepét. Azt azonban mindenképpen le kell szögezni, hogy más gyomirtási technikát, technológiát kell alkalmazni, mivel hozam veszteség mutatkozik a területen. Sajnos ezt a hozam veszteséget nem lehet pontosan megállapítani, mivel ahhoz kontroll területek kellettek volna. A vizsgálatba vont fafaj: nemesnyár ('Monviso' – Képmelléklet: 4.1. kép), parcella szám: F1, F2.

A terepi felmérés során felvett tőszám, átmérő, magasság és hajtásszám adatok MS Excel táblázatban kerültek kiértékelésre. A mérések során a kiértékelés és feldolgozás megkönnyítése érdekében megeredési mátrixokat állítottam fel. Meghatároztuk az átlagos hajtásszámot is, de ez nem mutatott nagy eltérést, hiszen szinte mindenhol egy hajtás található a 'Monviso' klón dugványain.

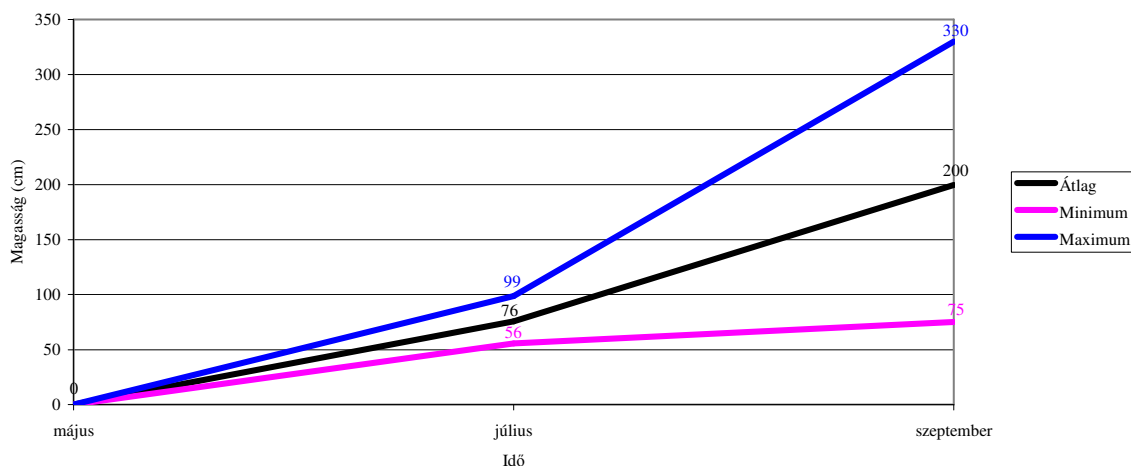
A mintaterületeken felvettük a klónok magassági és átmérő adatait is, amelyek a későbbi terepi felmérések és a hozam meghatározások során nagyon fontos alapadatokként szolgálnak. Ezek az adatok, akár a terület mozaikosságára is utalhat, de szignifikáns eltérés nem figyelhető meg az egy parcellán található mintaterületek átlagos adatai között. A 'Monviso' nemesnyár klón megeredési tényezője 90 % feletti, amely nagyon jónak mondható.

A két terület között nagy eltérés jelentkezik az átlagos magasság és átmérő adatok között. A két parcellán található tövek átlagos magassága között majdnem 15 cm különbség figyelhető meg, és az átmérő adatok között 10 százaléknál nagyobb a különbség. Mindez a két terület különbözőségének vagy az eltérő permetezési dózisnak tudható be. Ebben a stádiumban ezt egyértelműen azonban nem lehet megállapítani. A téli betakarítás után illetve további felmérések eredményeképpen nagyobb biztonsággal megállapítható, hogy miért találhatóak ilyen eltérő adatok. Gombafertőzés által létrehozott tövesztés nem volt megfigyelhető. Az F1 és az F2 parcellák mintaterületei közötti eltérések a 4.1-3. sz. diagramokban, valamint a 4.2. sz. táblázatban találhatóak.

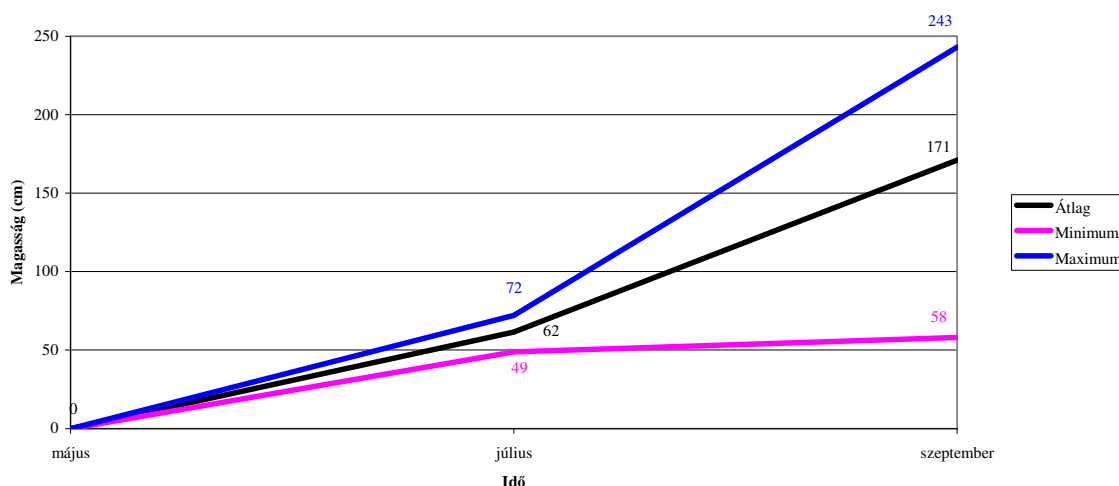
4.2 sz. táblázat: Az F1 és az F2 parcellák mintaterületei közötti eltérések (2005. július):

Parcella	F1	F2
Klón	'Monviso'	'Monviso'
Terület	18,57 ha	16,45 ha
Eredeti sortáv (m)	2,8	2,8
Eredeti tőtáv (cm)	0,5	0,5
Eredeti tőszám (db)	kb. 150000	kb.120000
1 ha-ra vonatkozó jellemzők		
Eredeti tőszám (db)	8000-9000	8000-9000
Jelenlegi tőszám (db)	7360-8280	7440-8370
Tőszámvesztés (db)	640-720	560-630
Tővesztési tényező (%)	8	7
Megeredési tényező (%)	92	93
Tövek jellemzése		
Átlagos hajtásszám (db)	1	1
Összes transzekt területe	2000 m ²	1700 m ²
Mintaterületek száma	20	17
Átlagos mintaterület (10*10 m) adatok		
Eredeti tőszám (db)	120	120
Jelenlegi tőszám (db)	37	37
Tőszámvesztés (db)	3	3
Tővesztési tényező (%)	7,9	7,1
Megeredési tényező (%)	92,1	92,9
Magasság (cm)	76	62
Átmérő (cm)	0,85	0,74

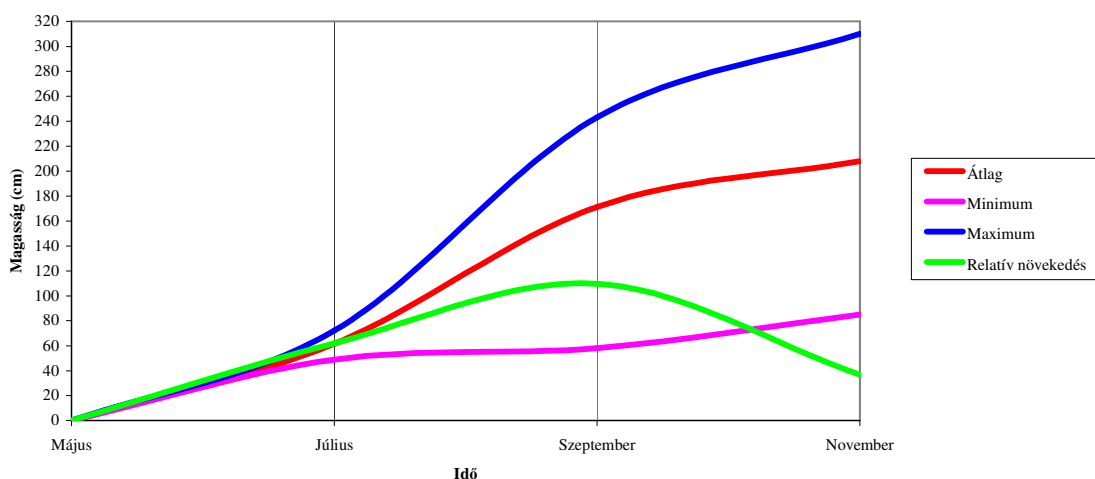
4.1.sz. diagram: Magasság az idő függvényében, F1-Monviso
(telepítés 2005. május)



4.2.sz. diagram: Magasság az idő függvényében, F2-Monviso
(telepítés 2005. május)



4.3.sz. diagram: A Monviso klón magassági növekedése 2005.



A további felmérések alapján megállapítható, hogy a magassági és az átmérő növekedés az F1, F2 parcellákban szignifikánsan eltérőek voltak. Szeptemberre az átmérő növekedés hasonló értékeket ért el mind a két parcellában, de az F1 parcella értékei még mindig szignifikánsan nagyobbak voltak, mint az F2 parcelláé. A magassági növekedésben azonban több, mint 15 %-os eltérés figyelhető meg a mintaterületek átlagában. (átlag magasság F1:200, F2:171 cm).

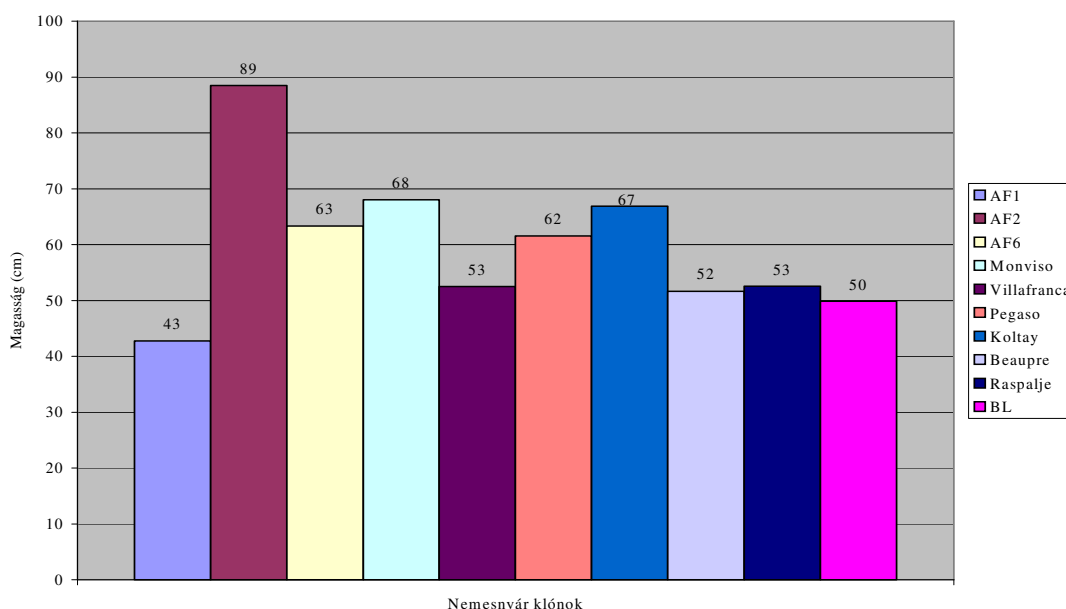
4.2.1.2.2. Fajtateszt, alanya olasz és magyar nemesnyár klónok (Királyegyháza – F3)

A Pannonpower Rt. a királyegyházai területén, az NYME Energetikai Tanszék témavezetésével, fajta tesztet hozott létre, ahol 'AF1', 'AF2', 'AF6', 'Monviso', 'Villafranca', 'Pegaso' ún. új olasz és ún. régi magyar 'Koltay', 'Beaupre', 'Raspalje', 'BL' magyar nemesnyár klónokat telepített. A kísérleti terület alapvetően két részből áll, az első részén találhatóak az olasz klónok, a másik részén a magyar klónok. Az olasz klónokat 5 sorba, 200 méteren keresztül felváltva, mindig az adott klónt az egymás melletti sorba telepítették. A magyar klónok ezek után következnek, a 'Koltay'-ból három sor található, a többiből pedig egy.

A fajtateszt kiértékeléséhez hasonlóan, a tőtáv teszthez megeredési és tövesztési tényezőt határoztunk meg, megeredési mátrix felvételével. Emellett a jobb elemzés érdekében szükséges volt magassági adatokat is megmérni, hogy a kapott adatok alapján meghatározható legyen a két tőtáv közötti különbség. A terepi felmérés során felvett tőszám, magasság és hajtásszám adatok, MS Excel táblázatban lettek kiértékelve. A mérések során a kiértékelés és feldolgozás megkönnyítése érdekében, megeredési mátrixokat állítottam fel. A különböző eredményeket a 4.3-4. sz. táblázatokban foglaltam össze a mellékletben.

Az elemzések alapján megfigyelhető volt, hogy a megeredési tényezője a 'Monviso' és az 'AF2' klónoknak volt a legnagyobb ('Monviso':85,9, 'AF2':90,2). Ezek után a sorrendben a 'Beaupré', a 'Koltay', a 'BL' és az 'AF6'-os klónok következtek, 74 és 80 % közötti értékekkel. Alacsony megeredési tényezővel rendelkezett az 'AF1' (48,9), illetve a 'Villafranca' (6,3) és a 'Pegaso' (26,8) olasz klónok megeredési tényezője még ennél is alacsonyabb eredményeket mutatott. (4.4. sz. diagram)

4.4. sz. diagram: Magasság az egyes nemesnyár klónoknál a vegetációs időszakban (2005. július)

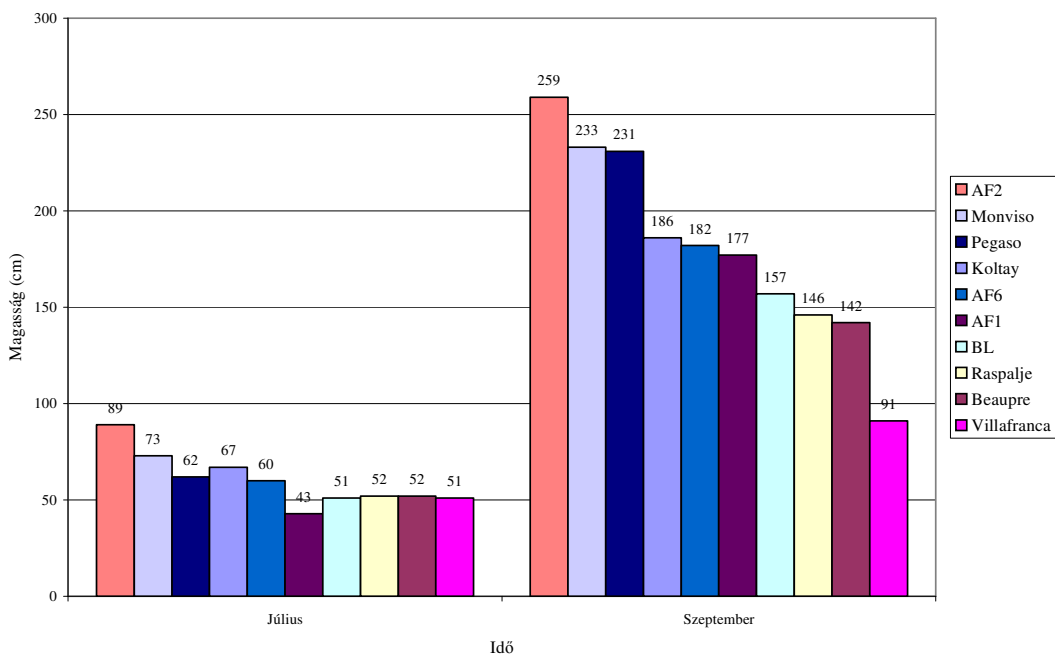


Megállapítható tehát, hogy egyes olasz klónok ('Monviso', 'AF2', 'AF6') jobb megeredési tényezővel rendelkeznek, mint a magyar klónok, de vannak olyan olasz nemesnyár fajták is, amelyek megeredési tényezője nagyon alacsony, ezért a 'Villafranca' és a 'Pegaso', illetve még az 'AF1'-es klón sem javasolható Magyarországi, hasonló termőhelyi telepítésre. Továbbá megvizsgáltam az egyes klónok magassági növekedését is. A következő diagramon láthatjuk, hogy a legerőteljesebb növekedéssel az 'AF2'-es nemesnyár klón rendelkezik, amely átlagos magassága 2005. júliusára elérte a 89 cm-t.

Mindemellett megfigyelhető, hogy a következő fajták átlagos magassága 20 cm-rel kisebb. Sorrendben 'Monviso', 'Koltay', 'AF6', 'Pegaso'. Az 50-60 cm alatti átlagos magassággal rendelkezők: 'Villafranca', 'Beaupre', 'Rascalje', 'BL'. Elég alacsony megeredési tényezővel rendelkező 'AF1'-es olasz nemesnyár klón rendelkezik a legkisebb átlagos magassággal: 43 cm.

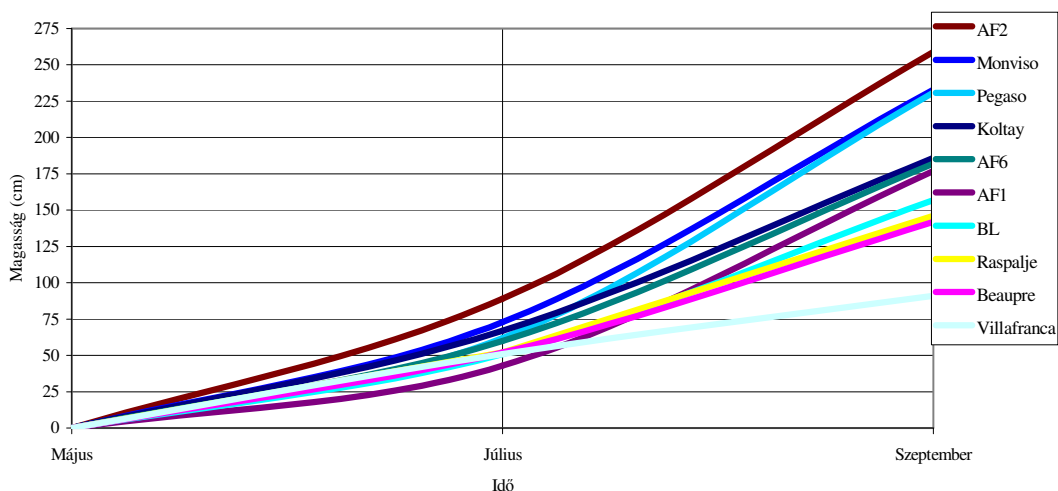
A további, szeptemberig terjedő vizsgálatok alapján megállapítható volt, hogy az 'AF2' klón rendelkezik a legjobb magassági növekedéssel, amely után a 'Monviso', a 'Pegaso' és a 'Koltay' következnek. Azonban nem szabad megfeledkezni arról, hogy a 'Pegaso' klón alacsony megeredési tényezővel rendelkezik, vagyis hiába mutat a vegetációs időszak második felében jobb relatív magassági növekedést, a magas tővesztés miatt nem alkalmazandó klón. (4.5. sz. diagram)

4.5. sz. diagram: Olasz és magyar nemesnyár klónok magassági növekedésének összehasonlítása I.



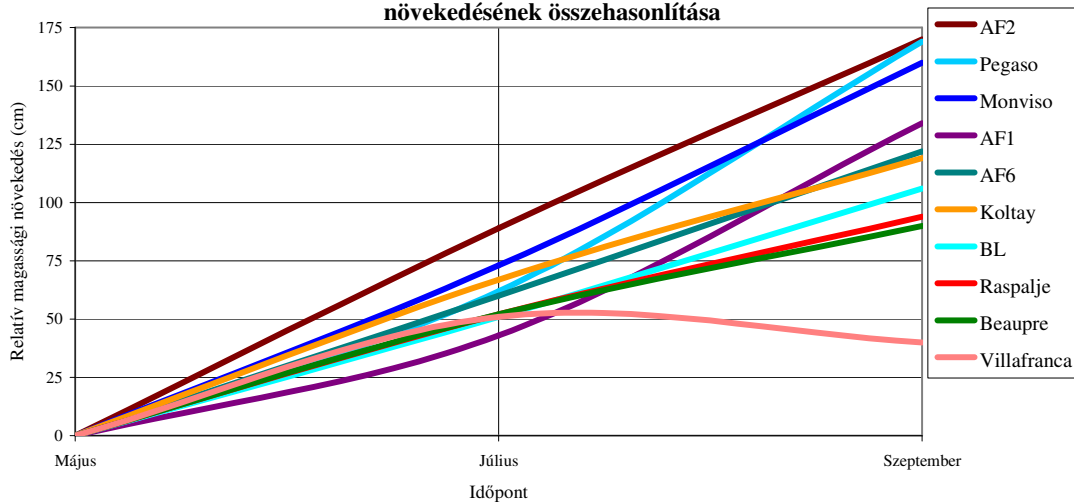
Mindegyik klón relatív magassági növekedése pozitív tendenciát mutatott, de a 'Villafranca' nemesnyár klónnál megfigyelhető volt, hogy a vegetációs időszak második felében elért magassági növekedése alacsonyabb, mint a vegetációs időszak első felében, és ezért alakult ki az, hogy a 'Villafranca' magassági növekedési görbéje csökken. (4.6-11. diagramok)

4.6. sz. diagram: Olasz és magyar nemesnyár klónok magassági növekedésének összehasonlítása II.



Mindemellett megfigyelhető, hogy a 'Pegaso' és az 'AF1' klón magassági növekedése a második periódusban erőteljesebb volt.

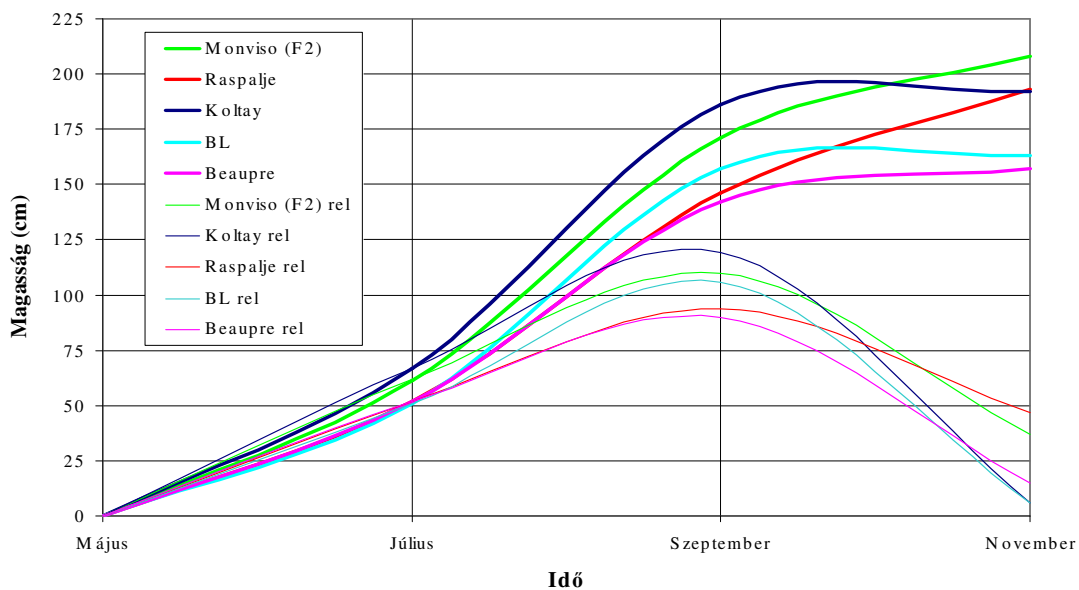
4.7. sz. diagram: Olasz és magyar nemesnyár klónok relatív magassági növekedésének összehasonlítása



Az 'AF2', 'Monviso', 'AF6', 'Koltay', 'BL', 'Raszalje', 'Beaupre' klónok magassági növekedési görbéje lineáris lefutású.

A júliusi, szeptemberi és novemberi vizsgálatok után megállapítható volt, hogy a sorrend a 4.8. sz. diagram szerint alakul – vizsgált paraméterek alapján – 'AF2', 'Monviso', 'AF6', 'Koltay', 'Beaupre', 'BL', 'Raszalje', 'AF1', 'Pegaso', 'Villafranca'.

4.8.sz. diagram: Magyar nemesnyár klónok és a Monviso abszolút és relatív magassági növekedésének összehasonlítása

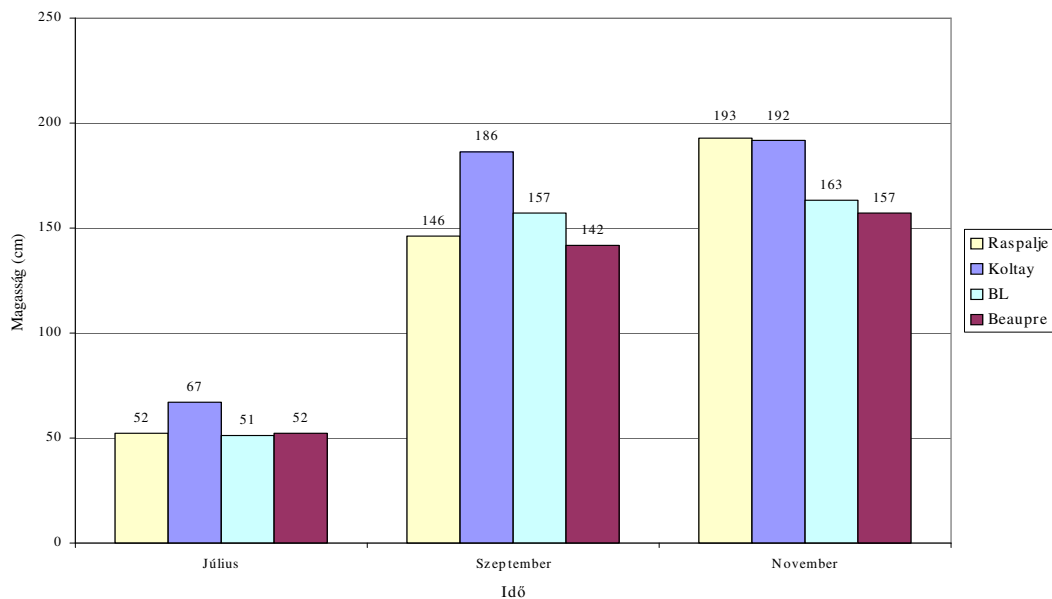


A komplex növekedési vizsgálatok után viszont a magassági növekedési sorrend megváltozott, de a megeredési tényező erősen befolyásolja az adott klónok alkalmazhatóságát.

Az igen mély termőréteggel rendelkező réti öntés talajokon, vízhatástól független termőhelyen (jelen esetben) a következő klónok ajánlhatók (sorrendben): **'AF2'**, **'Monviso'**, **'AF6'**, **'Koltay'**, **'Beaupre'**. A többi klón, az előbbi eredmények alapján nem javasolható. Ugyanakkor egyértelműen megállapítható, hogy az **'AF2'** és a **'Monviso'** klónok a vizsgált paraméterek alapján legalább 10-15 %-kal, szignifikánsan nagyobb hozamot produkálnak, mint a társaik.

Le kell viszont szögezni azt, hogy a betakarítási vizsgálatok azonban még befolyásolhatják az eredményeket.

4.9. sz. diagram: Magyar nemesnyár klónok magassági növekedésének összehasonlítása



Egyéb termőhelyen a megeredési tényező, a magassági és az átmérő növekedés függvényében egyéb fajok és klónok is alkalmasak lehetnek energetikai faültvények telepítésére és üzemeltetésére.

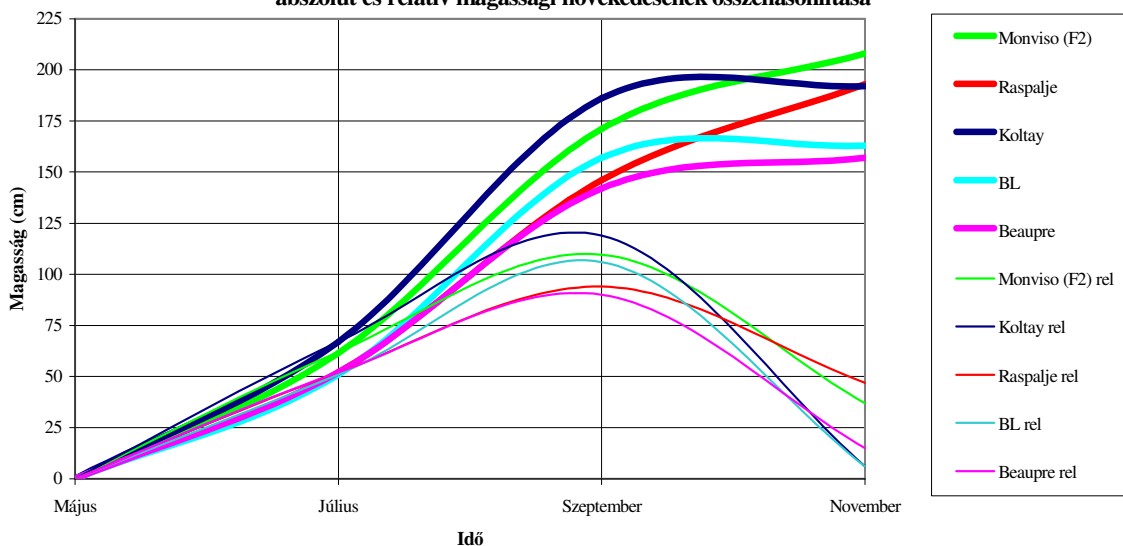
A későbbi, júliusi, szeptemberi és novemberi vizsgálatok után meghatározható volt, hogy a magyar klónok sorrendje időben változott, és a novemberi magassági adatok alapján következőképpen alakult: **'Raspalje'**, **'Koltay'**, **'BL'**, **'Beaupre'**, amely sorrendet a 4.10-11. sz. diagramok is egyértelműen mutatnak.

A komplex növekedési vizsgálatok után a magassági növekedési sorrend megváltozott, és a megeredési tényező erősen befolyásolja az adott klónok alkalmazhatóságát. A **'Raspalje'** klón erőteljes magassági növekedéssel rendelkezik a szeptembertől novemberig tartó időszakban, mely tulajdonság a **'Monviso'** klónra is hasonlóképpen igaz. Ezért a **'Raspalje'** klón a novemberi vizsgálatok szerint elérte, sőt megelőzte a **'Koltay'** klón magassági értékeit.

Az igen mély termőréteggel rendelkező réti öntés talajokon, vízhatástól független termőhelyen (jelen esetben) a következő magyar klónok ajánlhatók (sorrendben): **'Raspalje'**, **'Koltay'**, **'Beaupre'**. A többi klón, az előbbi eredmények alapján nem javasolható.

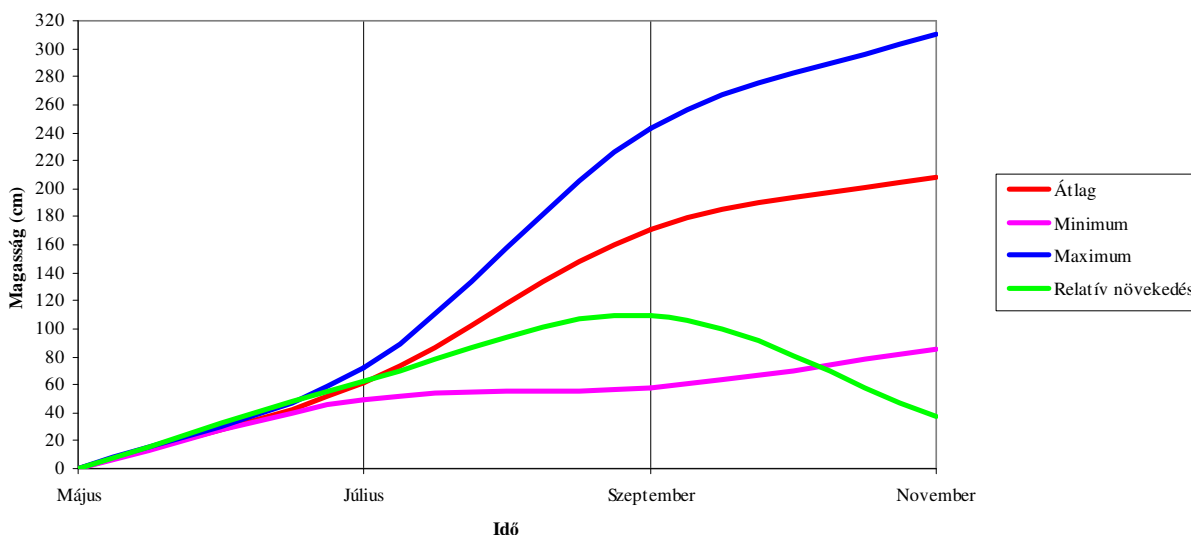
Megállapítható még, hogy a 'Monviso' területen elvégzett kutatások alapján, a 'Monviso' klón magassági növekedése nagyobb, mint a magyar klónoké.

4.10. sz. diagram: Magyar nemesnyár klónok és a Monviso abszolút és relatív magassági növekedésének összehasonlítása



További vizsgálatok szükségesek a fajták pontosabb kiválasztásához. A betakarítási vizsgálatok azonban még befolyásolhatják az eredményeket.

4.11. sz. diagram: A Monviso klón magassági növekedése 2005.



4.2.1.2.3. Tőtáv teszt, alanya 'AF2' (Királyegyháza – F3)

A PP Rt. királyegyházai területén, a NYME Energetikai Tanszék kutatásával tőtáv tesztet alakított ki, és az 'AF2' nemesnyár klónt választotta a kísérlet alanyának. (Képmelléklet: 4.2-4. képek.) A kísérletben az 'AF2'-es klónt három soron 50 és 70 cm-es tőtávval telepítették. A ikersorok távolsága 2,8 m volt. A két tőtáv összehasonlíthatósága érdekében megeredési és tövesztési tényezőt határoztunk meg, a megeredési mátrix felvételével.

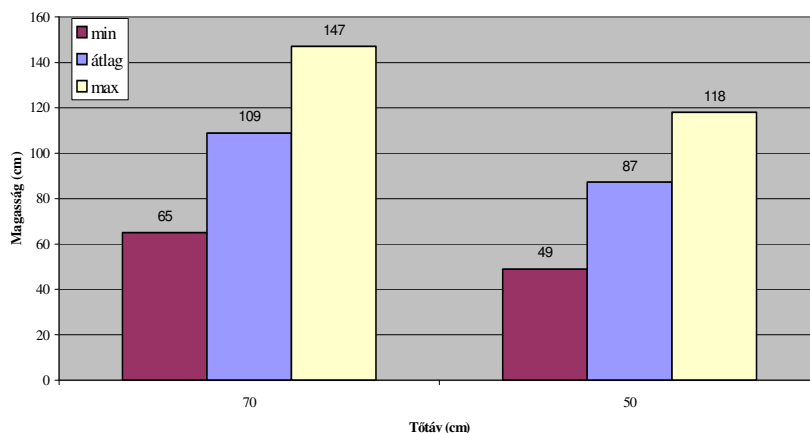
Emellett a jobb elemzés érdekében szükséges volt magassági adatokat is mérni, hogy a kapott adatok alapján meghatározható legyen a két tőtáv közötti különbség. Vizsgálatba vont fafaj: Nemesnyár ('AF2'), parcella szám: F3, sorszám: 3db.

A terepi felmérés során felvett tőszám, magasság és hajtásszám adatok MS Excel táblázatban lettek kiértékelve. A mérések során a kiértékelés és feldolgozás megkönnyítése érdekében megeredési mátrixokat állítottunk fel.

A két tőtávval telepített és üzemeltetett mintaterület között nincsen szignifikáns különbség, az azonban megállapítható, hogy a 70 cm-es tőtávval telepített állomány valamivel magasabb megeredési tényezővel rendelkezik, mint az 50 cm-rel telepített.

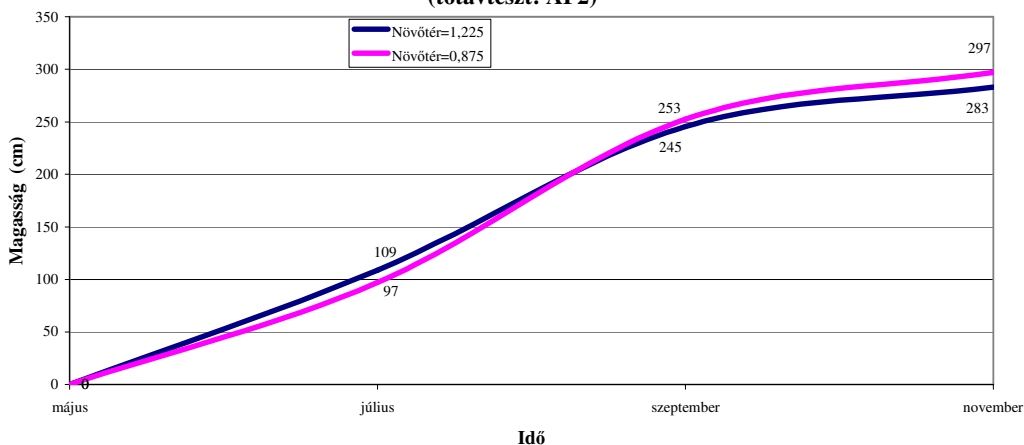
A magassági adatoknál viszont a következő eltérés figyelhető meg (4.12. sz. diagram):

4.12. sz. diagram: Magasság alakulása a tőtáv függvényében (alany:AF2)



Látható, hogy a júliusi eredmények alapján a 70 cm-es tőtáv sokkal magasabb állományból áll, mint az 50 cm-es, amely arra enged következtetni, hogy az 'AF2'-es klón 70 cm-es tőtávval eredményesebb, vagyis gazdaságosabban üzemeltethető. Emellett azt is megállapíthatjuk, hogy a két éves vágásfordulóval üzemeltetett 'AF2' klón azért produkált jobb eredményeket, mint a 'Monviso', mivel az 'AF2'-es klónnak nagyobb növőterre van szüksége. (4.13. sz. diagram)

4.13. sz. diagram: Magasság alakulása az idő és a növőter (m²) függvényében (tőtávteszt: AF2)



A további vizsgálatok eltérő eredményeket hoztak. A vegetációs időszak második felében, a magassági növekedés az 50 cm-es tőtávolsággal rendelkező részekben erőteljesebbé vált. Így az 'AF2' klón tőtáv tesztjénél megállapítható, hogy a vegetációs időszak első felében,

a nagyobb növőtérrel rendelkező (70 cm-es tőtáv) állományok, nagyobb magassági növekedést produkáltak, míg a vegetációs időszak második felében a kisebb növőtérrel rendelkező állományok eredményeztek magasabb növekedést.

A betakarítás előtti felmérések azonban igazolták, hogy rövid vágásforduló esetén (1-5 év) kisebb növőtérrel rendelkező állományokban erőteljesebb a magassági növekedés, mint a nagyobb növőterű állományokban.

4.2.1.2.4. 'Monviso', 'AF2' biennale (Királyegyháza – F4, F5) nemesnyár klón vizsgálata

A vegetációs időszakban vizsgáltam a két éves vágásfordulóval tervezett 'Monviso' és 'AF2' nemesnyár klónok tulajdonságait, elsősorban a megeredését. Az F4 és az F5 parcellákon (4.1. sz. melléklet.), 'Monviso' klónnál 2 illetve az 'AF2' klónnál 3 mintaterületet jelöltem ki. A vizsgálandó mintaparcellák 10*10 méteres voltak. A mintaterületeket úgy alakítottuk ki, hogy a terület közepén egy sor legyen, így a telepítési sor- illetve tőtáv alapján egy mintaterületbe három sor illetve átlagosan 120 db tő esett. Ebből következően 5 db mintaterületen vizsgáltuk a tövek megeredését illetve a tővesztési tényezőt. Az adott mintaterületekre felvettem a megeredési mátrixot, mely alapján meghatározható az eredeti, a jelenlegi tőszám, illetve a hiányzó tövek száma, amely adatokból meghatározható az előbb említett megeredési és tővesztési mutató.

Ezen kívül minden mintaterületen 20 db tövet jelöltem ki, amelyeken átmérő és magasság méréseket végeztem. Ahol lehetett a tövek károsodásának okát is lejegyeztük, de ez az esetek nagy részében nem volt megállapítható.

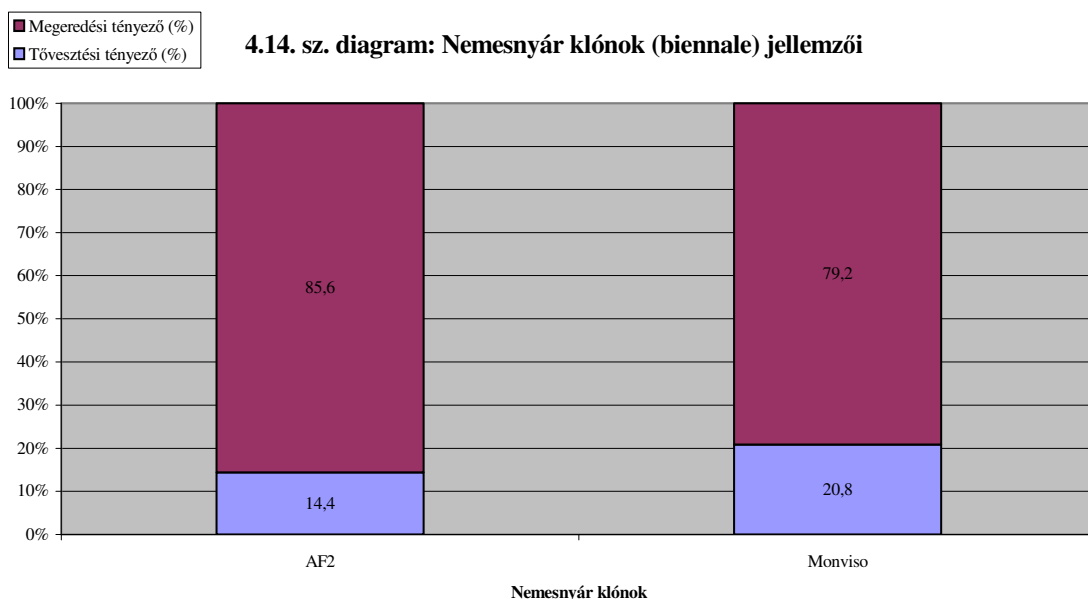
Vizsgálatba vont fajok: Nemesnyár ('Monviso'), parcella szám: F4, sorszám: 5. Nemesnyár ('AF2'), parcella szám: F4, F5, sorszám: 25. A terepi felmérés során felvett tőszám, átmérő, magasság és hajtásszám adatok MS Excel táblázatban kerültek kiértékelésre.

Az F4 parcellán a két klón között szignifikáns eltérések tapasztalhatók, amelyeket a következő táblázat mutat (4.5. sz. táblázat):

4.5. sz. táblázat: Nemesnyár klónok (biennale) mintaterületenkénti átlagos adatai	'AF2'	'Monviso'
Terület kód	F4 (, F5)	F4
Tőtáv (cm)	50	50
Sortáv (m)	3	3
Sorszám (db)	25	5
Eredeti tőszám (db)	60	60
Jelenlegi tőszám (db)	51	48
Tőszámvesztés (db)	9	13
Tővesztési tényező (%)	14,4	20,8
Megeredési tényező (%)	85,6	79,2
Átmérő (cm)	0,92	0,79
Magasság (cm)	65	74
Hajtásszám (db)	1	1

Az előző táblázatból leolvasható, hogy a 'Monviso' nemesnyár klónt vizsgálva, a vegetációs időszak 3. negyedében, a tövek átlagosan 79,2 %-ban maradtak meg a telepítési

tőszámhoz képest, amely megeredési tényező alacsonyabb, mint az F1 és F2 területeken található 1 éves vágásfordulóval tervezett állományokban található 92-93 %-os megeredési tényezőnél. (4.14. sz. diagram)



Ha a 2 kétéves vágásfordulójú állományt hasonlítjuk össze, akkor megfigyelhető, hogy az 'AF2' klón megeredési tényezője (85,6 %) nagyobb, mint a 'Monviso' klóné, ami arra enged következtetni, hogy az 'AF2' fajta jobban alkalmazható az úgynevezett biennale típusú faültetvény termesztés-technológiában.

A 'Monviso' klón magassági eredményei biztatóbbak, mint az 'AF2' klóné, mivel az átlagos magasság 9 cm-rel magasabb az 'AF2' esetében (július). Azonban ez nem jelent hozam többletet, hiszen az 'AF2' átlagos tőátmérője biennale állományban 10 %-15%-kal magasabb, mint az 'AF2' klóné. Ugyanakkor az is megállapítható, hogy a 'Monviso' klón magassági és átmérő értékei sokkal kisebb intervallumban (magasság: 34-101 cm, átmérő:0,5-1,1 cm) változnak, mint az 'AF2' klóné (magasság: 22-130 cm, átmérő:0,4-1,5 cm).

A szeptemberi vizsgálatok alapján megfigyelhető volt, hogy az 'AF2' klón relatív magassági növekedése magasabb a vegetációs időszakban, mint a 'Monviso' klóné. Mindemelllett az 'AF2' klón átmérő növekedése is magasabb, mint a 'Monviso'-é. Összegzésképpen megállapítható, hogy a vegetációs időszak első felében a 'Monviso' erőteljesebb magassági növekedéssel, de alacsonyabb átmérő növekedéssel rendelkezik, mint az 'AF2'. A vegetációs időszak második felében a relatív magassági növekedés is az 'AF2' klón javára dőlt el, így a megeredési tényező, az átmérő növekedés és a magassági növekedés esetében is jobbnak bizonyult az 'AF2' klón, kétéves vágásfordulójú állományban.

Tovább megállapítható volt, hogy a 'Monviso' klón inkább ikersoros állományokban alkalmazandó. Ezen megállapítás megerősítéséhez további mérések, vizsgálatok és elemzések szükségesek.

4.2.1.3. A minirotaációs (1 éves) vágásfordulójú nemesnyár energetikai faültetvényeken végzett kutatások összefoglalása

Az energetikai faültetvények egy éves vágásfordulóval való üzemeltetése egy új technológia a magyar erdőgazdálkodás és a mezőgazdálkodás számára. Ezért nagyon fontos a különböző, újonnan alkalmazott, jól sarjzatható klónok vizsgálata. Ebből a célból a Pannonpower Rt. Királyegyháza mellett 45 ha nemesnyár energetikai faültetvényt telepített, amely alkalmas nagyüzemi, üzemi és kísérleti üzemeltetésre.

A kutatás alapján a következők állapíthatók meg:

1. A felmérések alapján megállapítható, hogy a 2005. májusában telepített, F1 és F2 parcellákon található 'Monviso' nemesnyár klón 7-8 %-os tővesztési, vagyis 92-93 megeredési tényezővel rendelkezik.
2. A 'Monviso' klón magassága 2005. novemberében 72-338 cm között változott, amelynek átlaga 183-235 cm közötti értékeket vett fel.
3. Az F3 területen kialakított fajtateszt eredményei alapján megállapítható, hogy az 'AF2', a 'Monviso', az 'AF6', a 'Koltay', 'Beaupre' klónok jobb meredési tényezővel, illetve erőteljesebb átmérővel és magassággal rendelkeznek, mint a többi alkalmazott nemesnyár klón ('BL', 'Raspalje', 'Villafranca', 'Pegaso', 'AF1'). Az 'AF2' és a 'Monviso' klónok a vizsgált paraméterek eredményei alapján szignifikánsan kiemelkednek a többi klón közül.
4. A tőtáv tesztnek kialakított területen megállapítást nyert, hogy a vegetációs időszak első felében a 70 cm-es tőtáv erőteljesebb magassági növekedést mutatott, mint az 50 cm-es tőtáv. Összességében azonban a szeptemberben és novemberben mért magasságok egyértelműen kimutatták, hogy az 50 cm-es tőtávval nagyobb magassági növekedés érhető el. Ez alapján a vegetációs időszak második felében az 50 cm-es tőtávolságú állományok relatív magassági növekedése szignifikánsan nagyobb volt, mint a 70 cm-é.

4.2.2. Hozamvizsgálatok a különböző kutatóhelyeken, fafajokkal, fafajtákkal

4.2.2.1. Hozamvizsgálatok mini (1-5 éves) vágásfordulójú akác és nemesnyár energetikai faültetvényeken

A tatai rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvény állományokat a 1995-ben és 1996-ban telepítette a Soproni Egyetem (jelenleg Nyugat-Magyarországi Egyetem) és az ERTI, a Parképítő Rt. területén a Parképítő Rt. segítségével. A telepítést a 4.4. sz. melléklet alapján végezték.

Korábban 1995-től MAROSVÖLGYI, 1998., valamint MAROSVÖLGYI ET AL. 1999. végeztek kutatásokat a Parképítő Rt. területén létesült rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvény állományokban.

Megállapításaik szerint a rövid vágásfordulóban kezelt akác ültetvény nagyobb hozamokat produkált, mint azt korábban az erdőszeti kutatások szolgáltatták. A nemesnyár állományok közül a 'Pannónia' és a 'Beaupré', valamint a 'Koltay' klónokat emelték ki, mint igen jó hozamokat adó, rövid vágásfordulójú faültetvényekben üzemeltethető és alkalmazandó fafajták. (MAROSVÖLGYI ET AL. 1999)

Lehetőségem volt mini vágásfordulójú energetikai célú faültetvények állomány adatainak mérésére (átmérő-, magasság-, növétér-, tömegadatok), valamint megeredési kutatások

folytatására. Ezen adatokból határoztam meg a faültetvények által szolgáltatott teljesfa tömegét (kg/tő), az állományok hozamát, illetve a fajlagos fakészletet.

A korábbi kutatások során teljes körű talajvizsgálatok, meteorológiai elemzések és erdészeti klimatikus besorolások készültek, amelyekre a disszertáció terjedelme miatt nem térek ki részletesen.

A tatai faültetvény kísérletek során nemesnyár, fűz, akác és bálványfa energetikai célú faültetvényekkel végeztem vizsgálatokat, az ún. belső és külső kertben.

A fontosabb vizsgálatba vont fafajok és klónok a következők:

- Nemesnyár klónok: ('Beaupré', 'BL-Contanzo' (régi elnevezése: 'BL'), 'Pannónia', 'Kopeczky', 'Koltay', 'Raspalje', 'S-298-8', 'I-214', 'Agatha-F' (régi elnevezése: 'OP-229', 'Unal'), (Képmelléklet: 4.5-7. Képek.)
- Akác klónok (Kommersz),
- Fűz klónok (kenderfűz egyes fajtái),
- Bálványfa.

A különböző parcellákon tő- és mellmagassági átmérőt, magasságot, tő- és sortávolságot valamint egyes esetekben a tövek tömegét vizsgáltam.

A kutatási munka során használt műszerek:

- GPS helymeghatározó eszköz,
- Tolómérő,
- "Waldmeister" típusú mm beosztású átlaló,
- 0-100 kg mérési tartományú óramutatós gyorsmérleg,
- Suunto PM5/1520 típusú famagasságmérő,
- 30 és 50 m-es mérőszalag,
- szárítószekrény.

Elsősorban akác fafajjal, valamint nemesnyár klónok közül elsősorban 'Pannónia', 'Koltay', 'Kopeczky' és 'Beaupre' fajtákkal végeztem hozamméréseket.

A vizsgálatok során mintaterületes-mintafás módszert választottam, amelyben a felméréndő parcellákban egyenletesen, szisztematikusan elszórva, változó területű mintaterületeket jelöltem ki, amelyekről a jellemző faegyedek (mintafák) ki lettek termelve. A kivágott faegyedeken tőátmérőt, mellmagassági átmérőt, magasságot és fatömeget mértem. Az így mért értékek alapján a hektáronkénti fatömeg megbecsülhető volt. Mindemellett ez a módszer olyan beavatkozást jelentett, amely a későbbi vizsgálatok eredményét befolyásolja, hiszen a kivágott egyedek befolyásolták a növényteret, ezáltal az egyes tövek növekedését és ezért csak egyszeri méréseket tett lehetővé, a további méréseket csak bizonyos feltételekkel, illetve korrekciókkal lehet elfogadni. Ezért szükséges nagy számú méréssorozat kialakítása, amellyel megállapítható a mellmagassági átmérő vagy a tőátmérő, és a teljesfa tömegének összefüggése. Bár VEPERDI, 2005. szerint a tőátmérő kevésbé alkalmas az ilyen célú becslésekre, mivel a tőátmérőt ma már csak kivételes esetekben használják, elsősorban az álló fán történő nehezebb mérhetősége mellett. Az egyik legfőbb ellenérv, hogy még kisebb méretű fák esetén is, a terpesz erősen torzíthatja az értékeket, vagyis általánosságban elmondható, hogy függvényesítéshez kevésbé alkalmas, mint a mellmagassági átmérő. Ezért a mellmagassági átmérőt és a mellmagassági körlap összeget alkalmaztam a teljesfa tömegének becslésére.

A tömeg, illetve a hozam becslésére számos számítási eljárás áll rendelkezésre. A 2.2.1. fejezetben kitértem a szakirodalomban leginkább alkalmazott, és alkalmazandónak tartott

eljárásokra. (KOPECZKY, SZENDRÓDI, HYTÖNEN, HYTÖNEN ET KAUNISTO, TELENIS, TAHVANAINEEN ET RYTKÖNEN, ARMSTRONG ET AL. KOPP ET AL., BALLARD ET AL. IN HELLER ET AL., NORDH ET VERWIJST, PELLIS ET AL.) Megállapítható, hogy a legtöbb rövid vágásfordulóju energetikai célú faültvények esetén, a hozam becslésére szolgáló eljárásoknál hatvány függvényeket használnak, amelynek alapja a különböző magasságokon mért átmérő, mint független változó, és a teljesfa tömege, mint függő változó. A hozambecsléseknél ezért ezeket az összefüggéseket alkalmaztam.

Véleményem szerint a fent említett eljárások közül, a KOPECZKY-féle fatömeg-egyenes, fatömeg-görbés eljárás és a nemzetközi szakirodalomban alkalmazott hatvány-függvény módszer alkalmazható a rövid vágásfordulóju energetikai célú faültvények teljesfa tömegének és hozamának becslésére.

A tömeg-egyenes alkalmazása esetén KOPECZKY R., az 1890-es években először, a fatérfohat becslés céljaira, a vastagsági fokok átlagos fatérfohatait a körlap függvényében ábrázolta, amely függvény megközelítőleg egyenest szolgáltatott. (VEPERDI, 2005.)

Ezt a módszert tovább fejlesztve, a fatérfohatot fatömeggel helyettesítve kialakítottam a tényleges fatömeg-egyenes eljárást. A mintafák teljesfa tömegét a mellmagassági körlapra vonatkoztatva adódik a fatömeg egyenes. A fatömeg-egyenesről leolvashatjuk, vagy a függvénnyel kiszámíthatjuk a megfelelő átlagos tömeget, majd a megfelelő törzsszámmal való szorzással és az eredmények összegzésével megkaphatjuk a faültvény fatömegét, illetve hozamát. A számítások egyszerű táblázatkezelő programban elvégezhetőek.

A fatömeg-egyenes képlete a következő ($G_{1,3}$ -mellmagassági körlap (cm^2), a, b -konstansok):

$$M = a * G_{1,3} - b \quad (4.2.2.1a)$$

Hasonló módszer a fatömeg-görbés eljárás, amely abban különbözik a tömeg-egyenes eljárástól, hogy nem a mellmagassági körlapra, hanem a mellmagassági átmérőre vonatkoztatja a fatömeget. Mindkét eljárást először KOPECZKY írta le. (VEPERDI, 2005.)

A fatömeg-görbés módszer képlete a következő ($D_{1,3}$ -mellmagassági átmérő (cm), a, b, c -konstansok):

$$M = a * D_{1,3}^2 - b * D_{1,3} - c \quad (4.2.2.1b)$$

A fatömeg-egyenes és a fatömeg-görbés eljárások ugyanazt az eredményt, a függő változót – a teljesfa tömegét vagy térfogatát szolgáltatják. (VEPERDI, 2005.)

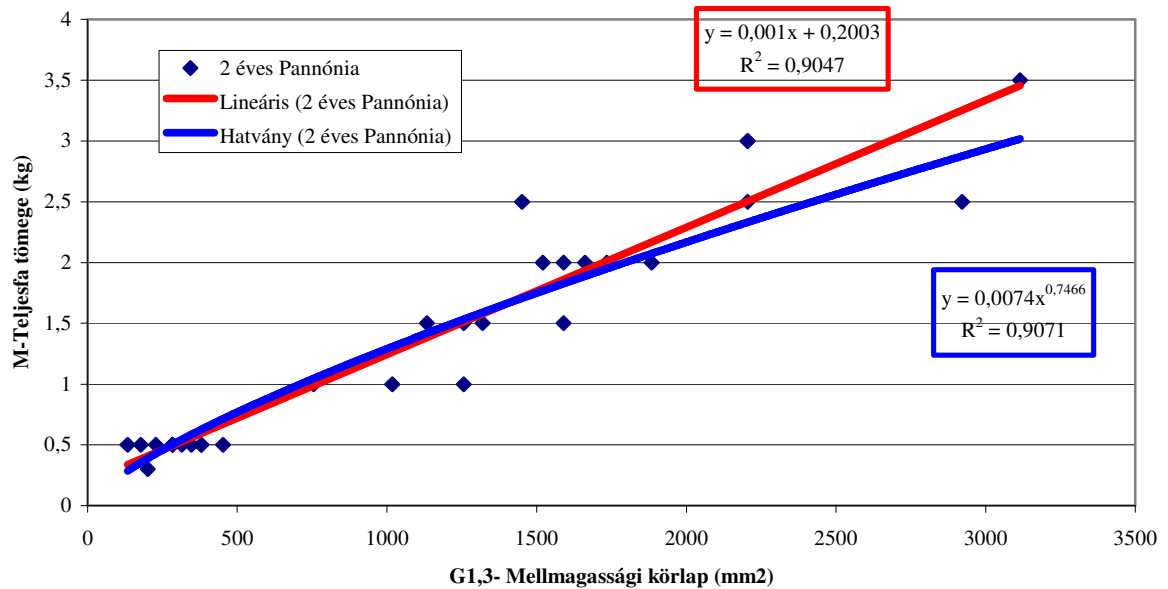
A korrelációs koefficiensre vonatkozó kutatásaim alapján megállapítható, hogy a fatömeg-görbés eljárás esetén, a rövid vágásfordulóju energetikai célú faültvények fatömegének becslésére, a hatvány függvény biztonságosabb eljárást szolgáltat, mint a polinom bázisú eljárás (fatömeg-görbés eljárás). Meghatároztam az egyes nemesnyár fajtára vonatkozó mellmagassági és teljesfa tömeg összefüggéseket, amelyeket az előző módszertől eltérően nem polinommal, hanem a következő formulával közelítettem:

$$M = a * D_{1,3}^b, \quad (4.2.2.2a)$$

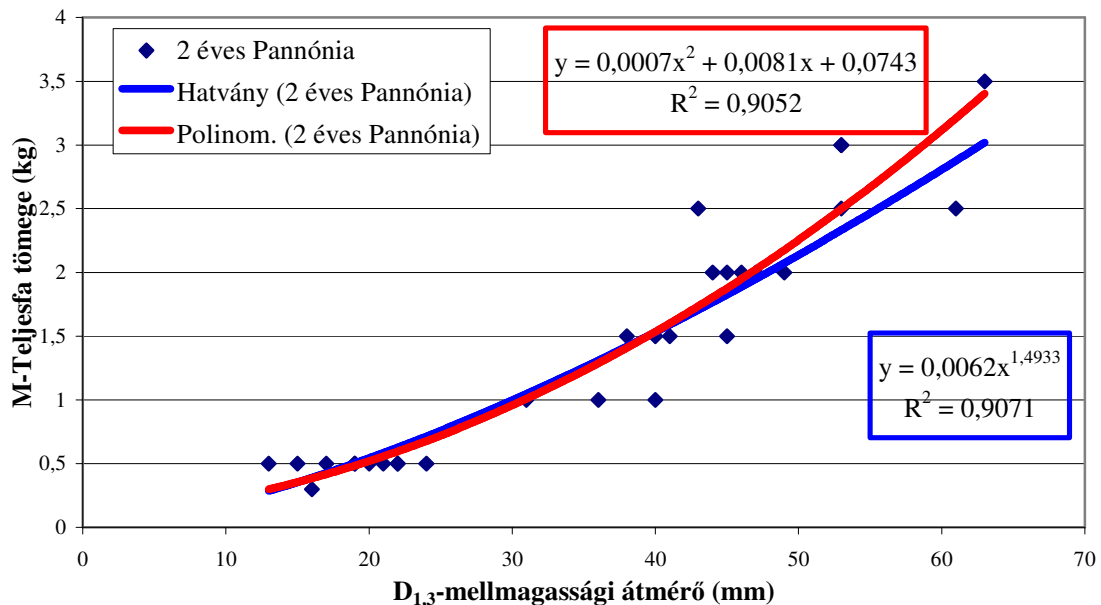
- M - a kidöntött teljesfa tömege kilogrammban,
- $D_{1,3}$ - a kidöntött tő mellmagassági átmérője (cm),
- a, b - konstansok.

2 éves 'Pannónia' nemesnyár fajta esetében a következő fatömeg-egyenesek és fatömeg görbék adódnak (4.15-16. sz. diagramok):

4.15. sz. diagram: 2 éves Pannónia nemes nyár klón fatömegének meghatározása fatömeg-egyenes eljárásokkal I.



4.16. sz. diagram: 2 éves Pannónia nemes nyár klón fatömegének meghatározása fatömeg-görbés eljárásokkal II.



Hasonlóan a fatömeg-görbés eljárásnál a fatömeg-egyenes esetében, a fiatalkori növekedésnél a fatömeg-egyenes „fatömeg-görbébe” hajlik át, hiszen nagyobb biztonsággal határozható meg a fatömeg hatvány függvénnyel, mint egyenessel. A rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvényeknél a következő „fatömeg-egyenes” adódik:

$$M = a \cdot G_{1,3}^b, \quad (4.2.2.2b)$$

- M - a kidöntött teljesfa tömege kilogrammban,
- $G_{1,3}$ - a kidöntött tő mellmagassági átmérője (cm),
- a,b - konstansok.

A (4.2.2.1), a (4.2.2.2), a (4.2.2.3), a (4.2.2.4), valamint a (4.2.2.5) összefüggések alapján a 4.5. sz. mellékletben található diagramok megmutatják 3, 4, 5 éves 'Pannónia' nemesnyár állományokban kijelölt parcellákban található tövek mellmagassági átmérője, mellmagassági körlapja és a teljesfa tömege közti összefüggéseket. (A tömeg mérések mindegyik állományban első betakarításnál lettek kivitelezve.)

Igazoltam, hogy a fatömeg-egyenes és a fatömeg-görbés eljárások csak bizonyos feltételekkel és átalakításokkal alkalmazhatók a rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények fatömegének és hozamának meghatározására, a gyakorlatban is elfogadható korrelációval. (Melléklet: 4.6. sz. táblázat.)

A kutatásaim szerint a fiatal korú 'Pannónia' nemesnyár klón állományaiban elvégzett fatömeg becsléseknél a hatvány függvény – egy esetet kivéve – nagyobb korrelációs koefficienssel rendelkezett, mint a hagyományos fatömeg-egyenes, illetve a fatömeg-görbés eljárások. Megállapítható továbbá, hogy a 4 éves állományok fatömeg becslése esetén adódtak a legalacsonyabb R^2 értékek, valamint ebben az állományban a fatömeg-egyenes módszer alkalmasabb, mint a hatvány függvény. Ezen kívül 0,9-nél nagyobb átlagos R^2 értékekkel lehetett megbecsülni az egyes tövek tömegét, amely a gyakorlatban elfogadott mértéknek felel meg. Tehát a módszer alkalmazható nemesnyár, valamint egyéb mini vágásfordulójú energetikai célú faültetvények fatömegének és fahozamának becslésére.

A parcellákban található tövek átlagos teljesfa tömegének meghatározására szolgál a következő képlet:

$$\bar{R} = \sum_{(i=1...n)} M/n \quad (4.2.2.3)$$

- \bar{R} - a parcellánkénti átlagos teljesfa tömeg (kg/tő),
- n-a mérések száma (minimális mérésszám: teljes mintaparcella 5 %-a, illetve a varianciaanalízis vizsgálatnak megfelelően, állományfüggő szám, ebben az esetben 5-10 %). A varianciaanalízis elvégzése után, ebben az esetben, 6 %-os felvételezéssel biztonságosan lehet végrehajtani a kutatásokat, becsléseket.
- M – (4.2.2.1a), (4.2.2.1b), (4.2.2.2a), (4.2.2.2b) összefüggések alapján meghatározható.

A megeredési vizsgálatok segítségével az adott területen található átlagos megeredési tényezővel megbecsülhető a minirotaációs faültetvény tényleges fahozama:

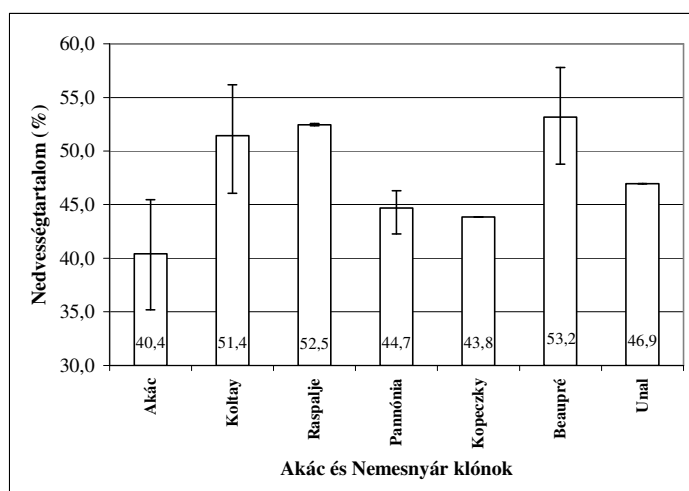
$$Y = (BMT) * MT * S * \bar{R} \quad (4.2.2.4)$$

- Y - az adott fafaj/fafajta/klón hektáronkénti éves hozama (ÉNT/ha/év - élő nedves tonna hektáronként évente),
- MT - megeredési tényező, egynél kisebb szám,
- BMT – az adott betakarítás utáni megeredési tényező,

- S - hálózati sűrűség, hektáronkénti tőszám,
- \bar{R} – (4.2.2.3) összefüggés alapján meghatározható.

Az abszolút száraz tömeg meghatározásához, szükséges nedvességtartalom-vizsgálatokat végezni. Az EU CEN TS szabványok alapján, a fa nedvességtartalmának meghatározásához, a faanyagot 105 Celsius fokon 24 h-ig szükséges szárítani. A szárítási vizsgálatokat a NYME Energetikai Tanszékének Laboratóriumában, szárítószekrény segítségével végeztem. A nedvességtartalom-méréseket 2002-től folyamatosan végeztem, ezek során az ismétlések száma 5-7 volt. A fontosabb nedvességtartalom mérések eredményeit a 4.17. sz. diagramon, 4.7. sz. táblázatban mutatom be.

4.17. sz. diagram: A nemesnyár minirotációs energetikai faültetvények betakarítás-kori nedvességtartalmára vonatkozó vizsgálat eredményei



4.7. sz. táblázat: A nemesnyár rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények betakarítás-kori átlagos nedvességtartalma és nedvességtartalom tényezője:

Fafaj	Átlagos nedvességtartalom (%)	wcf	Eltérés (-)	Eltérés (+)	Szórás
Akác	40,4	0,4041	5,2	5,0	5,2
'Koltay'	51,4	0,5145	5,4	4,8	4,9
'Raszpalje'	52,5	0,5246	0,1	0,1	0
'Pannónia'	44,7	0,4468	2,4	1,6	1,8
'Beaupré'	53,2	0,5315	4,4	4,6	4,5

A nedvességtartalom alapján a nedvességtartalom tényezővel csökkentett abszolút száraz hozam meghatározható:

$$\bar{Y} = Y - wcf \cdot (BMT) \cdot MT \cdot S \cdot \bar{R} \quad (4.2.2.5)$$

- \bar{Y} - az adott fafaj/fafajta/klón hektáronkénti éves tényleges fahozama (ASZT vagy odt/ha/év - abszolút száraz tonna hektáronként évente),
- Y - az adott fafaj/fafajta/klón hektáronkénti éves fahozama (ÉNT/ha/év - élő nedves tonna hektáronként évente),
- wcf – nedvességtartalom tényező (nedvességtartalom (%)·0,01),
- MT - megeredési tényező, egynél kisebb szám,
- BMT – az adott betakarítás utáni megeredési tényező,

- S - hálózati sűrűség, hektáronkénti tőszám,
- R – (4.2.2.3) összefüggés alapján meghatározható.

A kutatásaim alapján megállapítottam, hogy a mellmagassági átmérő alapján becsülhető az egyes klónok tövenkénti tömege, amellyel a nemzetközi gyakorlatban is alkalmazott megeredési vizsgálatok segítségével kiszámítható az egy hektárra eső faültetvény hozam, a (4.2.2.1), a (4.2.2.2), a (4.2.2.3), a (4.2.2.4), valamint a (4.2.2.5) összefüggések alapján.

A 4.8. sz. táblázat (melléklet) tartalmazza az egyes nemesnyár klónok, az akác és a bálványfa hozam eredményeit. Megállapítható, hogy a bálványfával érdemes további kísérleteket folytatni, hiszen nagy fahozammal rendelkezik, valamint a nedvességtartalom tényezője is megfelelő értékű. Mindemellett a tényleges fahozam meghatározásakor, a fahozam sorrendben átrendeződés figyelhető meg, mivel a különböző nemesnyár klónok esetén a megeredési tényező, valamint a nedvességtartalom tényező más és más. Ezért az első esetben, a bálványfa után a 'Koltay', 'Pannónia', 'Beaupre', 'Kopeczky', 'Unal', Akác sorrend alakul ki, azonban a tényleges fahozam becslése esetén a 'Pannónia', 'Koltay', 'Kopeczky', 'Beaupre', Akác, 'Unal' sorrendre változik. Ezért mindig nagyon fontos nedvességtartalom tényezővel és megeredési tényezővel számolni, hiszen ezek nagymértékben befolyásolják a termesztés-technológiát, a szállítást, a logisztikát.

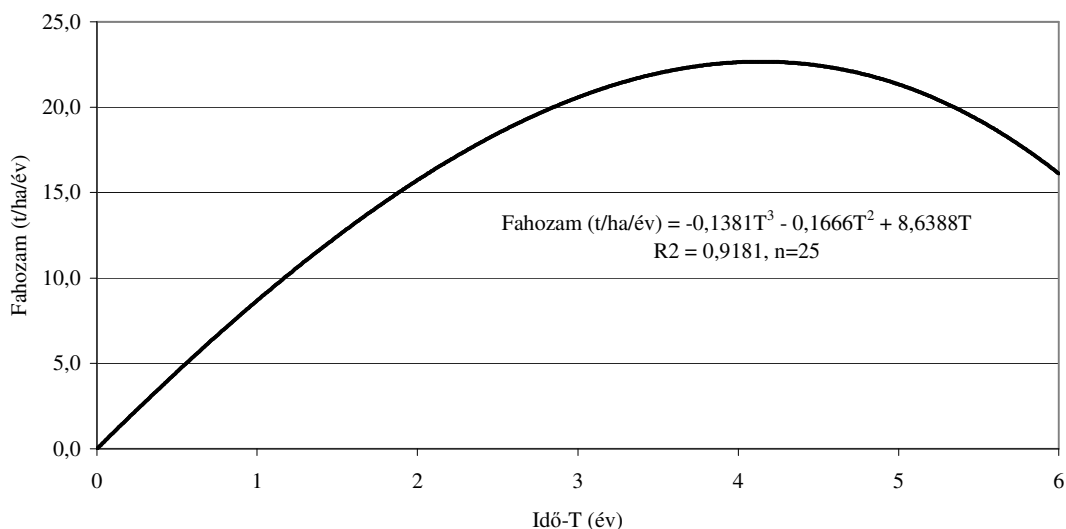
A betakarítás után a hajtásszám, ezáltal az adott fafaj, klón tövenkénti tömege változik, ezért a tényleges BMT értékek, illetve a hozam adatok meghatározására további vizsgálatok szükségesek.

4.2.2.1.1. Növekedési függvények nemesnyár és akác rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvényeknél

4.2.2.1.1.1. Nemesnyár rövid vágásfordulójú faültetvények

A nemesnyár minirotaációs faültetvények esetében megállapítható, hogy a fahozam a 3-4. évig jelentősen nő. A hozam még a negyedik évben is jó, azonban az ötödik évben már drasztikus hozamesés tapasztalható. A kutatásaim eredményeképpen a következő 4.18. sz. ábra jól szemlélteti, hogy nemesnyár rövid vágásfordulójú faültetvények esetén, az optimális vágásforduló a 3. vagy a 4. év, ezért ezeket az energetikai célú faültetvényeket célszerű 3, 4 éves vágásfordulóval kezelni, üzemeltetni.

4.18. sz. diagram: A nemesnyár energetikai faültetvények átlagos fahozamának változása

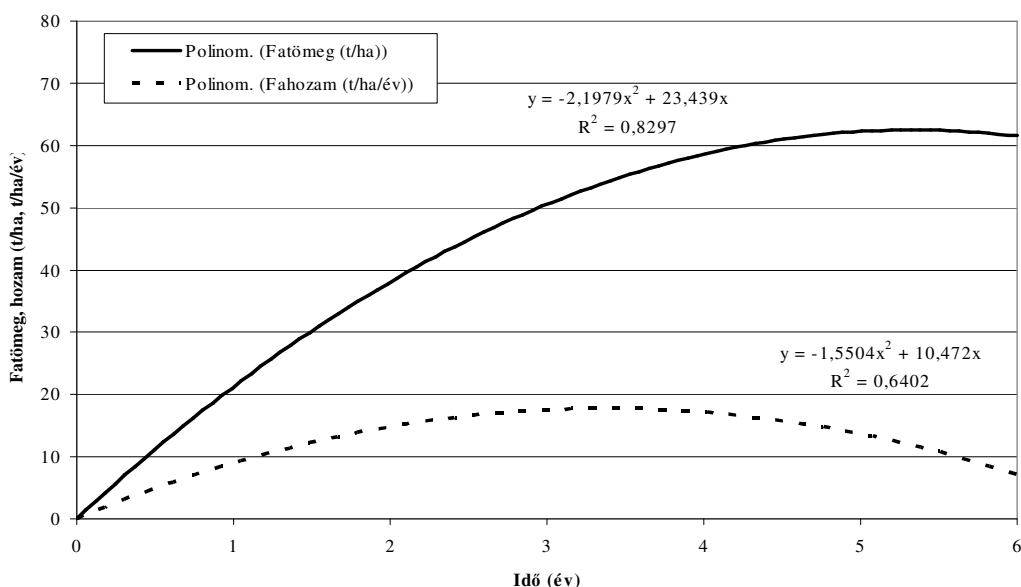


További megállapítások tehetők, ha az egyes nemesnyár klónok szerint differenciáljuk a növekedési függvényeket. (4.19-21. sz. diagramok a mellékletben.) A 'Koltay' és a 'Beaupre' klónok esetében megállapítható, hogy a hozam a 4. évig nő, majd jelentősen csökken, emellett a 'Pannónia' fajtánál ez a növekedés csak a harmadik évig tart, ezután a fahozam csökken, de nem olyan jelentősen, mint az előző két klónnál, a 4. év után. A 'Pannónia' klón esetében ezért a három éves vágásforduló is javasolható energetikai célú faültetvények üzemeltetésére.

4.2.2.1.1.2. Akác rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvény növekedése

Az akác fafaj esetében az ültetvény hozama a harmadik évig nő, majd ezután csökken. A hozam adatok és az állomány felvételek szerint a 3, esetleg a 4 éves vágásforduló az optimális az akácot tekintve. (4.22. sz. diagram)

4.22. sz. diagram: Az akác energetikai faültetvények átlagos fahozamának és fatömegének változása



4.2.2.2. Az 1 éves vágásfordulójú nemesnyár energetikai faültetvények hozam-meghatározása

2005/2006. év telén hozammérések készültek, a PP. Rt. királyegyházai területén, az ún. új olasz és az ún. régi magyar nemesnyár klónokkal. Az állományok alacsony növekedése és vitalitása miatt, az állományok nem lettek letermelve, elsősorban a tulajdonos kérése, annak ellenére, hogy az olasz technológia szerint szükséges lett volna betakarítani. Ezért a tatai energetikai faültetvényekhez hasonló fatömeg és fahozam becsléseket nem lehetett végrehajtani, mivel csak a fajtateszt területen végezhattünk hozambecsléseket. Mintaparcellánként 10 db mintafát vágunk ki. Ezeket mérlegeltük és átlagos tömeget határoztunk meg. Az átlagos megeredési tényező, valamint a telepítési hektáronként tőszám ismeretében, meg tudtuk becsülni az egyes klónok fahozamát. A következő 4.9. sz. táblázat tartalmazza ezeket az adatokat.

4.9. sz. táblázat: a királyegyházai rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények hozambecslése													
Nemesnyár klón	Tőszám (db)	Megeredési tényező (%)	Össztömeg (kg)	Átlagos tömeg (kg)	Hektáronkénti tőszám I. (db)	Hektáronkénti tőszám II. (db)	Hozam I. (ént/ha/év) (11000 db)	Hozam II. (ént/ha/év) (12000 db)	Sorrend I.	Hozammutató I. (ént/ha/év)	Hozammutató II. (ént/ha/év)	Sorrend II.	Nemesnyár klón
'Monviso'	10	85,9	7,93	0,793	11000	12000	8,723	9,516	2	7,493	8,174	2	'Monviso'
'AF2'	10	90,2	9,68	0,968	11000	12000	10,648	11,616	1	9,604	10,478	1	'AF2'
'BL'	10	75,4	3,40	0,340	11000	12000	3,740	4,080	7	2,820	3,076	6	'BL'
'Raspalje'	10	67,9	3,33	0,333	11000	12000	3,663	3,996	8	2,487	2,713	7	'Raspalje'
'Beaupre'	10	79,2	3,31	0,331	11000	12000	3,641	3,972	9	2,884	3,146	5	'Beaupre'
'Koltay'	10	76,7	3,95	0,395	11000	12000	4,345	4,740	5	3,333	3,636	4	'Koltay'
'AF6'	10	74,7	4,60	0,460	11000	12000	5,060	5,520	4	3,780	4,123	3	'AF6'
'Pegaso'	10	26,8	5,25	0,525	11000	12000	5,775	6,300	3	1,548	1,688	9	'Pegaso'
'AF1'	5	48,9	1,90	0,380	11000	12000	4,180	4,560	6	2,044	2,230	8	'AF1'
'Villafranca'	nem mérhető											'Villafranca'	

Jelmagyarázat: ént - élő nedves tonna

Az adott termőhelyen az új olaszországi klónok közül az 'AF2' és a 'Monviso' 2,5-3-szor nagyobb hozamot produkált, mint a legjobb Magyarországról (Tata) származó klónok. A megeredési tényező esetén megállapítható, hogy az előzőleg említett két ún. új olasz klón ugyancsak jobb eredményekre képesek, mint a hazai klónok.

4.2.2.3. Minirotációs (1 éves) fűz energetikai faültetvény állomány és hozamvizsgálata

A mátészalkai kísérleti fűz állomány kb. 13 ha-os ún. A1-es területen található. Az adott fűz klón a kutatások alatt még bejegyzés alatt állt, ezért csak egy, a tulajdonos által megadott, kitalált névvel lehet jellemezni a fűz klónt: 'S-311'. (Képmelléklet 4.8-10. képek.) A tulajdonos közlése szerint ezt a fűz fajtát több fűz klón keresztezéséből, japánok állították elő. A kutatások sajnos nem lehettek teljes körűek, mivel talajvizsgálatok nem készültek egyéb külső okokra visszavezethetően, ezért komplex talajtani és klimatikus elemzéseket nem lehetett készíteni. Ennek ellenére 2005. szeptemberében az állomány felvételezések, valamint tömegmérések alapján hozambecslések is készültek.

4.2.2.3.1. A kísérletek, vizsgálatok illetve a mintavételi és a mérési eljárás

Az A1 parcellán 6 illetve 8 mintaterületet jelöltem ki mérőszalaggal és speciális jelölési technikával. A mintaterületek számát a terület nagysága alapján határoztam meg (A1:12,36 ha). A déli sarok ponttól kiindulva egymástól eltolva jelöltem ki a vizsgálandó 10*10 méteres mintaparcellákat. A mintaterületeket úgy alakítottam, hogy a terület közepén egy ikersor legyen, így a telepítési sor- illetve tőtáv alapján, egy mintaterületbe három szimpla- illetve dupla ikersor, valamint átlagosan 180-360 db tő esett. Ezért összesen 14 db mintaterületen vizsgáltam a tövek megeredését és a tövesztési tényezőt. Az adott mintaterületre felvettem a megeredési mátrixot, amely alapján meghatározható az eredeti, a jelenlegi tőszám, illetve a hiányzó tövek száma, amely adatokból meghatározható az előbb említett megeredési és tövesztési mutató. Ezen kívül a terület sajátossága függvényében meghatároztam a hajtási mátrixot, amelyből illetve a mért tövek tulajdonságai alapján becsültem az átlagos hajtásszámot a területen. Továbbá minden mintaterületen 20 db tövet jelöltem ki, amelyeken átmérő és magasság méréseket végeztem.

Nagyon fontos megemlíteni, hogy a telepítést megelőzően a területen kender-termesztés folyt, ezért az A1-es parcellán több mintaterületen, a kender teljesen, vagy részben elnyomta a fűz állományt, amelynek következményeként ezekben a mintaterületeken, a megeredési tényező a nullához közelített. Ezen mintaterületek átlagát nem vettem a teljes állomány átlagába, mivel ennek figyelembe vétele teljesen meghamisítaná az eredményeket, hiszen egyéb helyeken nem kell az adott állománynak a kenderrel megküzdenie.

Tömegmérést végeztem az egyes állományokban, ahol véletlenszerűen az átlagnak megfelelő paraméterekkel rendelkező egyedeket választottam ki, és ezeknél mértem az egyes hajtások tömegét. A megeredési mátrix és a tömegmérések alapján nagy szignifikancia értékkel, vagyis magas R^2 értékkel becsültem az állomány teljes tömegét a vegetációs időszak 4. negyedében. A terepi felmérés során felvett tőszám, átmérő, magasság és hajtásszám adatok excel táblázatban kerültek kiértékelésre.

Meghatároztam az átlagos hajtásszámot, mely az 'S-311' klón esetében a szimpla- illetve a dupla ikersortávval 2,1-2,6 illetve 2,76-3,12 között változott. A mintaterületeken felvettem a klón magassági és átmérő adatait egyaránt, amelyek a későbbi terepi felmérések során és a hozam becslések alkalmával nagyon fontos alapadatok lesznek. Az különböző telepítési tőszám mintaterületei között azonban jelentős eltérések figyelhetők meg, amelyek a 4.10. sz. táblázatban található a mellékletben.

4.2.2.3.2. További vizsgálatok

További vizsgálatok szükségesek a betakarítások előtt. Szükséges meghatározni az újonnan Magyarországra behozott fűzfa klón sűrűségét, égéshőjét, fűtőértékét és hamutartalmát,

nedvességtartalmát és elemi összetételét. Ezenkívül a betakarítási időszakban szükséges felmérni az állományt, ahol átmérő, magasság, növőtér és tömegméréseket kell végrehajtani. Ezenkívül a betakarítás során munkatűkröket kell felállítani a tesztelt betakarítási technikákon és technológiákon. Talajvizsgálatokat kell elvégezni a megfelelő hazai adaptálhatóság érdekében.

4.2.2.3.3. Megállapítások

A kutatás során megállapítható volt, hogy az 'S-311'-es fűz klón nagymértékű magassági és átmérő növekedéssel rendelkezik, az eddigi hazai vizsgálatoknál jóval nagyobb eredményeket produkált.

Megállapítható továbbá, hogy az 'S-311' fűzfa klón esetében, a vegetációs időszak 4. negyedében, a tövek átlagosan 88,03, illetve 79,30 %-ban maradtak meg a szimpla- illetve a dupla ikersor esetében a telepítési tőszámhoz képest, amely megeredési tényezők magasnak nevezhetők.

A két telepítési technológia között eltérés figyelhető meg a tő- és a mellmagassági átmérők átlagos adatai között, mivel a duplasoros technológia esetében a vastagodás alacsonyabb mértékű. A dupla ikersor esetében a magassági értékek is 10 %-kal alacsonyabbak.

A tömegmérések alapján megállapítható, hogy a magasabb tőszám a dupla ikersortáv javára dönti a mérleget a hozam eredmények esetében (átlagos abszolút száraz tonna/ha: 10,0 (szimpla) illetve 13,0 (dupla)).

Mindemellett szükséges kitérni a betakarítási technológiára, mivel a szimpla ikersortáv esetében a terület letermelésére alkalmas technológia létezik, a dupla ikersortáv esetében azonban, ahol 4 sor található egymás mellett 0,7-0,8 m távolságra, nem található olyan gép, amely a 4 sort tud egyszerre betakarítani, vagy olyat, amely kereke nagy biztonsággal elférne a sorok között. Ezért az első éves hozamok tekintetében a dupla ikersortáv technológia biztosan nagyobb hozamot produkál, viszont a második és a további években a nem megfelelő betakarítási technológia miatt bekövetkező tővesztés magával von egy nagymértékű hozamcsökkenést, amellyel a szimpla ikersortáv technológia a további években nagyobb tömeget produkálhat a dupla sortáv technológiával szemben.

4.2.3. A minirotaációs energetikai faültetvényeken végzett állomány-, tő- és hozamvizsgálatok eredményeinek összefoglalása és megállapításai

A mini vágásfordulóú energetikai célú faültetvények állomány- és hozam vizsgálataihoz kapcsolódó kutatások során a következő megállapítások tehetők:

1. A középmező, esetleg sekély termőrétegű, felszínig nedves, esetleg állandó vízhatású, öntés réti talajon, a tatai faültetvény területen az egyes fafajok hozamai igen eltérőek.
2. A tatai faültetvény vizsgálatok során a nemesnyár klónok között van olyan ('Koltay', 'Pannónia'), amelyik kiugróan nagy teljesítményt mutat. Ezzel, a klónnal, klónokkal feltétlenül tovább kell folytatni a kísérleteket, amely a királyegyházai és a tatai faültetvényeken meg is történt.
3. A közép mező, esetleg sekély termőrétegű, felszínig nedves, esetleg állandó vízhatású, öntés réti talajon, a nemesnyár klónok éves hozama a 3-4. évig jelentősen nő. A hozam a 4. évben is jó, jelentős csökkenés az 5. évben következik be, de a tövek átmérőjében jelentős differenciálódás tapasztalható. Ez a faültetvény levágását követően jelenthet problémát, ugyanis a különböző méretű tövekről lényegesen eltérő számú, és növekedési intenzitású hajtások nőnek. Ezek az ültetvényben egymás konkurenséiként

a gyengébb tövek hajtásainak elmaradásához, majd alászorulásához vezet, és az állomány nem lesz homogén és a tőszám is csökken.

4. A közép mély, esetleg sekély termőrétegű, felszínig nedves, esetleg állandó vízhatású, öntés réti talajon az akác állományokban folytatott kutatásaim eredményei szerint a faültetvények éves hozama (t/ha/év) a harmadik évig nő, ezután csökken.
5. A közép mély, esetleg sekély termőrétegű, felszínig nedves, esetleg állandó vízhatású, öntés réti talajon, az akác fafaj esetében a hozam adatok szerint a 3-4 éves vágásforduló a legmegfelelőbb.
6. A közép mély, esetleg sekély termőrétegű, felszínig nedves, esetleg állandó vízhatású, öntés réti talajon, az akác 4. éves állományaiban a hajtásszám öngyérülés következtében gyorsan csökken.
7. A közép mély, esetleg sekély termőrétegű, felszínig nedves, esetleg állandó vízhatású, öntés réti talajon, az akác esetében a tatai termőhelyi viszonyok között a 3 éves vágásforduló a legkedvezőbb.
8. A faméretekből következik, hogy a vágásérett energetikai ültetvényt a külföldön használatos betakarítógépekkel levágni és aprítani nem lehet (túl nagyok az akác illetve az egyes nemesnyár klónok méretei).
9. Megállapítható, hogy rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények teljes fa tömegének (kg/tő) becslésére alkalmasabb a hatvány függvény alkalmazása, mint a korábbi fatömeg-egyenes, vagy fatömeg-görbés eljárások.
10. Megállapítható továbbá, hogy a nedvességtartalom és a megeredési vizsgálatoknak ugyancsak nagy hangsúlyt kell kapniuk a hozam becslések esetén, hiszen az egyes fajták között a hozam sorrendet megváltoztathatja.
11. Az igen mély termőréteggel rendelkező réti öntés talajokon, vízhatástól független termőhelyen, az ún. új Olaszországból származó nemesnyár klónok közül az 'AF2', valamint a 'Monviso' 2-3-szor nagyobb hozamra képes az első évben, mint a már Magyarországon tesztelt egyéb nemesnyár klónok.
12. Az igen mély termőréteggel rendelkező réti öntés talajokon, vízhatástól független termőhelyen a következő klónok ajánlhatók (sorrendben): 'AF2', 'Monviso', 'AF6', 'Koltay', 'Beaupre'.

4.2.4. AZ ENERGETIKAI FAÜLTETVÉNYEK BETAKARÍTÁSÁVAL ÉS BETAKARÍTÓGÉP-RENDSZERÉVEL KAPCSOLATOS VIZSGÁLATOK

4.2.4.1. Helyzetelemzés, a téma indoklása

Rövid vágásfordulójú energetikai faültetvények létesítését és betakarítását célzó kísérletek körülbelül harminc éve folynak a világon. Az olajválság után kialakult alternatív energetikai fejlesztések miatt egyre több biomasszára, ezen belül faanyagra volt/van szükség. Ezért az energetikai faültetvények telepítése egyre jobban terjed Európában is. A rövid vágásfordulójú faültetvények gazdaságos kitermelésének egyik legfontosabb területe a betakarítás gépesítése. A faültetvények betakarítása azonban nem oldható meg sem hagyományos erdészeti, sem pedig hagyományos mezőgazdasági betakarító gépekkel. Ezért szükséges olyan gépeket kifejleszteni, amelyek alkalmasak az adott sortávolsággal és hozammal rendelkező faültetvények véghasználatára.

A rövid vágásfordulójú dendromassza-ültetvények betakarításának problémája már 1980-as évek végén, a 1990-es évek elején felvetődött. A kutatások eleinte kézi betakarítással, hagyományos erdőgazdasági módszerekkel, és átalakított mezőgazdasági gépek alkalmazásával kezdődtek, de egyik betakarítási módszer sem hozott gazdaságos technológiát.

A pár hektárnál nagyobb, üzemszerűen működtetett rövid vágásfordulójú energetikai faültetvény állományokban csak és kizárólag gépekkel érdemes végezni a betakarításokat, mivel a gépek hatékonysága ilyen körülmények között jóval magasabb, mint az élőmunkáé. (MAROSVÖLGYI, 2001.a) A kutatások során több alternatív megoldás is született. Számos technológiai fejlesztés és géptesztelés folyik Európában és a világban egyaránt, amelyektől lényeges előrelépést várnak a faültetvény termesztek.

Nagy-Britanniában kifejlesztettek egy vontatóra szerelt betakarítógépet, amellyel a betakarítás a következők szerint történik: a fák tőtől való elválasztása - a fiatal fák 3-6 m hosszú függőleges kötegekben való fölkészítése - a biomassza lehelyezése a terület szélére - aprítékká való feldolgozás a terület mellett, közvetlen a betakarítás után, vagy több hétig tartó halomban történő szárítás után.

Az 1990-es évek elejére készült el egy észak-ír egy sorban működő betakarítógép, a Loughry, körfűrészszel és elfektető-kötegelő berendezéssel; a gép munkája során megállapítható, hogy az összes betakarítási- és szállítási költség, a teljes költség 70 %-át teszi ki; a Loughry-betakarítógép prototípusként magas szintet ért el, azonban a további tapasztalatok és kísérletek hiányoznak. A vizsgálatok szerint 0,7 ha/nap terület-teljesítménnyel dolgozott Skóciában és Angliában, mely prototípussal 2-4 éves fűzsarjakat, valamint 3 éves nemesnyár állományt takarított be. A kutatások igazolták, hogy a Loughry betakarítógép nem kielégítő a rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények letermelésére. (CULSHAW ET STOKES, 1995., HARTSOUGH ET YOMOGIDA, 1996.)

Dániában a Skovteknisk Intézet (ATV) kezel rövid vágásfordulóval fűz ültetvényeket, amelyet gazdálkodók telepítettek. Kutatásaik szerint az apríték előállítását a betakarítandó területeken korábban használhatóbb megoldásnak látta, mint a teljesfában történő szállítást, amelynek az előkészítése költségesebb, mint aprítékként szállítani. Alternatív lehetőségként ajánlják a kombinált termelést: ipari fa és apríték. Az erdei és mezőgazdasági apríték iránt nagy az érdeklődés az ipari, a kommunális és a közösségi fűtőművekben, mivel a fosszilis tüzelőanyagokat Dániában viszonylag magas adóval

sújtják. Egyre nagyobb területeken telepítettek fűz állományokat energetikai apríték termeléshez. Rövid vágásfordulóval 1-3 év, 13 t/ha/év hozammal gazdálkodnak. Ezekhez a 3-5m-es hajtásokhoz, Jütlandon egy betakarító gépet építettek. Így iparszerűen elő tudnak állítani 1 éves fűzvevesszőt, amelyből fonatkerítést készítenek. Energetikai apríték felkészítése céljából a hagyományos, erdőgazdaságon kívüli egyéb gazdaságokban dán és svéd járvaaprítók nagy számban kerültek alkalmazásra. A Dániában előállított vontatott gép egytengelyes vontató-pótkocsiból áll, mely a vontatógép által meghajtott körfűrészsel vágja el az 1-3 éves fűz-sarjakat 10 cm-rel a talaj fölött, amelyek az 5 m-es magasságot is elérhetik; ezeket szállítószalaggal a pótkocsi platójára szállítja, és az összegyűjtött biomasszát a mező szélén halomba rakja vagy rakodónak adja át. A gépegység legnagyobb teljesítménye egy kiszolgálóval és egy vezetővel Dél-Svédországban 0,3 ha/h volt. A dániai viszonyokra és állományokra a gépet optimalizálták.

Írorszában kifejlesztettek egy a szántóföldeken dolgozó betakarításhoz és szecskázáshoz használt prototípust, amelyhez egy (kombinált) eszközhordozót fejlesztettek ki művelési berendezésekkel. (HARTSOUGH ET YOMOGIDA, 1996.) Írorszában tőzegtalajon telepítettek rövid vágásfordulójú ültetvényeket fenyőből, melyet 8 éves korban vontatott szerkezettel gépi módszerrel aprítékként kell majd betakarítani. A zöld aprítékot 3-4 hónapig raktározzák friss levegőn, így fűtőmű üzemeltethető vele.

Betakarítógépet fejlesztettek/fejlesztettek Finnországban a rövid vágásfordulójú faültetvényekhez. 1970-es évek végén fejlesztették ki a Pallari járvaaprítót, amelyet párhuzamosan haladó szállítójármű szolgált ki. A géppel betakarított állományokban a visszamaradó tövek magasak és erősen roncsoltak voltak. A finnországi betakarítások alapján, a kutatók a vékony anyag gépi kötegelését részesítik előnyben és a durva aprítékot ajánlják a kedvező költségek miatt. A munka lebonyolításához úgy vélik, hogy 2 munkás szükséges évente 100 ha rövid vágásfordulójú faültetvény terület letermeléséhez.

Olaszországban az energetikai faültetvények üzemeltetésével kapcsolatos kísérletek alig 15 évesek. Alapul szolgált az a nemesítési munka és eredmény, amelynek terméke számos nagy hozamú nemesnyár klón, melyek elsősorban a faipar igényeit szolgáló erdőgazdálkodásban hasznosultak. A gépfejlesztés esetében, betakarított anyagot mobil-aprítóval készítették fel. Törekedtek az energetikai-apríték nyelés magasabb gépesítettségi fokára, a gyakori motor-manuális munka mellett. A Gandini Bioharvester járvaaprító gépet az 1990-es évek elején fejlesztették, amelyet nemesnyár állományokban teszteltek. A kutatás eredményeképpen megállapították, hogy a Claas és az Austoft betakarítógépek ígéretesebbek, mint az olasz gép. (CULSHAW, 1993. in CULSHAW ET STOKES, 1995., HARTSOUGH ET YOMOGIDA, 1996.)

Az USA-ban bevezették, az ún. "Chunkwood"-dá (durva apríték) aprítást, ennek lényegesen alacsonyabb az energiaigénye. A betakarítás költségei lényegesen csökkenthetők, ha rövid vágásfordulójú faültetvények faanyagát kötegelik, és csak később dolgozzák fel energetikai aprítékká. Az amerikai és kanadai piacra számos gépkereskedő lépett be európai megoldásokkal is, alkalmanként ötvözve az észak-amerikai nehéz és a finom skandináv technológiát. Egy áttekintő tanulmányban STUART ET KOFMAN leszögezték, hogy a legtöbb megoldás döntőgépeken és vontatókon alapul, és ehhez a mező szélén egy teljesfa-aprító kapcsolódik; az úton vagy a fűtőművekben dolgozzák fel a hajtásokat, akár energetikai, akár ipari hasznosításra. (SPINELLI ET KOFMAN, 1996., SPINELLI ET HARTSOUGH, 2001.a) GOLOB, 1986. in SPINELLI ET KOFMAN, 1996. szerint a rövid vágásfordulójú faültetvényekhez és az azokon való gazdálkodáshoz technológiai modellt fejlesztett ki

Kanadában; ahol 2-4 soros önjáró betakarítógéppel teljesfaként történik a betakarítás, majd gép egy menetben kötegel is.

Egy különlegesség a szállítás előtti tömörített kötegelés ("bailing"), célja: hogy a nyersanyagot a fűtőművekben dolgozzák fel aprítékká. Ilyen tapasztalatokat gyűjtöttek Seattle/USA-ban. (GOLOB, 1986. in SPINELLI ET KOFMAN, 1996.)

Egy vontatott mezőgazdasági szalmabálázó alternatív használatáról számolt be PECA és DA SILVEIRA, 1992. Spanyolországból, mellyel Eucalyptus koronából és más vékony anyagból készítettek bálákat. Közép-európai gép gyártók készítenek bálázókat hosszú szárú nádfajokhoz is, mint pl. a *Miscanthus sinensis*, ezek valószínűleg alkalmasak - további fejlesztések után - fiatal fűzhajtások bálázásához is.

Németországban biztatóak a fejlesztések. Összességében a gazdálkodásból kivont mezőgazdasági területek elérték az 1,5 millió ha-t. A mezőgazdálkodók élénken érdeklődnek alternatív földhasznosítási javaslatok iránt, amellyel a gazdálkodásból kivett területeket újra művelésbe lehetne vonni. Ennek az agrárpolitikai problémának a megoldását a megújuló nyersanyagok, mint a repce és napraforgó vagy a cukor- és keményítőtartalmú növények továbbá kínai-nád, len alkalmazásában látták. Ezzel szemben csak kevés konkrét terv foglalkozik a rövid vágásfordulójú faültvényekből készült faanyagtartalmú biomassza, mint energiahordozó telepítésének lehetőségével. A cellulóz-fához új és környezetkímélő eljárást fejlesztettek ki, melyet sikerrel alkalmaztak, így azokat a nagyipari felhasználókat sem lehet kizárni, akik a gyorsan növekvő lombos fafajokat belátható időn belül, esetleg cellulóznyeréshez kívánnak majd hasznosítani. (SPINELLI ET HARTSOUGH, 2001.b, SPINELLI ET HARTSOUGH, 2001.c) Németországban, Göttingenben, Harsewinkelben és Weihenstepanban fejlesztettek ki döntő-aprító gépet. A rövid-vágásfordulójú faültvényekből energetikai célra történő biomassza nyelés, vizsgált és hevesen vitatott téma. Korábban energetikai célra csak a hagyományos erdőgazdálkodásból származó kevésbé értékes anyag került, elsősorban ipari apríték, valamint a fűrészüzemekből ill. a fakereskedőknél keletkező hulladékforgács. Egy hesseni erdőzet (Diemelstadt-Rhoden) a Göttingeni Egyetemen (Mezőgazdaságtechnikai Intézet) együtt dolgozva betakarítógépet fejlesztett ki, amely a területen mozogva 2-5 éves fiatal fából durva aprítékot állít elő. A hajtásokat egy körfűrészhez hasonlatos aprító-tárcsa vágja el, és függőleges helyzetben felaprítja.

A westfáliai Claas cég, amely egyike a legnagyobb európai mezőgazdasági gépgyáraknak, átalakította a Jaguar típusú önjáró szecskázóját, azaz a szecskázó-dob késeit úgy módosította, hogy 2-3 éves hajtások aprítására is alkalmas legyen. Akkor a mért területteljesítmény 0,2 ha/óra volt, 50 t/ha hozam esetén. A Claas 2000-től kialakított egy fűz és egy nemesnyár faültvényeken alkalmazható adaptert. A gép hátránya, hogy a fűz adapter esetében maximum 6 cm töátmérőig, a nemesnyár adapter esetében pedig maximum 8-9 cm töátmérőig képes elvégezni a betakarítást.

Különleges megoldást találtak 1990-ben Magyarországon (MAROSVÖLGYI ET RUMPF, 1990. in MAROSVÖLGYI ET AL. 1999.a) a késfejes döntő berendezés, kombinálva egy aprítóval és az eszközhordozón lévő konténerrel a gép a betakarítandó területen mozog. A magyar prototípust valószínűleg először az 1990-es évek elején kísérleti célból különböző lágylomb területeken alkalmazták, ehhez speciális alvázra önjáró rakodógépet építettek. Tapasztalatok és adatközlések a további vizsgálatokról hiányoznak. (MAROSVÖLGYI ET AL. 1999.a)

Svédországban a gépgyártók egy döntő-aprító-konténer kombinációt fejlesztettek ki, a területi kísérletek fűz-ültetvényeken zajlottak, erről azonban még hiányoznak a teljesítményközlések; azóta a speciális gépen további fejlesztéseket végeztek.

Svédországban különböző lehetőségek kipróbálása folyik:

- egyfelől könnyebb adaptereket akarnak, amit a bőségesen rendelkezésre álló mezőgazdasági vontatókkal kombinálni tudnak, azaz traktorkapcsolatú gépeket fejlesztenek, függesztett vagy vontatott, saját tengelyen gördülő betakarítógépeket,
- másik oldalról, próbálkoznak nagyteljesítményű, sokoldalú gépek fejlesztésével is, amelyek teljes-betakarítóként dolgoznak, ezek alkalmasak lesznek az Észak- és Közép-Európa rövid vágásfordulójú ültetvények betakarítására.

A biomassa felkészítésénél előnyben részesítik a finom tüzelő-aprítékot. Ma már a svédek sok aprítót, különböző szállítótechnikát, betakarítógépet, fűtőrendszert stb. fejlesztettek ki. Tovább kutatják a technológiáikat azért, hogy a rövid vágásfordulójú faültetvényekről származó biomassa energetikai hasznosításának technikája általánossá váljon.

Az 1990-es évek eleje óta különböző prototípusok készülnek betakarításhoz, ezek a gépek külföldi kísérleti területen is alkalmazhatók:

1. Fűz-betakarítógép, vontatott, régi prototípus; egy sorba vágó, egyenes sarjakat/ fiatal fákat gyűjti és halomba lerakja;
2. Fröbbseta fűz-betakarítógép, kétsoros, az előző prototípus továbbfejlesztése; teljesítmény kb. 2000 m³ / gépállás;
3. Segerslätt-fűzbetakarítógép kétsoros, 1-2 éves sarjak kötegben való termeléséhez;
4. Egy gép a fűzsarjak betakarításához és szecskázásához 2-3 éves ciklusonként; kissé módosított két sorban dolgozó kukorica-szecskázó a Claas-tól, vontatott és vontatóra függesztett;
5. Teljes betakarítógép 2-4 éves vágásfordulójú fűzsarjak betakarításához és szecskázásához; alaposan módosított Claas kukorica-szecskázó, 2 soros; önjáró eszköz, az apríték tárolásához vontatott pótkocsival;
6. Teljes betakarítógép, amely a területen mozog; kétsoros kivitel 2-3 éves ciklusú fűz egyidejű aprítás és az apríték felvétele az emelve borító konténerbe; alapmodell Brucks-aprító;
7. Teljes betakarítógép a cukornád-aprításból 2-4 éves ciklusú nyár, fűz ültetvényekhez, de elsősorban 2 éves suhángoknál alkalmazható; lánctalpas, nagyteljesítményű gép, legalább 3 ha/műszak, a biomassa kidobása a párhuzamosan haladó vontató-pótkocsi-kombinációra.

Svédországban már 5 éves fűzültetvényt is betakarítottak a fenti kukoricaszecskázóval és cukornád-betakarítóval, valamint rövid vágásfordulójú faültetvények speciális járműveivel. (HARTSOUGH ET YOMOGIDA, 1996.)

A francia vizsgálatok 7 éves nyár ültetvény betakarításánál megnyugtató eredményeket szolgáltatottak. A Sifer 204 betakarítógép és a 8 x 8 Bruunnett nehézforwarder kerület alkalmazásra. A kutatások szerint jobb eredményeket láttak az ipari fákkal kombinált termelésben, mint az egyedüli tüzelő-apríték felkészítésben, az erdei apríték rossz piaca miatt a biomasszát komposzthoz értékesítették. Egy másik francia, 20 ha-os sarjerdőterületen 1987-ben a Sifer 725 (sor mentén) és a Sifer 103 (keresztben a sorokra) döntőgépeket a fiatal fák felkészítéséhez használták. A megvalósítás motor-manuálisan

motorfűrészsel és vágástéri aprítással, a területen mozgó mobil aprítógéppel történt. (WIPPERMANN ET STAMPFER, 1995. KÜRTÖSI, 1998.)

A legújabb fejlesztések eredményeképpen Olaszországban létrehoztak egy olyan járvaaprító gépet, illetve adaptert, amely a Claas Jaguar kombájnról csatlakoztatható, valamint képes 15 cm töátmérőig nemesnyár és fűz ültetvényeket betakarítani. A gép előnye, hogy adapter, ezáltal kombájnról csatlakoztatható, így a mezőgazdaságban alkalmazott kombájnokhoz illeszthető ez a technológia. A gép első tesztelése 2005/2006. telén jelenleg is folynak Olaszországban, amelynek teljesítménye 0,8-1,0 ha/h. A gép magyarországi alkalmazása várhatóan csak 2006/2007. telén várható. Az előzetes információk alapján megállapítható, hogy az új olasz adapter alkalmas a 3-4 éves nemesnyár állományok betakarítására, ezáltal növelhető a vágásforduló, amely növeli a rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények gazdaságosságát.

4.2.4.2. A minirovációs energetikai faültetvények betakarításánál alkalmazható gépek és csoportosításuk, valamint javaslat a betakarítási rendszereire

Energetikai faültetvények betakarítására többféle betakarító gépet fejlesztettek ki, amelyeket számos módon lehet csoportosítani.

Energetikai faültetvények betakarítógépeinek működés szerinti csoportosítása:

1. Motormanuális betakarító gépek. Az alapvetően kézi gépek tartoznak ebbe a csoportba. Túlnyomórészt könnyű motorfűrészek vagy nyeles tisztító körfűrészek, kézi bozótirtók alkalmazhatók. Ezek a gépek csak kis kiterjedésű ültetvényekhez ajánlhatók (különböző vállalatok motorfűrész típusai alkalmazhatóak).
2. Rendvágó gépek. A rendvágó betakarítók csak vágógépek, a fa tőtől való elválasztását végzik. A magyar fejlesztésű prototípus eredményei nagyon biztatóak. Nem szabad azonban elfelejteni, hogyha szükséges végtermék apríték, akkor legalább további egy aprítógép is szükséges, amely csökkenti a gazdaságosságot (alkalmazható gép: magyar Optigép prototípusa, amelyet elsősorban energiaerdők betakarítására fejlesztenek).
3. Rendvágó-kiszállító gépek. Ezek a betakarítók vágó, gyűjtő és szállító részekkel rendelkeznek (alkalmazható gépek: svéd Frobbesta, dán Dansalix, olasz Berni, dán Hvisted, svéd ESM 901, svéd Sagerslätt Empire 2000).
4. Normál és konténeres járvaaprítók.
A járvaaprítók és a konténeres járvaaprítók a faültetvény betakarítók egyik leginkább alkalmazott csoportját képezik. A járvaaprítók a fa vágását, aprítását és felterhelését végzik. A konténerrel rendelkező járvaaprítók pedig az apríték gyűjtését és szállítását is megoldják. A magyar járvaaprító (OGFA) nagyon kedvező eredményeket ért el magyar és külföldi állományokban egyaránt. (Alkalmazható gépek: magyar OGFA, német Claas Jaguar, svéd Austoft 7700, angol John Deere/Kempel, olasz Gandini Bioharvester 93, német Diemelstadt, német MBB Biber, német New Holland 719, svéd Bender I., svéd Bender II., francia Scorpion, svéd Brucks.)
5. Járvaálázók. A fabálázó gépek műszakilag még nincsenek kiforrott állapotban. A világ több országában található kezdeményezések járvaálázó gépek kialakítására. (Hollandia, Svédország, Anglia)
6. Járvaakötegelők. A folyamatosan kötegelő felépítményekkel rendelkező járvaakötegelő gépek egyik továbbfejlesztett változata, amelyek vágnak és kötegelnek egy menetben (alkalmazható gépek: észak-ír Loughry, angol Nicholson, svéd Salix maskiner/Wilstrand).
7. Újabb erdőszeti technikák (pl.: gyűjtőfejek alkalmazása kihordókon). Ezek az erdőgazdálkodás számára kifejlesztett különböző harvester fejek, amelyek képesek

például a gyéritések faanyagát gazdaságosabban kitermelni. Ide sorolhatók még az erdészeti kötegelők, amelyek tehergépkocsi vagy kihordó alvázra felszerelve alkalmazhatók.

A rövid vágásfordulójú faültetvények betakarítógépeit csoportosíthatjuk hordozógéphez való csatlakozásuk szerint is: 1. Kézi gépek; 2. Adapter jellegű, függesztett gépek; 3. Vontatott gépek; 4. Önjáró gépek.

A faültetvények betakarítógépeinek származás szerinti csoportosítása:

1. Mezőgazdasági eredet.

- Szecskázó gépek: mezőgazdálkodásban régóta használt betakarítógépek, amelyek aprító része egy dobaprító. Az átalakítás során a vágófej megerősítése a legproblematisabb feladat, mivel a faültetvények vágási átmérője jóval vastagabb, mint a mezőgazdaságban előforduló kukorica vagy egyéb növények vágási átmérője. A szecskázó gépek dobaprítójának megerősítése viszont elvégezhető. Az egyik legmodernebb szecskázó gépből átalakított faültetvény betakarítógépet a Claas Jaguar dolgozta ki. Ezt a gépet több ezer hektár fűültetvényen alkalmazzák Svédországban.
- Rendevágó adapterek és önjárók. Korábban már kialakították a kender betakarítógépeket, amelyekből kialakultak a faültetvény rendevágók és a rendevágó – kiszállító gépek.
- Bálázók. Alapvetően a bálázó gépekből fejlődtek ki a fabálázók, amelyek jelenleg csak prototípus állapotban állnak rendelkezésre. Emellett a kötegelő gépek egyik fajtája (szakaszosan kötegelő) is a bálázó gépek alapvető tömörítő eljárásait alkalmazza.

2. Erdészeti eredet. A jelenleg használt járvaaprító gépek elődjait gyéritéseknél és bozótirtásoknál alkalmazták az erdőgazdálkodásban, amelyekből kifejlődtek a jelenleg alkalmazott járvaaprítók. A skandináv erdőgazdálkodásban leginkább használt folyamatosan kötegelő gép, részben erdészeti származással rendelkezik.

3. Legújabb fejlesztésű gépek. A mezőgazdálkodásban és az erdőgazdálkodásban használt gépek keverékei. A járvakötegelők és a járvaaprítók egyes típusai sorolhatók ebbe a kategóriába.

A különböző betakarítógépeket a 4.11. sz. táblázatban, a mellékletben mutatom be.

A betakarítógépek funkció szerinti csoportosítása

A rövid vágásfordulójú ültetvények betakarításánál négy tevékenységet különíthetünk el: vágás, gyűjtés, kiszállítás és aprítás. A fő különbség a betakarítógépek között a műveletek számában és típusában van:

1. Csak vágó gépek: a betakarítógép levágja a hajtásokat és rendbe vagy rakásba a földre helyezi. A hajtások levágása időben különválik a többi művelettől. A kiszállítás és az aprítás megoldható egy menetben is egy forwarderre szerelt aprítógéppel.
2. Vágó és kötegelő gépek: A betakarítógép levágja a hajtásokat és kötegekbe gyűjti, és a kötegeket a földre helyezi. Ezeket később külön menetben gyűjtik össze, gyakran forwarderrel vagy kihordószerelvényvel.
3. Vágó és kiszállító gépek: a gép levágja a hajtásokat, a platón gyűjti, majd a terület szélére vagy egy arra alkalmas rakodóra helyezi le. Csak az aprítás az elkülönülő művelet.
4. Vágó és aprító gépek: A gép vág és aprít egy menetben (járvaaprítók), majd a terület szélére szállítja az aprítékot. Párhuzamosan haladó szállítójárművel folyamatos lehet a

kiszállítás és nem kell megszakítani a betakarítást. Akkor előnyös ez a megoldás, ha a kiszállítási távolság nagy. (SPINELLI, 1996.)

Mozgás/mozgatás szerinti csoportosítás

A rövid vágásfordulójú ültetvények betakarítógépeit csoportosíthatjuk aszerint, hogy hogyan kapcsolódnak a hordozógépekhez:

1. Vontatott gépek: a betakarítógép tulajdonképpen egy utánfutó, melyet hagyományos vontatóval lehet vontatni. Ezek a gépek általában egyszerűek és könnyűek. Csak részidejű használatra valók, könnyen csatlakoztathatók a vontatóhoz, korlátozott a mozgásuk és alacsony a teljesítményük.
2. Hordozott gépek: ezeket a berendezéseket fel lehet szerelni a hordozójárművek széles skálájára. A gépek általában nehezebbek és drágábbak, viszont jobb a mobilitásuk és a teljesítményük is nagyobb. Szükség szerint fel- ill. leszerelhetők.
3. Önjáró gépek: Ezeknek a legjobb a mobilitásuk és legnagyobb a teljesítményük. Meg kell jegyezni, hogy ezek a legdrágább berendezések, és folyamatos szállítójármű kiszolgálást igényelnek, a folyamatos kihasználtság érdekében.

Energetikai faültetvény betakarítási rendszerek/technológiák

- A. Motormanuális döntés – aprítás mobil, áttelepíthető vagy egyéb aprító gépekkel. Alapvetően erdészeti technikákkal és gépekkel elvégezhető technológia. Ez a betakarítás a legveszélyesebb és a legtöbb élőmunkát igénylő technológia. Előnye viszont, hogy rendelkezésre állnak a megfelelő gépek.
- B. Járvaaaprítás párhuzamosan mozgó konténeres kiszállítással. Európa számos országában több éve üzemszerűen működő technológia. Alapvetően mezőgazdasági gépekkel és egy járvaaaprító adapterrel elvégezhető betakarítási mód.
- C. 1. Járvaaaprítás konténeres kiszállítással. Az egyik legmodernebb és legbonyolultabb járvaaaprítási technológia, amelyben a célgépek általában önjáró kiserelésben készülnek. Ezek hátránya, hogy drágák és az év legnagyobb részében kihasználatlanok.
2. Járvaaaprítás – későbbi finomaprítás. Nem gazdaságos technológia, mivel ide olyan betakarító gépek tartoznak, amelyek durva aprítékot állítanak elő, és ezáltal nem érik el az energetikai hasznosításhoz szükséges méretet.
- D. Rendrevágás – aprítás mobil, áttelepíthető vagy egyéb aprítógépekkel. A rendrevágó gépek az utóbbi tíz évben alakultak ki. Az ezekre alapozott betakarítási technológiák még kezdeti fázisban vannak. Magyarországon az energiaerdők és az energetikai faültetvények betakarítására alkalmas prototípust állítottak elő.
- E. Rendrevágás – kötegelés a vágásterületen. A technológiához szükséges egy rendrevágó és egy kötegelő gép is, így nem gazdaságos. Azonban út menti faültetvények betakarításánál a jövőben kialakítandó technológia.
- F. Rendrevágás – kiszállítással kihordóval és aprítás vagy kötegelés vágásterületen. Ez a technológia a szükséges gépek száma miatt egyelőre nem gazdaságos.
- G. Járvabálázás. A faültetvények egyik legújabban kialakult technológiája, amely a mezőgazdaságban már jól ismert bálázást ülteti át a rövid vágásfordulójú ültetvényekre. Végterméke a fabála. (5. 4.4.2. sz. táblázat a mellékletben.)
- H. Járvakötegelés. A legbonyolultabb, de sokat ígérő faültetvény betakarító technológia. Ezek végterméke a faköteg, amelyeket célszerű tárolni a vágásterületen, mivel ezek viszonylag gyorsan kiszáradnak (50 %-os betakarítási nedvességtartalomról 30-35 %-os értékre lecsökkenhet a faköteg víztartalma három hónapos tárolás után), ezért a kötegek fűtőértéke és az ára magasabb lesz.
- I. Gyűjtőfej alkalmazása kihordón, kötegelés vagy aprítás a vágásterületen.

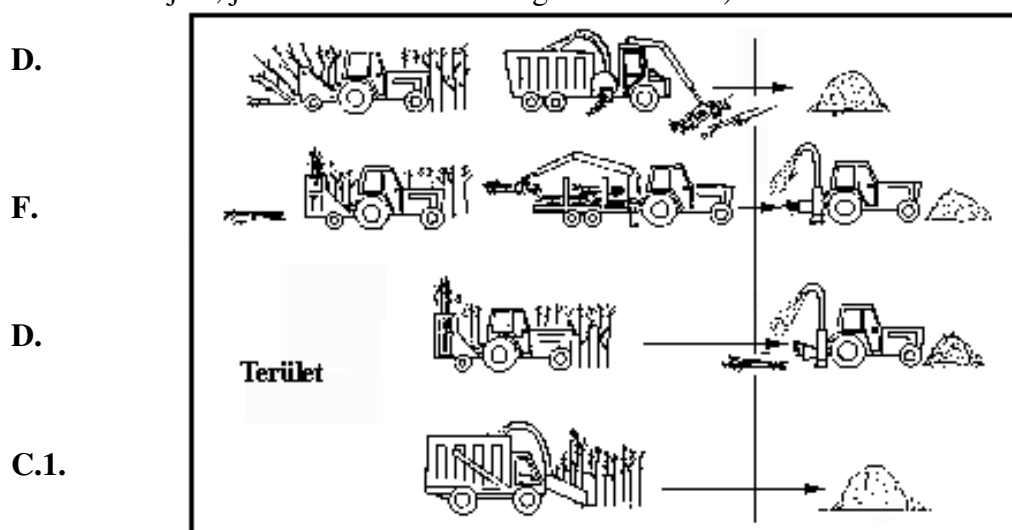
Egyes betakarítási technológiákat 4.1. sz. ábrán, valamint a mellékletben a 4.2-3. sz. ábrákon mutatom be.

4.12. sz. táblázat: Energetikai faültvényekből kitermelt különböző energiahordozók és szállításuk

	Az energiahordozó típusa	Szükséges járművek
1.	Apríték	Konténeres tehergépkocsik, kamionok
2.	Teljesfa	Hagyományos erdészeti kihordók és szállítók
3.	Fabála	Hagyományos mezőgazdasági szállító járművek
4.	Faköteg	Hagyományos erdészeti tehergépkocsik és kamionok

Magyarországon a faültvény betakarító technikák és technológiák közül az adapter jellegű járvaaprítók alkalmazhatók leginkább. Hazánkban várhatóan a legjobb technológia az, ha egy univerzális traktorra felfüggesztett járvaaprító adaptert alkalmazunk, mely mellett párhuzamosan mozgó konténeres kiszállító jármű halad, amely elvégzi az apríték gyűjtését és szállítását. A technológia előnye, hogy nem szükséges nagyon drága önjáró járvaaprítók megvásárlása, amelyeknek az ára elérheti a járvaaprító adapterek árának 10-szeresét. Mivel az energetikai faültvények betakarítását télen kell elvégezni, ezért a mezőgazdaságban alkalmazott traktorok alkalmazhatók a faültvények betakarítására alkalmas adapterek hordozására és működtetésére anélkül, hogy akadályoznánk a mezőgazdasági munkák elvégzését.

4.1. sz. ábra: Betakarítási technológiák szemléltetése (baloldalon a technológia fent megnevezett betűjele, jobb oldalon a technológia bemutatása)



Forrás: SPINELLI ET KOFMAN, 1996.

Fontos szerep juthat a rendvágónak is, a hosszabb vágásfordulóval üzemeltetett állományokban és a későbbiekben megjelenő újratelepítéses energetikai faültvényekben, energiaerdőkben.

A betakarítógépek természetesen most is fejlődnek, hogy megfeleljenek a betakarítási körülmények széles skálájának, bár a jelenleg meglévő gépek is kielégítik a legtöbb szükségletet. Vannak betakarítógépek, melyek felszerelhetők hagyományos mezőgazdasági traktorra, így a gazdák a saját területüket be tudják takarítani. Több gép megállja a helyét nehéz terepen is, mely a csapadékos évszakban fontos, pl. Austoft, Hvidsted vagy az ESM

901. A nagy-mobilitású gépeknél probléma, hogy ezt a kedvező adottságot nem lehet kihasználni, ha hagyományos szállítójárművel történik a kiszállítás, mivel a betakarítógép ugyan képes a nehéz terepen haladni, de a kiszállító jármű elakad. Ez utóbbit kiegészítő alkatrészekkel kell felszerelni, ami drágítja a betakarítást. Eddig leginkább a betakarítást kutatták, viszont a kiszállítás nem fejlődött. (SPINELLI ET KOFMAN, 1996.)

4.2.4.3. Mini vágásfordulójú energetikai célú faültetvények betakarításának gépesítésére folyó hazai kutatások – a magyar betakarítógép vizsgálata

4.2.4.3.1. A betakarítógépek kialakításának előzményei Magyarországon

Hazánkban már a '80-as évek óta foglalkoznak energetikai faültetvényekkel, azonban a rendszerváltás ill. az ennek kapcsán a tulajdonviszonyokban bekövetkezett zűrzavar jelentősen visszavetette a témát. Az 1990 évek közepén, Tatán, a Parképítő Rt., valamint az Erdészeti és Faipari Egyetem (jelenleg NYME) kísérletet állított be, melynek célja az energetikai faültetvényeken alkalmazható fafajok ill. fajták, továbbá a fatermelési célra legkedvezőbb hálózat kiválasztása volt. Miután ezek a vizsgálatok lezárultak, nagyobb területű parcellák telepítése kezdődött a legjobbnak bizonyult fafajokkal és fajtákkal, a fatermés szempontjából legkedvezőbb hálózatban. Ezek már félüzemi kísérletek voltak, ahol többféle nemesnyár klónt (jelentős részben hazai klónokat), valamint a szintén kiemelkedő eredményeket mutató akácot telepítettek, 1,5m-es sor- és kb. 50-60 cm-es tőtávolsággal.

Szükséges volt egy olyan gép fejlesztése, mely az ilyen faültetvények betakarítására megfelel. Először megkísérelték a már kifejlesztett mezőgazdasági technika alkalmazását az MKA-2 magkender aratógéppel, de az kudarcot vallott. Ezután igyekeztek külföldön kifejlesztett és már kipróbált betakarítógépet keresni, és ezeket hazai ültetvényeken tesztelni. A figyelmünk Németországra összpontosult, ahol az első használható betakarítógép '93 óta létezik, azóta azonban több gépet is építettek és teszteltek (Claas Jaguar, Austoft 7700, Mäh Hacker Diemelstadt). (MAROSVÖLGYI ET AL., 2001.)

A külföldi gépek közül egyik sem kiforrott megoldás, nem kerültek sorozatgyártásra és a piacon nem szerezhető be. Ezért a békési OPTIGÉP Kft. 2000-ben vállalta, hogy a „faapríték-készítő gép a megújuló energiaforrások feltárására” kiírt OMF B pályázat keretében 3 év alatt egy az energetikai faültetvények betakarítására alkalmas gépet fejleszt a Nyugat-Magyarországi Egyetem Energetikai Tanszékének szakmai segítségével, melyet a tatai Parképítő Rt. területén lévő energetikai faültetvényeken fognak tesztelni.

A géppel szemben támasztott követelmények a következők voltak:

- Illeszkedjen a 1,5 m-es sortávolsághoz.
- Megbirkózzon a 3-4 éves, bokrosan növő hajtásokkal (nyár, fűz és akác esetén is).
- Elég nagy legyen a teljesítménye ahhoz, hogy a jármű számára megfelelő betakarítási menetsebességet fenn lehessen tartani.
- A hajtásokat menet közben a tőtől elválasztja, és felaprítva egy párhuzamosan közlekedő szállító járműre terhelje.
- A lehető legjobb minőségű aprítékot állítsa elő a lehető legkisebb teljesítményigénnyel.
- Adapter jelleg (tehát mezőgazdasági vontatóra szerelhetőség).
- Masszív felépítés mellett, a lehető legkisebb tömeg (elsősorban a traktor emelő hidraulikája szab határt a tömegnek).
- Viszonylag olcsó előállíthatóság.

Ezen feltételek mindegyikét –irodalmi adatok szerint – a Diemelstadtban (Németország, Hessen) előállított Mäh Hacker nevű gép teljesíteni látszott. Kiindulásképpen ezt a gépet vették alapul a hazai tervezők, szem előtt tartva a német szabadalmi jog előírásait.

A hazai betakarítógépen további jelentős változtatásokra van szükség, melyeknek eredményeképpen már a projekt első szakaszában, felépítésében lényegesen eltér a kiindulásképpen felhasznált német tervektől.

4.2.4.3.2. Az első magyar járvaaprító

Az első prototípus (OGFA I.) már 2001. nyarára elkészült, melyet a tatai ültetvényeken ki is próbáltunk. Mivel a nyári időszak nem alkalmas az ültetvények betakarítására, csak azt állapítottuk meg, hogy milyen változtatásokat kell végezni a gépen, hogy a lombhullás után már lehetőleg zavartalanul lehessen nagyterületi próbákat végezni a hozam és költségadatok meghatározására. Az első jól használható változat 2001. késő őszen került alkalmazásra a tatai ültetvényen, melynek jellemzői a következők voltak:

A gép tömege 1,7 tonna, tehát csak a traktor hátulsó emelőhidraulikájára szerelhető fel. Visszont nem teljes súllyal nehezedik a hordozójárműre, mivel elülső részére kerekeket szereltek, melyek a talajkövetést biztosítják. Ezek magassága állítható. 2 egyenként 1 m átmérőjű fűrész tárcsa helyezkedik el alul, melyek meghajtása a traktor hátulsó TLT-jéről történik mechanikusan 1000/min névleges fordulatszámmal. Ezek végzik a fák tőtől való elválasztását. A tárcsák között átfedés van, tehát nincs olyan tartomány, ahol az átvágás nem történne meg, hiszen ha lenne, az a gép elakadását jelentené. A jobb oldali tárcsa fél tárcsaátmérővel előrébb helyezkedik el, a felületére a sugárirányhoz képest szög alatt bütykök vannak felszerelve, melyek a törészt hivatottak az aprítókések irányába lökni. A tárcsa fölött hidromotorral meghajtott henger található. A henger fordulatszáma szabályozható, de lényegesen alacsonyabb, mint a fűrész tárcsáké. Rajta 2 sorban, felül rugósan visszahajló (meghajtóláncrel szerelve), alul erősebb fixen álló (a hengerpalástra rögzítve) tolófogak helyezkednek el. Ezek a fogak továbbítják, ill. adják át a fát a második tárcsa fölött elhelyezkedő behúzó és aprító egységnek. Itt a felső részben a forgás következtében röpsúlyként a hengertől eltávolodó lehúzó szegmensek helyezkednek el. A hengeren körbe 3 db, egymás alatt szintén 3 db ilyen kar található, a felsők a jobb fogás miatt fogazottak. Ezek a fát megragadják, és a csigavonalban lehúzó bordák segítségével lefelé tolják, ahol a ferdén álló, összesen 6 db aprítókés elvégzi fa felaprítását, elméletileg 0-10 cm hosszú darabokat előállítva. E késeket lezáró lapocskák dobóhatást kifejtve, valamint légáramlatot keltve, az apríték darabokat a kidobó csatornába továbbítják, melynek belső felülete sima, így megfelelő tárcsafordulatszám mellett az anyag folyamatos áramban csúszik-repül végig a röpítő-csőn. A cső felső végén terelőlappal szabályozható a kifújás távolsága. A csőből kikerülő felaprított anyag a párhuzamosan közlekedő szállítójárműre kerül.

4.2.4.3.2.1. Betakarítási kísérletek az OGFA I. faültetvény-betakarító géppel

A nagyterületi betakarítási próbák 2001/2002., 2002/2003., 2003/2004. évek telén zajlottak a tatai energetikai faültetvényen. A gépen közben folyamatos változtatásokat hajtottak végre. A próbák során kipróbáltuk mind nyár, mind akác fafajokkal betelepített parcellákon, valamint igyekeztünk 1-6 éves korig minden korú állományban próba-betakarításokat végezni. A betakarítással kapcsolatos tapasztalatok a következők voltak:

- 1-2 éves állományokban a gép minden fennakadás nélkül dolgozni tudott, de ezekben az állományokban a fatömeg alacsony: 7-15t/ha. A betakarítás szempontjából a 3-4 éves kort kell faterméstaniilag preferálni, hiszen a tatai energetikai faültetvényekre jellemző hálózat esetén, ebben a korban tetőzik az átlagnövedék. Ezekben az

állományokban 25-50 t/ha fatömeg mellett az átlagos tőátmérő 3-6 cm (nem ritkák a 7-9 cm-es átmérők is) és a faegyedek magassága 4-6 m. Ezekben az állományokban már előfordultak fennakadások, amikor egy-egy nagyobb faegyed került a gépbe. Összességében azonban alkalmasnak ítéltük a gépet ezen állományok betakarítására. Megkíséreltük a gépet bevetni 6-7 éves állományban is, de itt már olyan gyakorisággal fordultak elő a gép számára felapríthatatlan faegyedek (9-10 cm feletti tőátmérő), hogy fel kellett adnunk a próbálkozást.

- A legtöbb kísérletet 3-4 éves állományokban végeztük, ahol 35-40t/ha-os fatömeg esetén a betakarítási hozam 12-13t/h-ra adódott (ez megfelel 2,5-3h/ha-os területteljesítménynek), a betakarítási sebesség pedig 2-3km/h között volt. A traktoron szükséges a mászó-fokozat, mert ez a sebesség a mászó-fokozat nélküli traktorok esetén az elképzelhető legkisebb sebesség, és a munkagép hiába tudna nagyobb dimenziókkal rendelkező állományokban is dolgozni, ha a traktor nem képes olyan lassan haladni, hogy addig, amíg elér a következő tőhöz, a faegyedek felaprítása megtörténjen. Mindezen betakarítási jellemzők mellett gép-együttes kb. 2-3 l gázolajat fogyasztott minden tonna fa felaprítása alatt. Ez az érték energetikailag kedvezőnek mondható.
- Az előállított apríték minőségét tekintve az OGFA gép nem éri utol a CLAAS Jaguar, de túlszárnyalja elődjét, a diemelstadti Mähhackert. Az elméleti aprítékosság 0-10 cm között van, és a gyakorlatban is az 5 cm-es leggyakoribb aprítékossággal, normális eloszlást követ az aprítékosság eloszlása. (KÜRTÖSI, 1998., MAROSVÖLGYI 2004. nyomán)
- A gép a traktor hátsó hidraulikájára van felszerelve, ami szükségessé teszi a hátramenetben történő munkavégzést. Ez viszont meglehetősen kényelmetlen olyan traktorokon, ahol nem fordítható meg a kezelő-berendezés. Ezért az újabb átépítésnél a gépet már átszerelték külpontosan vontathatóra.
- A bal oldali fűrész tárcsán 6 kés helyezkedik el, melyek az aprítást és a röpitést végzik. Ezeket a késeket úgy kell kiképezni, hogy vastagabb (10 cm) töveknél is megvalósítsák a teljes átvágását, valamint legyen a következő késig annyi hely, hogy az előtolás a fát a következő késig megfelelő helyzetbe tudja hozni. Az OGFA gép kése még nem tekinthető kiforrottnak ebből a szempontból. A megfelelő késforma kialakítása további vizsgálatokat igényel.
- Az aprító rotor tengelyére három lehúzó tárcsa van felfűzve, mely lehúzó tárcsákon csukló körül elforgathatóan vannak felszerelve a lehúzó szegmensek. A szegmensekre csigavonalban lehúzó borda lett felhegesztve. Üzemi fordulaton a csiga elemekkel rendelkező szegmensek a fellépő centrifugális erő hatására szétnyílnak az ütközőkkel behatárolt átmérőre. A szegmenseket a kivágott fa a centrifugális erő ellenében visszatolja a szorító erő megtartása mellett. Ezzel a megoldással létrejött egy olyan lehúzó csiga, melynek kerülete alkalmazkodni tud a kivágott fa átmérőjéhez. Ha a lehúzó szegmenseket rugóval szereljük fel, álló- vagy üresjáratú fordulaton a szegmensek rugóerő hatására zártak. A rugóerővel a centrifugális erőt csökkenteni lehet, hogy a fa palástján pontosan a megfelelő szorítóerő jelentkezzen.

4.2.4.3.2.2. Az OGFA II. gép (Képmelléklet 4.7. sz. és 4.11. sz. képek.)

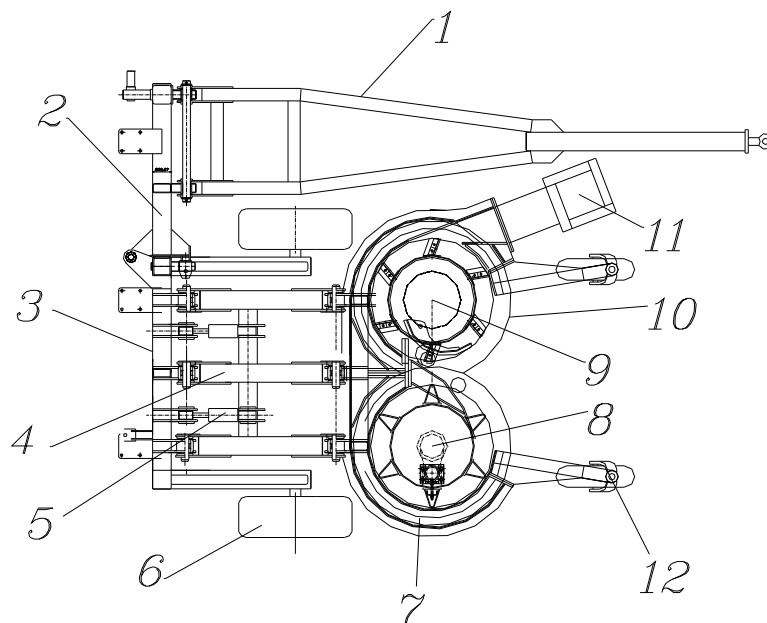
2002-ben a gyakorlati tapasztalatok szerint a gép továbbfejlesztése megtörtént, és elkészült az OGFA II gép, melynek az üzemi próbái 2002/2003., 2003/2004., 2004/2005. telén zajlottak.

A gépen történt változtatások a következők voltak:

- Megtörtént a gép átszerelése vontatott változatra, így már nem okoz kényelmetlenséget a hátramenetben történő munkavégzés. Ezzel egyidejűleg megvalósították, hogy a fordítózáz és a függesztőváz összeforgatva összekapcsolható legyen, ezáltal egy közúti szállítási méret jöjjön létre. A gép tömege természetesen így növekedett, hiszen további berendezéseket kellett beépíteni.
- A jobboldali fűrészárca az új konstrukción már nincs eltolva fél tárcsaátmérővel előre, a balhoz képest. Tulajdonképpen ennek a régi konstrukción sem volt semmi szerepe.
- A 3 lehúzó tárcsa fölött még egyszer 3 szegmenstárcsa helyezkedik el. Ez feltehetőleg a fák pontosabb megfogását és a jobb előtolást segítik.

A gép alkalmazási területe a faapríték készítés céljából telepített rövid vágásfordulójú energetikai célú faültvények technológiai előírások szerinti betakarítása. Az energetikai faültvényeket Magyarországon a jelenlegi kutatások szerint nemesnyár, fűz és akác alkotják. A gépet 1.5 méteres sor-, és 50-60 cm-es tőtávolságú faültvényekre fejlesztették. A betakarítás gyakorisága szempontjából legkedvezőbb a háromévenkénti ciklus, mert az első három évben leggyorsabb a növekedés és ezen időszak alatt éri el a faegyed az apríték készítés szempontjából kedvező 7-8 cm-es tőátmérőt. Az OPTIGÉP Kft. által kifejlesztett gép elvi felépítését az 4.4. és 4.5. sz. ábra szemlélteti vontatott üzemmódban.

4.4. sz. ábra: Az OGFA II. gép felül nézeti műszaki rajza (Optigép Kft., 2002.)



Jelmagyarázat

Az aprító gép főbb részei: 1. Vonószerkezet, 2. Fordító váz, 3. Függesztő váz, 4. Függesztő karok, 5. Hidraulikus munkahengerek, 6. Járókerék, 7. Aprítózáz, 8. Terelő rotor, 9. Aprító rotor, 10. Fűrészárcsák, 11. Kifúvó torony, 12. Támasztó kerék

A gép legfontosabb aktív egysége a terelő rotor és az aprító rotor. Mindkét rotor alsó síkját a faegyedek kivágását végző nagy méretű fűrészárcsák képezik. A két rotor szembe forog azonos fordulaton. A rotorra szerelt fűrészárcsák a gép előre haladtában kivágják a soron következő egyedet. A kivágott fát a szembeforgó fűrészárcsák a két rotor közé sodorják. A

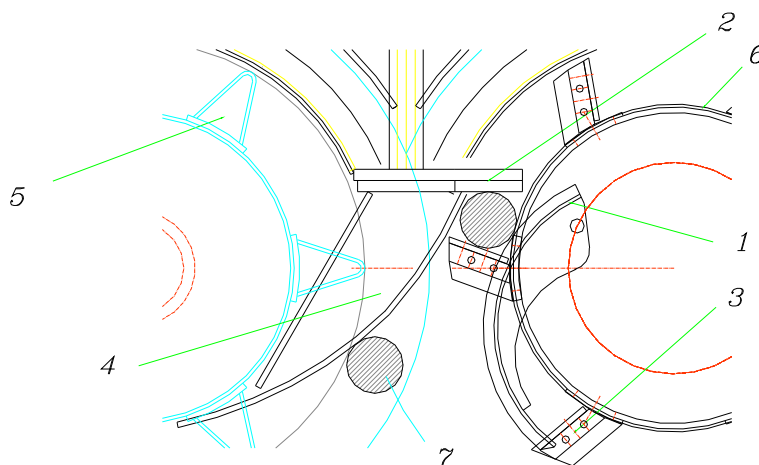
terelő rotor nem vesz részt az aprításban, csak tereli a fűrészlánc által levágott anyagot. Az aprító rotor feladata a kivágott fa tüzelési technológia által megkívánt méretű és méret megoszlású apríték készítése. Csak a két rotor együttes működtetésével biztosítható a második és az azt követő kivágások utáni, több oldalhajtással rendelkező egyedek miatt megnövekedett munkaszélesség. A két rotor között létrejött munkafolyamatot a 4.4. és 4.5. sz. ábrák szemléltetik.

Az aprító rotor tengelyére reteszkötéssel három-három lehúzó tárcsa van felfűzve, mely lehúzó tárcsákon csukló körül elforgathatóan vannak felszerelve a lehúzó szegmensek. Álló, vagy üresjáratú fordulaton a szegmensek rugóerő hatására zártak és palástjuk egy hengert képez, mely helyzetben csigavonalban lehúzó borda lett felhegesztve. Üzemi fordulaton a csiga elemekkel rendelkező szegmensek a fellépő centrifugális erő hatására szétnyílnak az ütközőkkel behatárolt átmérőre. A szegmenseket a kivágott fa a centrifugális erő ellenében visszatolja a szorító erő megtartása mellett. A leírtak szerinti megoldással létrejött egy olyan lehúzó csiga, melynek kerülete alkalmazkodni tud a kivágott fa átmérőjéhez, mert a fa mindenkor méretének megfelelően zárul, vagy nyílik a szegmens.

A terelő rotor és az aprító rotor fűrészláncsája által kivágott fa a megfelelően kialakított terelőfal mentén, az állókészhez sodródik, ahol a fűrészláncsára szerelt hat forgókész leválasztja az aprítékot. Az apríték méretét a csigavonal menetemelkedése, és a csiga bekezdéseinek száma határozza meg alapvetően. A leválasztott aprítékot kidobó lapátként is működő fogókések a kifúvó tornyon keresztül a rendszeresített szállító járműbe fűjják. A vágási magasságot a támasztó kerekek magasság állításával lehet szabályozni.

Szállítási helyzetbe úgy lehet állítani a gépet, hogy a fordítózát és a függesztő vázat összeforgatva összekapcsoljuk, ezáltal egy közúti szállítási méret jön létre (4.5. sz. ábra).

4.5. sz. ábra: Az OGFA II. gép behúzó és vágó hengerei munka közben
(Optigép Kft., 2002.)



1. Lehúzószegmens
2. Állókész
3. Forgókész
4. Terelőfal

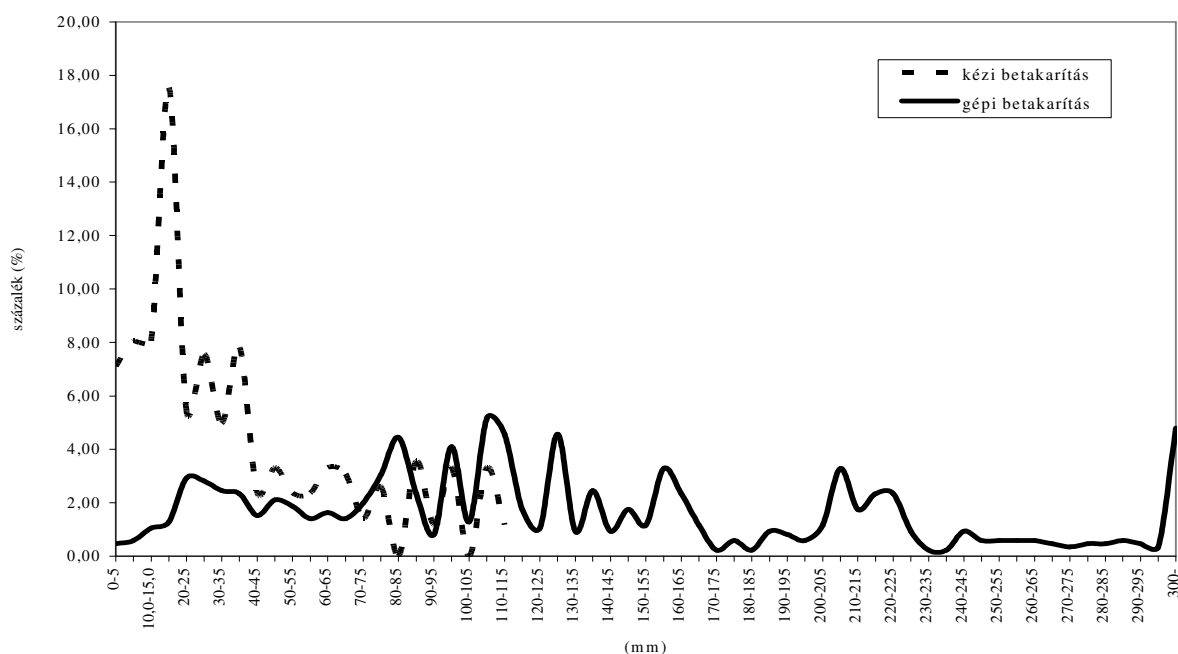
5. Terelő rotor
6. Aprító rotor
7. Kivágott fa

A géppel betakarítási kísérleteket végeztem. Betakarítás közben mért fontosabb jellemzők a következők:

- Menetsebesség: 1,5 – 3 km/h.
- Teljesítés: 0,3-1 ha/h az ültetvény korától függően.
- Az anyagáram: 9-22 t/h.
- A fajlagos betakarítási energiaigény: 30-80 MJ/t.

Az OGFA járvaaprító gép vizsgálata során megállapítottam, hogy az apríték frakcióeloszlása nem megfelelő a hő- és villamos energiatermelő egységekben való hasznosításra. Egyértelműen megállapítható, hogy az apríték átlagos szemcseösszetétele 8-10 cm között változik, mindemellett 30 cm-nél nagyobb apríték részek is megtalálhatók a gép által készített aprítékban. A következő 4.23. sz. diagram mutatja a mobil aprítógép és a magyar járvaaprító adapter által készített apríték frakcióeloszlását.

4.23. sz. diagram: A gépi és a kézi betakarítás által készített apríték frakcióelemzése



A frakcióeloszlás javulását a gép teljesítményének fokozása, vagy a menetsebesség csökkentése eredményezheti. A további fejlesztések elsősorban egy olyan aprítógép megoldásra összpontosítottak, amely betakarítógép alkalmas

- 15 cm töátmérőig letermelni az energetikai faültetvényeket,
- képes olyan apríték előállítására, amelynek átlagos mérete 5 cm alatti,
- valamint a teljesítménye eléri vagy meghaladja az 1 ha/h-t.

A magyar járvaaprító adapter vizsgálata és kutatása jelenleg is folyik a tatai, illetve a királyegyházai ültetvényeken.

4.2.4.3.2.3. A gépi betakarításnál fellépő kárfajták

A mezőgazdasági vontató kerekei nem okoznak észrevehető talajkárt, ha a talaj száraz ill. fagyott. Természetesen a mélyben bekövetkező változások csak hosszabb vizsgálatok során fognak kiderülni. A függesztett betakarító adapter magasságát viszont pontosan be

kell állítani, mert a csúszótalpak mély nyomokat hagyhatnak a talajban, és a vágásmagasság pontos betartása jelentős hatással van a tövek újrakihajtására is. Az ideális vágásmagasság 10-15 cm között van.

Fontos, hogy a vágás pillanatában a fűrészárca, amely a hajtások tőtől való elválasztását végzi, a lehető legnagyobb fordulatszámmal üzemeljen, így okoz ugyanis a legkevesebb kárt a tövekben.

Ha a tárcsa fordulatszáma nem éri el az 1000-1200 ford./perc-et, a tövel való találkozáskor, akkor az óhatatlanul lecsökkenő tárcsafordulatszám nem lesz elégséges a tisztavágáshoz, és bekövetkezhet a tövek felszakadása ill. kifordulása. Ez rontja a kihajtás esélyét és mértékét, valamint szabad utat nyit a károsítóknak is.

Vegyes nemesnyár parcella betakarítása esetén 2 hónappal a betakarítás után már lehetett mérni a sarjadási arányt. A télen betakarított parcellákon ez közel 100% volt.

4.2.4.4. Az újratelepítéses energetikai faültetvények, energiaerdők betakarítása, a Magyarországon fejlesztett ún. rendrevágó géppel

A midirotaációs faültetvényekre (újratelepítéses faültetvény, energiaerdő – vágásforduló: 8-12 év) alkalmas betakarító gép az ún. rendrevágó (Képmelléklet 4.12-13. képek.), amely ugyancsak az Optigép Kft. fejlesztési eredménye. Az eredmények biztatóak, hiszen a gép felépítéséből adódóan a midirotaációs ültetvényeket, energiaerdőket egy menetben vágja és dönti a következő sorra. Az első kísérletek 2003/2004. év telén zajlottak. Sajnos azóta az Optigép Kft. nem tudta a gépet megfelelő helyen tesztelni, ezért csak kis területű betakarítást lehetett elvégezni vele.

A rendrevágó, hasonlóan a járvaaprítóhoz, az univerzális traktor TLT-tengelyéről kapja a meghajtást. A vágást két 90 centiméteres átmérőjű körfűrészlap végzi. A kivágott teljesfa megfelelő helyre való döntését két manipulátor és egy csiga látja el.

A betakarítás közben vizsgáltam a rendrevágó legfontosabb üzemeltetési jellemzőit. A meghatározott értékek:

- Menetsebesség: kb. 2 – 3 km/h.
- Teljesítés: 0,5-1 ha/h az ültetvény korától függően.
- Az anyagáram: 15-28 t/h.
- A fajlagos energiaigény: 30-70 MJ/t.

További technológia-fejlesztési célkitűzések, hogy a midirotaációs faültetvény által szolgáltatott energiaterméket, a rendrevágást követően gazdaságosan lehessen energiatermelésre használni. Az újratelepítéses energetikai faültetvényben termelt teljesfát alapvetően két módon lehet eljuttatni az erőműbe vagy a hő-központba.

Az egyik technológia lényege, hogy a döntött teljesfát mobil aprítógéppel felaprítják, majd az aprítékot elszállítják. A második, és egyben fejlettebb technológia esetében, a döntött teljesfákat ún. kötegelő géppel kötegelik.

4.2.4.5. Az energetikai faültetvények betakarításának gépesítésével kapcsolatos kutatások összefoglalása

A rövid vágásfordulójú energetikai célú dendromassza-ültetvények betakarítás gépesítése, a technológia szempontjából az egyik legfontosabb feladat. A betakarítás gépesítése elengedhetetlen a faültetvények üzemszerű termeléséhez.

A mini- és midirotaációs iltetvények betakarításához kapcsolódó kutatások megállapításai a következők:

A nemzetközi szakirodalom szerint, a világban több alkalmas gép található az energetikai faültetvények betakarítására. A magyar minirotaációs faültetvények azonban eltérnek az európai és az egyéb dendromassza iltetvényektől, hiszen előkelő hozamuk miatt, a piacon lévő gépekkel maximum csak két éves korban lehet biztonságosan betakarítani. Ezért fejleszteni kellett a 2-3 éves vágásfordulóval kezelt állományok biztonságos betakarítására megfelelő gépet. Az OGFA betakarító gépen végzett kísérletek alapján megállapítható, hogy alkalmas a 2-3 éves nemesnyár, a 1-2 éves akác betakarítására. A teljesítménye hasonló, mint a Skandináviában alkalmazott betakarítógépeké, viszont a készített apríték frakcióeloszlása egyenlőre nem megfelelő a jelenleg alkalmazott energiakonverziókban. Az előállított aprítékot tovább kell aprítani, amely megnöveli a költségeket és az energiaigényeket, ezáltal csökkenti az energia-többszöröst.

A magyar rendrevágó adapter alkalmas az újratelepítéses faültetvények letermelésére, amely a jelen kutatás által kifejleszt munkarendszerekben (rendrevágó-mobil aprítógép, rendrevágó-kötegelő) alkalmazható. A rendrevágó nagyüzemi kísérlete, rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvényekben, várhatóan 2006/2007. év telén kerül kivitelezésre.

5. A MINI VÁGÁSFORDULÓJÚ ENERGETIKAI FAÜLTETVÉNYEKBEN TERMELT FAANYAG ENERGETIKAI HASZNOSÍTÁSA ÉS VIZSGÁLATA

5.1. Helyzetelemzés, a téma indoklása

A növényi biomassa, a lignocellulózok energetikai hasznosítása során szükséges kiemelni néhány igen fontos témakört, mert ezek meghatározzák a megoldandó feladatokat és az elérhető eredményeket.

A rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények energetikai hasznosítása során figyelemmel kell lenni

- az energiahordozó alapanyag elemi és vegyi összetételére, kémiai és fizikai tulajdonságaira,
- az energiatermelés módjára és berendezéseire,
- az alapanyag legmegfelelőbb állapotát (esetleg tulajdonságait) meghatározó előkészítő tevékenységekre és azok műszaki megoldásaira,
- valamint az energiatermelés környezeti hatásaira.

A rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények által szolgáltatott faanyag a szilárd biotüzelőanyagok csoportjába, azon belül a fás szárú lignocellulózok alosztályába tartoznak. Ezeket a dendromassa típusokat a mellékletben, az 5.1. sz. ábrán látható módon lehet energetikai célra hasznosítani.

A fa energetikai hasznosítása során, az egyes energiakonverziók nincsenek egyértelműen lehatárolva, ezért kutatásaim során célul tűztem ki, hogy ezeket a vizsgálataim során a lehető legpontosabban lehatároljam. Ezt a kutatást szolgálja az előzőleg említett 5.1. sz. ábra a mellékletben.

Nyilvánvalóvá vált, hogy hazánk energiagazdálkodásában egyre nagyobb szerepet fog vállalni a biomassa, elsősorban jelenleg a dendromassa. Ezért szükséges volt egy olyan rendszer kialakítása, amely tartalmazza a dendromassa lehetséges, energetikai célú előkezelési és átalakítási eljárásait.

5.2. A minirotaációs energetikai célú dendromassa és egyéb lignocellulózok energetikai értékelése

Az energetikai hasznosításhoz kapcsolódóan a vizsgálataimat nemcsak az energetikai faültetvényekről származó lignocellulózokkal végeztem, hanem – az összehasonlíthatóság érdekében – egyéb növényi biomassa típusok által szolgáltatott alapanyagokra is kiterjedően.

A különböző energetikai céllal hasznosított lignocellulózok kutatásánál elengedhetetlen a következő tulajdonságok vizsgálata:

- nedvességtartalom,
- hamutartalom,
- frakcióeloszlás,
- fűtőérték, égéshő,
- elemi összetétel,
- vegyi összetétel,

- hamu fizikai tulajdonságai,
- valamint egyéb energetikai felhasználásnál speciális tulajdonságok.

A lignocellulózok energetikai célú vizsgálata során a fűtőérték mérésére és számítására irányulnak a legtöbb kutatások.

A különböző tüzelőanyagok elemi összetétele alapján az égéshő és a fűtőérték számítására alkalmas képletekkel már a XIX. század végén is foglalkoztak. Először DULONG, 1880. in CHANNIWALA ET PARIKH, 2001. alakította ki a máig szinte minden energetikai területen – tévesen – alkalmazott képletet (az összefüggésekben a következő jelölések találhatók: HHV – Higher Heating Value – Felső fűtőérték, Égéshő; C,H,N,O,S – a különböző elemi összetevők százalékos értékei; A- hamutartalom):

$$\text{HHV}=0,3383*\text{C} + 1,443*(\text{H} - \text{O}/8) + 0,0942*\text{S} \text{ (MJ/kg)}.$$

DULONG a különböző széntípusokra hozta létre ezt a korrelációt, azonban szinte mindenütt ezt a képletet alkalmazzák a különböző szilárd biomasszák felső fűtőértékének becslésére. Az alapanyag elemi összetétele alapján ezen kívül több kutató foglalkozott a különböző faanyagok fűtőértékének meghatározásával. (MOLNÁR, 1998., NÉMETH, 1997., MAROSVÖLGYI, 2001., CHANNIWALA ET PARIKH, 2001.) Számos szakirodalomban a kén százalékos értékét el szokták hanyagolni, mondván, hogy a fa kén tartalma nagyon alacsony. (KOVÁCS ET MAROSVÖLGYI, 1990., NÉMETH, 1997.)

A biomassza elemi összetétele és a felső fűtőértéke közti összefüggésekkel először TILMANN, 1978. in CHANNIWALA ET PARIKH, 2001. foglalkozott. A fűtőértéket a biomassza karbon tartalmával határozta meg:

$$\text{HHV}=0,4373*\text{C} - 0,3059 \text{ (MJ/kg)},$$

majd a módosított képlet:

$$\text{HHV}=0,4373*\text{C} - 1,6701 \text{ (MJ/kg)}.$$

DULONG 1880., DULONG ET BERTHELOT, 1978. és TILLMAN, 1978. in CHANNIWALA ET PARIKH, 2001. számítási eljárásai alapján GRABOSKY ET BAIN, 1981. hozta létre először a biomassza elemi összetétele és a felső fűtőértéke közti korrelációt. Kutatásaik alapján a következő képlet 1,5 %-os hiba határral meghatározza az adott lignocellulóz fűtőértékét (MJ/kg) (CHANNIWALA ET PARIKH, 2001.):

$$\text{HHV}=0,328*\text{C} + 1,4306*\text{H} - 0,0237*\text{N} + 0,0929*\text{S} - (1-\text{A}/100)*(40,11*\text{H}/\text{C}) + 0,3466.$$

CHANNIWALA ET PARIKH, 2002. számítási eljárása a következő:

$$\text{HHV}=0,3491\text{C} + 1,1783\text{H} + 0,1005\text{S} - 0,1034\text{O} - 0,0151\text{N} - 0,0211\text{A} \text{ (MJ/kg)}.$$

SHENG ET AZEVEDO, 2005. kutatásai alapján az égéshő számítási eljárás csökkentésére a következő összefüggést alkalmazták:

$$\text{HHV}=19,914 - 0,2324*\text{A} \text{ (MJ/kg)}.$$

SHENG ET AZEVEDO, 2005. vizsgálatai szerint az előző képlet a gyakorlat számára megfelelő korrelációval rendelkezik.

Megállapítható, hogy a biomassza felső fűtőértékének számítására különböző összefüggések állnak rendelkezésre. Magyarországon azonban a biomassza fűtőértékének meghatározására még nem történtek kutatások. Különböző vizsgálatok folytak az egyes lignocellulózok fűtőértékének mérésére, de korreláció meghatározására nem került sor. (MAROSVÖLGYI, 2001.)

Ezért az egyes faültetvényekről származó klónok elemi összetételének, hamutartalmának, nedvességtartalmának és fűtőértékének meghatározására, valamint az előbbi tényezők közötti korreláció vizsgálatára végeztem kísérleteket, szabványosított elemi összetétel-mérő (Elemental Variomacro), hamutartalom-mérő (szabványosított égetőkemence), nedvességtartalom-mérő (Mettler Toledo HG73) és fűtőértékmérő (ICA T200 Basic) műszerekkel az FVM Műszaki Gépesítési Intézet akkreditált Agroenergetikai Laboratóriumában, Gödöllőn, 2004-től folyamatosan.

A minirotaációs energetikai faültetvényekről származó klónok faanyagainak vizsgálata esetén, mindegyik vizsgálatnál 5-szörös ismétlést végeztem, és az öt értékből határoztam meg az átlagokat. A fontosabb elemi összetétel és fűtőérték mérési eredmények az 5.1. sz. táblázat kerülnek bemutatásra.

5.1. sz. táblázat: Saját fontosabb mérési átlageredmények a következők:

Fafajta	N	C	S	H	O	Nedves- ségtarta- lom (%)	Hamu- tarta- lom (%)	HHV (MJ/kg)	HHV (MJ/asz kg)
'Monviso'	1,43	48,79	0,16	5,26	38,70	2,66	3,00	19,537	19,604
'Beaupre'	1,65	49,27	0,12	5,28	38,04	2,73	2,90	19,804	19,872
'Raspalje'	1,59	49,36	0,12	5,35	38,33	2,75	2,50	19,671	19,740
'BL'	1,56	48,67	0,32	5,22	38,57	2,55	3,10	19,810	19,877
'AF2'	1,30	48,27	0,11	5,24	40,18	2,30	2,60	19,837	19,895
'AF1'	1,58	48,04	0,17	5,14	39,03	3,04	3,00	19,537	19,613
Fűz	1,02	47,51	0,08	5,30	42,61	1,68	1,80	19,910	20,408
Bálványfa	-	-	-	-	-	-	-	-	19,330- 19,780

Megjegyzés:

- A nemesnyár klónok a királyegyházai ültetvényről származnak, 1 éves hajtásokból történt a mintavételezés.
- A fűz faanyag a mátészalkai ültetvényről származik, ugyancsak egy éves hajtásokról.
- A bálványfa a tatai minirotaációs faültetvényről származik, 5 éves hajtásokból történt a mintavételezés.

Megállapítható, hogy a fűz fafaj fűtőértéke magasabb, hamutartalma viszont alacsonyabb, mint a nemesnyár fajtáké. Az 'AF2' klón fűtőértéke a legnagyobb az egyes nemesnyár klónok között.

A hazai nemesnyár és egyéb faültetvények által szolgáltatott faanyag fűtőértékének elemzése érdekében kutatást végeztem az egyes fűtőérték számítási eljárások között. Korrelációs vizsgálatot hajtottam végre az egyes fűtőérték számítási módszereknél az előbbi fafajták fűtőértékének kiszámítására. A cél az volt, hogy megállapítsam melyik számítási eljárás alkalmazható – a legnagyobb korrelációs koefficienssel – a hazai minirotaációs energetikai faültetvények által szolgáltatott faanyag fűtőértékének meghatározására.

A hibaszámítás során a nemzetközi szakirodalomban alkalmazott, átlagos abszolút hiba (AAE) és az átlagos hiba (ABE) meghatározására a következő képleteket használtam:

$$AAE (\%) = 1/n * \sum_{(i=1...n)} | (HHV_{számolt} - HHV_{mért}) / HHV_{mért} | * 100$$

$$ABE (\%) = 1/n * (\sum_{(i=1...n)} (HHV_{számolt} - HHV_{mért}) / HHV_{mért}) * 100$$

A korrelációs koefficienset a matematikai statisztikában alkalmazott képlettel határoztam meg:

$$R^2 = 1 - \sum_{(i=1...n)} (HHV_{számolt} - HHV_{mért})^2 / (\sum_{(i=1...n)} (HHV_{mért}(\text{átlag}) - HHV_{mért})^2)$$

(DERIMBAS, 1997., DERIMBAS, 2001., PARIKH ET AL. 2005., SHENG ET AZEVEDO, 2005.)

A fűtőérték elemi összetétel alapján való meghatározására különböző eljárások készültek. Az egy éves nemesnyár faültetvények fűtőértékére azonban GRABOSKY ET BAIN, CHANNIWALA ET PARIKH, SHENG ET AZEVEDO számítási eljárásai alkalmazhatók a gyakorlat számára is elfogadható korrelációs koefficiens értékkel. (5.2. sz. táblázat)

5.2. sz. táblázat: A fűtőérték eljárások korrelációs eredményei a következők:

Számítási eljárás megnevezése	AAE-Átlagos abszolút hiba (%)	ABE-Átlagos hiba (%)	R ² -Korrelációs koefficiens
Dulong	14,084	-3,380	0,4949
TILLMAN	0,868	-0,208	0,7374
GRABOSKY ET BAIN	3,361	-0,807	0,9384
CHANNIWALA ET PARIKH	3,543	-0,850	0,9462
SHENG ET AZEVEDO	2,257	-0,542	0,8736

A kutatás során megállapításra került, hogy a DULONG, 1980. által, a szén fűtőértékének számítására alkalmazott módszer nem megfelelő korrelációs koefficienssel rendelkezik az egyes nemesnyár fajták és egyéb faültetvények által szolgáltatott faanyag fűtőértékének meghatározása esetén.

A hamutartalom is befolyásolja az energiakonverziót, hiszen az egyes biomassza típusoknak többszöröse lehet a hamutartalma, mint a fának. Példaként szükséges megemlíteni az energiafűvet, amelynek hamutartalma meghaladhatja a természetes fa hamutartalmának 10-szeresét. (MAROSVÖLGYI ET IVELICS, 2005.)

A hamutartalom összetétele is meghatározó lehet az egyes biomasszát tüzelő berendezések számára. A hamu Mg, Ca tartalma a hamu olvadás pontját megemeli, a Si, K, Na tartalma viszont csökkenti. Ezért a lágyszárúak hamuolvadás pontja (600-800 Celsius fok) alacsonyabb, mint a fa hamuolvadás pontja (900-1100 Celsius fok), mivel a lágyszárúakban magasabb a Si és a K tartalom. (HEIN ET KALTSCHMITT, 2004., MAROSVÖLGYI ET AL. 2005.)

A nedvességtartalom meghatározása nagyon fontos feladat, mivel egy biomassza-bázisú energiatermelő technológiát erősen befolyásolhatja az adott lignocellulóz fűtőértéke. Nedvességtartalom-vizsgálat választ ad arra, hogy szükséges-e a tárolás vagy a szárítás, esetleg egyiket sem kell kialakítani a hasznosítás során.

5.2.1. A szilárd biotüzelőanyag értékelő indikátor

A kiértékelhetőség és az összehasonlíthatóság, valamint a döntés-előkészítés elősegítése érdekében a kutatásaim során olyan indikátorokat alakítottam ki, amelyekkel egyértelműen lehatárolható, hogy az adott energetikai hasznosítási módszerrel, melyik szilárd biomassza energiahordozó hasznosítható a leghatékonyabban. (IVELICS, 2005.)

A szilárd biomasszákat, mint energiahordozókat az energetikai hasznosítás szempontjából nagyon nehéz értékelni. Az energiafa, vagy egyéb energia célú dendromassza összehasonlításánál nem szabad abba a hibába esni, hogy csak az adott alapanyag fűtőértékét és víztartalmát vesszük számításba. Ez alapján nemcsak a fűtőértéket és a víztartalmat, hanem a sűrűséget és a hamutartalmat is szükséges meghatározni, és számításba venni. A teljesebb körű összehasonlításhoz, értékeléshez létre kell hozni egy olyan indikátort, amely tartalmazza az adott alapanyag víztartalmát, hamutartalmát, fűtőértékét és sűrűségét.

LABRECQUE ET AL. 1997. meghatározták az úgynevezett energiafa értékelő indexet (FVI - Fuelwood value index), amely az energetikai faültetvényekből (elsősorban *Salix* ssp.) származó tüzelőanyag összehasonlítását teszi lehetővé, anélkül, hogy csak a fűtőérték alapján vennék számításba az egyes fafajok aprítékát. Ez alapján a rövid vágásfordulójú faültetvények egyes fafajai tüzelőanyag minőségük alapján más sorrendet alkotnak, mint azt a fűtőértékük alapján létre lehetne hozni. LABRECQUE ET AL. 1997. által kialakított indikátor a fűtőértéket és a speciális sűrűséget pozitív értékként, a hamutartalmat és víztartalmat negatív értékként tekinti. Kanadában LABRECQUE ET AL. 1997. a fűtőértéket egy ASTM D240-87 módszer segítségével, bomba kaloriméterben határozta meg.

A speciális sűrűséget úgy határozták meg, hogy az adott anyag szárított tömegét elosztják ugyanennek az anyagnak a zöld térfogatával. A zöld anyag térfogatát vízbe merítéssel mérik, egy hengerben. A szárítást 3-4 napig 70 Celsius fokon végzik. A szárítást tömeg állandóságig hajtják végre, amely mérés eredménye a száraz tömeg. Ez alapján a képlet a következő: speciális sűrűség (SG) = (szárított anyag tömege) / (zöld anyag térfogata).

5.2.1.1. Az energiafa értékelő indikátor (FVI)

Az előzőekben bemutatott mérési módokkal meghatározott fűtőérték, speciális sűrűség, hamutartalom és víztartalom alapján, LABRECQUE ET AL. 1997. a következőképpen határozzák meg az energiafa értékelő indikátort:

$$FVI=(CV*SG)/(A*W),$$

ahol CV az energiafa fűtőértéke (KJ/g), SG az energiafa speciális sűrűsége (g/m³), A az energiafa hamutartalma (g/g), W az energiafa víztartalma (g/g).

LABRECQUE ET AL. 2003. a következő átlagos energiafa értékelő indikátor értékeket határozták meg a rövid vágásfordulójú fűz ültetvényekből kikerülő energia aprítékra (zárójelben a sorrend), ugyanakkor az 5.3. sz. táblázat tartalmazza fűz fafajok átlagos fűtőértékét, hamutartalmát, speciális sűrűségét és víztartalmát (zárójelben az egyes jellemzők alapján kialakult sorrenddel):

5.3. sz. táblázat: Különböző kanadai fűz klónok tüzeléstechnikai értékei:

Fafaj	FVI	Fűtőérték	Hamutartalom	Speciális sűrűség	Víztartalom
Salix viminalis	1030,6 (1)	19,21 (3)	1,79 (1)	0,44 (2)	46,20 (1)
Salix petiolaris	954,3 (2)	19,59 (1)	2,31 (3)	0,51 (1)	46,70 (2)
Salix discolor	849,1 (3)	19,22 (2)	1,92 (2)	0,42 (3)	50,29 (3)

Forrás: LABRECQUE ET AL. 1997.

Afrikában ABBOT ET AL. 1997. máshogy határozták meg az energiafa érték indikátort. Malawiban a tűzifa értékelésnél elsősorban a fafajok száradási sebességét tartják meghatározónak, ezért az értékelő indikátor összetevőit máshogy határozták meg, mint LABRECQUE ET AL. 1997.

Afrikában (Malawiban) a trópusi kemény fafajok kis intervallumon belül változó fűtőértéke miatt, a fűtőértéket a képletben nem használják. A trópusi kemény fafajok fűtőértékét átlagosan 19,73 MJ/kg veszik számításba (EBERHARD IN LABRECQUE ET AL. 1997.). Az indikátor meghatározásánál minden fafajra a fűtőértéket egy állandó értékkel helyettesítik, vagy teljesen kihagyják a képletből.

Így a következőképpen alakul az energiafa értékelő indikátor:

$$FVI=(HV*D)/(AC*WC),$$

ahol HV az energiafa fűtőértéke, amelyet jelen esetben 19,73 MJ/kg átlagos értékkel vesznek számításba, D az energiafa átlagos sűrűsége, AC az energiafa hamutartalma és WC az energiafa víztartalma, utóbbi kettő százalékos értékben.

A hamutartalmat 2 mg szárított faporból határozzák meg, amelyet 600 Celsius fokon égetnek 45 percig. A víztartalmat a fafaj száraz tömegéhez viszonyítva százalékban adják meg.

Indiában GOEL ET BEHL, 1996. ugyancsak kialakított energiafa értékelő indexet, mint LABRECQUE ET AL. 1997., melyet elsősorban az indiai tűzifa állományok vágásfordulójának meghatározásához alakították ki. A képlet ugyanúgy alakul, mint a kanadai, de az egyes komponensek mérési módszere más és más. A fa mintákat mellmagassági átmérőnél vágják ki a döntött fákból. Ezekből 5 cm³-s darabokat szárítottak súlyállandóságig. A szárított mintákat örölték és egy Parr oxigén bomba kaloriméterben mérték a fűtőértékét. A sűrűséget a döntött fából vett mintából határozták meg. A hamutartalmat pedig 2 gramm mintának az égetéséből mérték, egy platina betétes kemencében 550 Celsius fokon, amelyben az égetés 5 órán keresztül történt.

Ugyanakkor egyéb indiai kutatók KATAKI ET KONWER, 2002. a trópusi területeken található tűzifáknak határozták meg az energiafa értékelő indexét. A képletben nem használták a víztartalmat, melynek figyelmen kívül hagyására nem adtak magyarázatot.

BHATT ET TOMAR, 2002. viszont az energiafa érték indexet hasonlóan alakították, mint KATAKI ET KONWER, 2002. A víztartalom értékeit azért nem vették számításba, mert úgy gondolták, hogy az égéshő értékeit már a víztartalommal csökkentették, amikor meghatározták a fűtőértéket. Ezért még egyszer nem akarták csökkenteni az FVI értékét azzal, hogy a víztartalmat is számításba veszik, mint negatív tényezőt.

Mindezek a különböző számítási eljárások egy-egy cél érdekében alakultak ki. Elsősorban az egyes szilárd tüzelőanyagok, különösen az energiafa féleségek energetikai hasznosításának összehasonlítása érdekében, vagy az egyes tűzifák vágásfordulójának meghatározására.

5.2.1.2. A magyar energiafa és a szilárd biomassza értékelő indikátorok

Hazánkban még nem alakult ki az energiafát mint energiahordozót értékelő indikátor, pedig a Magyarországra váró megújuló energetikai fejlesztések, és a várható erőműi átállások miatt, fontos lenne kialakítani az előzőekben bemutatott indikátorokat.

A nemzetközi energiafa érték indikátor meghatározási elve alapján kialakítottam, a magyarországi energiafa fajtáinak értékelésére egy energiafa értékelő indexet (Fuelwood Value Index - FVI_{magyar}). Emellett a kör bővítése érdekében létrehoztam egy olyan

indikátor kialakítása, amely nemcsak a tűzifával vagy az energiafával, hanem a szilárd biomasszát, mint energiahordozót értékeli. Ez alapján kialakítható az energia célú szilárd biomassza értékelő index (FuelBiomass Value Index FBVI).

Hazánkban a fűtőérték meghatározása bomba kaloriméterben történhet. Az értékeket KJ/g-ban szükséges megadni. A mérendő anyagot örölni kell, legalább 1 mm-nél kisebb szemcseméretűre.

Mivel hazánkban nincs kialakult, az előzőhöz hasonló speciális sűrűség mérési és számítási eljárás, ezért a sűrűség a hazai módszerekkel, száraz tömegre és térfogra határozható meg. Természetesen a mini vágásfordulójú faültvényeknél a külföldi szakirodalomban használatos speciális sűrűséggel és a magyar energiafa értékelő indexhez tartozó sűrűséggel is számolni kell, az összehasonlíthatóság érdekében.

Hamutartalom és a víztartalom meghatározása esetén hamutartalom-, víztartalom-mérő műszerek elfogadottak, azzal a megkötéssel, hogy nem százalékban kell a hamutartalmat és víztartalmat használni, hanem tömegszázalék (g/g) formájában.

IVELICS, 2005. szerint az energiafa értékelő index Magyarországon is alkalmazható képlete a következőképpen alakítható ki:

$$FVI_m=(HV*SG \text{ v. } G)/(AC*WC),$$

HV az energiafa fűtőértéke (KJ/g), SG az energiafa speciális sűrűsége (g/m³), G az energiafa sűrűsége (g/m³), AC az energiafa hamutartalma (g/g), WC az energiafa víztartalma (g/g).

A szilárd biotüzelőanyag értékelő indikátor pedig a következő képlettel számítható:

$$FBVI=(HV*G)/(AC*WC),$$

HV a szilárd biomassza fűtőértéke (KJ/g), G a szilárd biomassza sűrűsége (g/m³), AC szilárd biomassza hamutartalma (g/g), WC a szilárd biomassza víztartalma (g/g).

Meghatároztam néhány energiafa féleségre és egyéb biomasszákra a hazai FVI, illetve FBVI értékeket. Az 5.1. sz. és 5.2. sz. diagramok és a 5.4. sz. táblázat bemutatja a különböző szilárd biotüzelőanyagok értékelő indikátor értékeit. (IVELICS, 2005.)

Az FVI_{magyar} és az FBVI indikátorok alapján értékelni lehet az egyes energiafa féleségeket, illetve a szilárd biomasszát a lakosság, az erőművek és a decentralizált hőközpontok számára.

Az FVI, és az FBVI értékek alapján megállapítható, hogy a szilárd biotüzelőanyagok közül a fabrikettek és biobrikettek képviselik az első helyet. Sajnos a hazai Salix (fűz) faültvényeinkről származó tüzelőanyagok FVI értékei alul maradnak a kanadai vagy az egyéb európai értékektől, amely elsősorban a sűrűség mérési eljárások különbözőségének köszönhető. A nemesnyár és az akác energetikai ültvényeink által szolgáltatott minták sokkal kedvezőbb eredményeket mutatnak a külföldi fűz faültvényekével szemben.

A hazai tűzifák energiafa értékelő indexe szignifikánsan magasabb értéket vesz fel, mint a faültvények értékei, tehát energetikai szempontból részben eltérő tulajdonságokkal rendelkezik ez a két energiafa típus, amely a sűrűség, a nedvességtartalom jelentős eltérése miatt alakul ki. Ha összevetjük a mezőgazdasági melléktermékek FBVI értékeit a hazai energiafa féleségek FVI értékeivel kitűnik, hogy csak az energiafű veheti fel a versenyt a

dendromasszából származó biotüzelőanyagokkal. Azonban természetesen nem szabad figyelmen kívül hagyni azt, hogy az energiafű elégetésekor sokkal több kálium, szilícium és klór szabadul fel, mint az energiafánál. Ez kedvezőtlenebb tulajdonságokat kölcsönöz az energiafűnek, mert elégetése során sokkal korrozívabb, mint a dendromassza. Ezért a későbbiekben szükséges olyan indexek kidolgozása, amelyek figyelemmel vannak a káros hamualkotók hatására.

Az összehasonlítást elvégeztem a biobriketteknél, ahol a fás lignocellulóz alapú brikettek FVI értékei jóval nagyobbak, mint a lágyszárú lignocellulóz alapú biobrikettek FBVI értékei. Ez elsősorban a lágyszárúak, általában fűfélék magas hamutartamának köszönhető.

5.3. A biobrikett (fabrikett, egyéb lignocellulóz brikett) előállításával kapcsolatos, műszaki- és anyagvizsgálatok, valamint azok eredményeinek hasznosulása

5.3.1. A biobrikett-gyártásról általában

A brikett-gyártás az aprítással ellentétes műveletnek, a darabosításnak egyik módja. A brikett-gyártás során az aprószemcsés laza anyagból megfelelő nyomással üregekben – a nyersanyag minőségétől függően, kötőanyaggal vagy anélkül – tömör alaktestek: brikettek, tabletták, blokkok, téglák készíthetők. Iparilag legelterjedtebb a szenek brikettálása, de érceket, tőzeget, kősót, különféle takarmánykeverékeket és számos hulladék anyagot, mint napraforgó-, kávé-, rizshéjat, fűrészport, maradványokat stb. is brikettálnak. A szükséges nyomás a brikettálandó anyag minőségétől függ. Ugyanakkor a melléktermékek közvetlen tüzelését nagymértékben gátolja azok terítés jellege, a szállítás és szárítás oldásának nehézsége. Ezen okok miatt tüzelésre csak a keletkezés helyének szűk környezetében lehet gondolni. A biobrikett nagyobb távolságra is viszonylag gazdaságosan szállítható, megszűnik szezonális jellege. (LÁNG, 1985.)

A tüzelési célra alkalmas biobrikett legfőbb jellemzője a nagy sűrűség, ill. tömörség (1-1,4 g/cm³). A melléktermékekből a biobrikettet kötőanyag nélkül készítik, célszerű lehet azonban különböző melléktermékek összekeverése, ill. bekeverése is, de a biobrikettnél kötőanyag felhasználása nélkül végzik a gépek a tömörítést.

Magyarországon különböző típusú és működési elvű présgépeket használnak (csigás, dugattyús). A gépek préselési energiaigénye eltérő. Legkisebb a dugattyús prések energiaigénye, a legnagyobb a csigás préseké, de ez a préselési technológia legkevésbé érzékeny az alapanyag nedvességtartalmára. A gépektől függetlenül a préselvény tömörsége, pontosabban a fajlagos súlya alapvetően meghatározza a fajlagos energiafelhasználást. (KOVÁCS, 1987., MAROSVÖLGYI, ET IVELICS, 2005.)

A biobrikett-gyártás alapvetően két technológiában folytatható. Ezek beruházási- és üzemeltetési költségeket tekintve alapvetően eltérnek egymástól. Biobrikett állítható elő a már szárított faanyagot feldolgozó üzemek por- és finomforgács hulladékaiból, illetve az elsődleges fafeldolgozás változó nedvességtartalmú, utánaaprítást, szárítást, osztályozást és technológiai anyagmozgatást igénylő, fűrészpor-, fa- és kéreghulladékaiból valamint mezőgazdasági és egyéb melléktermékekből. (KOVÁCS, 1988., MAROSVÖLGYI, 2001.)

Különbséget kell tenni a brikett és a pellet között. Brikettnak nevezzük az 50 mm vagy ennél nagyobb átmérőjű, kör, négyszög, sokszög, vagy egyéb profilú tömörítvényeket, melyeket különböző melléktermékekből állítanak elő. Pelletnek nevezzük a körcellás

görgős préseken készített 3-25 mm átmérőjű tömörítvényt, amely a takarmánykeverék gyártó üzemek létesítésével vált széles körben ismertté. (BARÓTFI, 1998., KOVÁCS, 1997.) Tehát a pelletálás a biobrikett gyártás speciális változata. Kedvező paraméterei miatt az utóbbi időben igen nagymértékben terjed a tüzipellet gyártás.

A biobrikett igen kedvező tulajdonságokkal rendelkező energiahordozó, de egy nagy hátránya van: méretei miatt kis tüzelőberendezések esetén nem, vagy csak igen nehezen oldható meg a tüzelőanyag automatizált betáplálása. Erre a célra az igen kis méretű (5-10 mm átmérőjű, és 10-25 mm hosszú) pellet sokkal jobban megfelel, mert csigas vagy cellás adagolóval igen pontos adagolással juttatható a tüztérbe, tehát egészen kis hő teljesítményű berendezések is jó hatásfokkal működtethetők vele.

A pellet igen termelékenyen állítható elő. Az alapanyag por, forgács, apríték, szecska lehet. A gépben a termék előállítása közben is folyik aprítás őrlés, ezért kevésbé finom szemcse méretű alapanyagot igényel, mint a dugattyús brikettáló.

A pelletálás gépe a pelletáló. Két változata ismeretes a hengermatricás és a síkmatricás. Mindkét esetben járókerekek (görgők) préselik át az alapanyagot a matrica furatain. A görgők őrlést is végeznek. A pellet $0,7-0,9 \text{ g/cm}^3$ sűrűségű. Ömlesztett halmazsűrűsége $600-650 \text{ kg/m}^3$. (MAROSVÖLGYI, 2002.a)

5.3.2. A kísérleti brikettáló üzem műszaki-technológiai jellemzőinek bemutatása és fejlesztése

A Nyugat-Magyarországi Egyetem Energetikai Tanszéke részt vesz a biobrikett-gyártás kutatás-fejlesztési programjában. A harkai Bio-brikett kft. és az Energetikai Tanszék pályázatot nyert, majd további fejlesztéseket az OM támogatásával, amelyet a KMFP pályázat keretében terveznek megvalósítani. A cél a biobrikett-gyártás nyersanyagbázisának és technológiájának fejlesztése, valamint az ezekhez kapcsolódó műszaki-infrastrukturális fejlesztés megvalósítása. A célkitűzések megvalósításában partner a Nyugat-Magyarországi Egyetem Energetikai Tanszéke, amely a fejlesztésekhez kapcsolódó kutatási feladatokat látja el. A kutatási feladataim ehhez a projekthez kapcsolódan végeztem. Vizsgálataim célja a biobrikett-gyártás nyersanyagbázisának és technológiájának fejlesztése. Ugyanakkor a vizsgálataim kapcsolódnak az EU-5 „BIONORM” kutatási programhoz, amely a biológiai energiahordozók előállításával-forgalmazásával és hasznosításával kapcsolatos EU szabványosítást készíti elő.

A kutatási eredmények azt mutatták, hogy egyéb lignocellulózok felhasználásával is készíthető biobrikett. Új műszaki megoldás alkalmazásával lehetőség nyílt az export-minőségű brikett gyártására a korábbinál nagyobb hányaddal és új anyagok termelésbe vonására került sor. Mintaértékű, környezetbarát energiahordozót biobrikettet állítottunk elő, melynek terméke az EU normatíváknak is megfelelő minőségű. Az üzem épületében korábban egy 150 kg/h névleges teljesítményű (tömegáram) MOD-BRICMATIC 1-50/130 típusú dugattyús présgép üzemelt.

Az üzemben előállított brikett alapanyaga fenyő-nyír-akác fapor keverék volt, amely a közeli fafeldolgozó üzemekben gyártási hulladékként termelődött. A brikett névleges átmérője 50 mm volt, 60%-a export-minőségű és $\sim 1,1 \text{ g/cm}^3$ sűrűségű 40%-a másodosztályú (hazai), $\sim 0,9 \text{ g/cm}^3$ tömörséggel. A brikett-gyártás az alapanyagot adó üzemekben termelődő faforgács-hulladék mennyiségéhez igazodva meglehetősen változó ütemben zajlott.

Megvalósult egy nagyobb kapacitású gép üzembe helyezése. A nagyobb kapacitású gép kiválasztása a rendelkezésre álló üzemi terület maximális kihasználását célozva történt meg. A korábbi 150 kg/h kapacitású gép helyére így egy BRIK B70 típusú, 800 kg/h névleges teljesítményű présgép került. (Képmelléklet: 5.1-4. sz. képek.) A gép mind a hagyományos brikett készítésére, mind az új alapanyagokkal történő kísérleti brikettáláshoz használható. A présgép telepítése úgy történt, hogy hozzá a lehetséges leghosszabb hűtőcsatorna szerelésére legyen lehetőség. A gépsor végén megteremtették a méretre darabolás és a csomagolás feltételeit is. Az exportra kerülő termék dobozott formában (raklapokon), a belföldre szánt brikett műanyag zsákos csomagolással kerül forgalomba.

5.3.3. Az új vizsgálati módszerek bemutatása

A biobrikettek értékelési módszereinek fejlesztése céljából kísérleteket kezdtem. Több még eddig nem alkalmazott módszer bevezetésére került sort, a biobrikettek pontosabb összehasonlítására, értékelésére.

5.3.3.1. Morzsolódási tényező meghatározása

A biobrikett egyik legfontosabb kezelhetőségi tényezője az állékonysága. Elvárás ugyanis az, hogy a csomagolás, szállítás és tárolás közben a brikett ne morzsolódjon. Ezt a morzsolódási tényezővel fejezhetjük ki. A briketteket erre a célra kialakított készülékben – acélketrecben - dinamikus hatásoknak kitéve fárasztottam. Sem az Európai Unióban, sem Magyarországon nem végeztek még ilyen kísérletet, vagy kezdetleges állapotban jár a kialakításuk. Így az acélketrec méreteit meghatároztam, és a villanymotor által létrehozott fordulatszámot is a kutatás során határoztam meg. (A vizsgáló berendezés 20*20*45 cm-es téglatest, amelynek oldalain 6*8 mm-es drótháló található. A ketrecet egy villanymotor hajtja meg. A morzsolódási mérés közben a ketrec fordulatszám 40 percenként.) A vizsgálatok közben mértem a leváló részek mennyiségét és számítottam a morzsolódást. Megállapítható volt, hogy a fabrikett morzsolódási tényezője 0,2-2,8 % között változott, amelynek átlagos 0,7 %-os értéke igen jó minőségűnek mondható.

5.3.3.2. Nedvszívási kísérletek

A nedvszívás a relaxálás egyik fajtája, ami végső esetben a biobrikett széteséséhez vezet. A nedvszívás a brikett gyártási módjától, illetve a brikett anyagának nedvesség tartalmától függ. Méréseim tehát kiterjedtek, a biobrikettek nedvszívó képességének vizsgálatára is. A módszer lényege az, hogy vizsgáljuk a biobrikett nedvszívását, a vízfelvétel közben bekövetkező méretváltozásokat a tengely irányban és az átmérőben. A viszonylag laza szerkezet és a biobrikett csak súrlódásos kötésesei következtében, a környezetből könnyen és gyorsan vesz fel nedvességet. A vizsgálatot addig folytattam, míg a brikett szét nem esett. A módszer részben praktikus információkkal szolgál, részben összehasonlításra ad lehetőséget. A vizsgálatot az adott biobrikettekkel páradús térben folytattam (szobahőmérsékleten, normál nyomáson), és időnként (naponta) történtek kontrollmérések. Minél tömörebb a biobrikett, annál lassúbb a vízfelvétel, és minél szilárdabb kötések tartják össze a részecskéket, annál kisebb a méretnövekedés az átmérőben. Nedvszívó képesség vizsgálatot végeztem nyír és vegyes (bükk, tölgy) biobrikettek esetén. A tömörség és a nedvszívás közötti kapcsolatot jól mutatja az átmérő növekedés ábra. (5.3. sz. diagram a mellékletben.) A közel azonos induló átmérővel rendelkező nyír biobrikett átmérőváltozása szignifikánsan nagyobb, mint a vegyes biobriketté. A hosszváltozás esetén, a nyír biobrikett kisebb induló hossz méret esetén is közel hasonló méretnövekedést mutat, azaz a fajlagos méretnövekedés nagyobb. (5.4. sz. diagram a mellékletben.) A relatív méretnövekedést is meghatároztam és ábrázoltam. A relatív változás esetén

megállapítható, hogy két szakasz különíthető el mind a nyír, mind a vegyes biobrikettek esetében. (5.5-6. sz. diagramok a mellékletben.) Az első szakasz az első 10-15 napot foglalja magába, ahol az elemi biobrikett részecskék csak egy, illetve két irányból vehetik fel a vizet. A 2. szakasznál (a következő 10-15 nap) már a biobrikett elemi brikettekre esik szét, így a biobrikett szétnyílik, és a részecskék három irányból veszik fel a vizet. Ez alapján az első szakaszban lassúbb a vízfelvétel, a második szakaszban pedig gyorsabb, mely folyamat a biobrikett széteséséhez vezet. Az egységnyi hosszváltozás ábrán tapasztalható három szakasz. Az első szakasz az első 10 napot foglalja magába, ahol érdemi hosszváltozás nem figyelhető meg. A következő 8-10 nap az elemi részecskék széteséséig tart, majd a harmadik szakaszban felgyorsul a vízfelvétel, a részecskék háromirányú vízfelvétele miatt. A nyír biobrikett vízfelvétele eltér a vegyes biobrikettétől. Ez igazán az 5.6. sz. diagramon látható, ahol a vegyes biobrikett vízfelvétele a 3. szakaszban lassul, nagyobb tömörsége miatt, a nyír biobriketté pedig gyorsul, amely a nyír alapanyag kedvezőtlen tulajdonságából adódik. Megállapítható tehát, hogy a vízfelvétellel kapcsolatos módszerek összehasonlításra alkalmasak, és ezért a következőkben ilyen módszereket is felhasználtunk a biobrikettek minőségi vizsgálatánál.

5.3.3.3. Hamutartalom és fűtőérték meghatározása

A kutatásaim kiterjedtek a hamutartalom mennyiségének meghatározására. A biobrikettek hamutartalmának értéke 0,8-1,8 % között változott. Az eltérő alapanyagokat tartalmazó biobrikettek között érdemi különülés nem tapasztalható. A hamutartalom átlagos értéke 1,3 % volt. A mérést CARLO-ERBA gyártmányú CHNS EA1108 Elemanalizátorral végeztem a Veszprémi Egyetem Kémiai Műveleti Tanszékén. A harkai biobrikett fűtőértéke átlagosan 17,3-18,6 MJ/kg között változik. A fűtőérték meghatározását a Veszprémi Egyetem Kémiai Műveleti Tanszékével együttműködve, egy Berthelot – Mahler-féle kaloriméterrel határoztam meg.

5.3.3.4. A faforgácsokkal és faporokkal végzett kísérleti eredmények összefoglalása

Tehát vizsgálataim alapján a harkai biobrikett sűrűsége magasabb, mint a fa természetes sűrűsége, mivel elérheti a 0,9-1,4 g/cm³-t. Tapasztalataim szerint a prés gépben fellépő hő és nyomás miatt, a biobrikett nedvességtartalma is kedvezőbb, ezáltal jobb a fűtőértéke is, mint a különböző biomassza melléktermékek energetikai hasznosítása során létrejövő fűtőértékeknek. Méréseim azt mutatják, hogy a harkai biobrikett hamutartalma kicsi 2% alatt marad, tehát a fa alapanyagú biobrikett környezetbarát tüzelőanyag. Nem salakosodik, kevesebb szennyező anyag jut a természetbe. Elégetése során alig szabadul fel SO₂. Továbbá megállapítható, hogy a harkai biobrikett nedvszívási tulajdonsága is megfelelő. A biobrikett páradús környezetben 3-4 hétig sem esik szét alkotóelemeire, tüzelőraktárban több hónapig is eltartható. Tapasztalatom szerint morzsolódási tényezője 3 % alatt maradt, amely lehetővé teszi szállítását, illetve megszűnik az energiahordozó szezonális jellege, amely nagy előnyt jelent a többi más biomassza energiahordozóval szemben. A harkai biobrikett fűtőértéke viszonylag magas, eléri a 17,3-18,6 MJ/kg-ot, tehát a fűtőértéke 40 %-kal nagyobb a tűzifáénál, mely közel megegyezik a barnaszén fűtőértékével. Energiasűrűsége pedig 23-24 MJ/dm³, égéshője pedig 19-20 MJ/kg. (Képmellékletben: Első osztályú és másodosztályú biobrikettek a 5.5-5.6. sz. képeken.)

A harkai Biobrikett Kft.-nél egy új probléma jelentkezik. A hagyományos biobrikett előállításához a környéken nem található több fahulladék alapú nyersanyagforrás, mivel a faipari üzemek vagy felhasználják saját céljaik kielégítésére faporaikat és faforgácsaikat, vagy gazdaságtalanul nagyobb távolságból kellene az alapanyagot beszerezni. Tehát Harkán a faalapú nyersanyagbázis elérte végleges méretét, ezért újabb lignocellulókat

kell keresnünk, annak érdekében, hogy a biobrikett-gyártás fejlődhessen. Olyan lignocellulózokat keresünk, amelynek tulajdonságai alkalmasak a préselésre, illetve az értékesíthető minőségű biobrikett előállítására megoldható legyen.

A biobrikett felhasználás növekvő tendenciát mutat. A Magyarországon gyártott biobrikett legnagyobb része jelenleg exportra kerül, de a hazai igények is megjelentek. A jövőben tehát egyre növekvő keresletre számíthatunk, ami nagyobb alapanyagbázist igényel.

5.3.4. Kísérletek nemesnyár energetikai faültetvényről származó dendromasszával és egyéb lignocellulózokkal

A biobrikett-gyártás felfutását egyrészt a gyártáshoz szükséges megfelelő minőségű alapanyag más irányú értékesítése (pl. exportja, ipari felhasználása, közvetlen eltüzelése vagy almozási célú értékesítése), másrészt annak beszerzésének bizonytalansága, vagy hulladékként történő egyszerű elhelyezése korlátozza.

Vizsgálataim és elemzéseim szerint, már a közeljövőben hiány mutatkozhat a biobrikett-gyártás alapanyag-ellátásában azért, mert a faporok és faforgácsok iránt más területeken is (állattartás), illetve a faiparban is (energiatermelés, lap- és lemezgyártás) nő a kereslet.

A faalapú nyersanyagbázis nem elegendő, ezért növelnünk kell az alapanyagbázist, de olyan új anyagokat kell keresnünk, amelyek megfelelnek a biobrikett-gyártás alapkövetelményeinek.

Nyilvánvalóvá vált, hogy a fahulladékokon alapuló biobrikett-gyártás csak egy meghatározott szintig valósítható meg. Nagyobb léptékű biobrikett-gyártás esetén célültetvények által szolgáltatott alapanyagokra is szükség van. Ezek nemesítéssel vagy szelekcióval javított tulajdonságokkal rendelkező energianövények, amelyek a hagyományoshoz viszonyítva több biomasszát állítanak elő. Például a faültetvények nagy hozamú biomassza termeléssel tehermentesíthetik a természetes vagy természet közeli erdőket, vagy a szántóföldi, energetikai hasznosításra alkalmas lágyszárú növények a hagyományos mezőgazdasági termelésből kivont területeken a földhasznosítás egyik lehetőségét jelenthetik. (DENCs ET AL., 1999.)

A biobrikett-gyártás alapanyagbázisának növelése céljából nemesnyár, energiakender, kínainád és energiafű aprítékot vontam be a vizsgálati lignocellulózok közé.

A nemesnyár aprítékból előállított biobrikett kísérletekhez a Tata-i Parképítő Rt. kísérleti minirotaációs faültetvényein előállított nemesnyár aprítékot használtuk fel úgy, hogy utánaprítást végeztünk lengőkalapácsos aprítógépen.

Az így előállított brikettálható aprítékból a harkai Biobrikett Kft. üzemében igen jó minőségű biobrikett sikerült előállítani, mivel a 2-3 éves hajtásokból készült az apríték, amely még nem parásodott kérget tartalmazott. Ez a fiatal kéreg jelentős mennyiségben tartalmaz hemicellulózt. Ez az anyag a nagy nyomás és a viszonylag magas hőmérséklet mellett kötőanyagként működik, és javítja a biobrikett állékonyságát.

Ennek a sajátos anyagtulajdonságnak köszönhető az, hogy az egyébként nehezen brikettálható nyír fapor-forgácshoz nemesnyár aprítékot (kb. 10-15 %) kevertünk, ezzel jó minőségű biobrikett sikerült előállítani.

A vizsgálataim azt mutatják, hogy a nemesnyár apríték sűrűsége 0,182 – 0,188 g/cm³ között változott (átlagos értéke 0,185 g/cm³).

A tapasztalataim alapján az előállított nemesnyár biobrikett sűrűsége 1,06 és 1,11 g/cm³ között változott, átlagosan mintegy 1,09 g/cm³-rel számolhatunk. A hagyományos biobrikett sűrűségéhez viszonyítva ez az érték valamivel alulmarad a többi faporból és faforgácsból készülő biobrikett sűrűségénél.

A nemesnyár apríték frakcióeloszlására jellemző, hogy a 0-1,6 mm közötti mérettartományban található az alapanyag 40-50%-a, és a maradék 1,6-12 mm között. (5.7. sz. diagram a mellékletben.)

A nemesnyár apríték nedvességtartalma, valamivel magasabb, mint a hagyományos fabrikett alapanyagául szolgáló faporok és faforgácsok, igaz a kedvezőtlen minőségű nyír nedvességtartalmát nem haladja meg. Számszerűsítve a nyár apríték nedvességtartalma 13-14 %, átlagosan 14 %, így a nyár biobrikett nedvességtartalma pár százalékkal csökken, 10-12 %-ot ér el a préselés után.

Az új vizsgálati módszereink közül ütőszilárdsági vizsgálatot is végeztem a nemesnyár biobriketten. A morzsolódási tényezője 1 % alatt maradt, mely érték nagyon jónak mondható. A nemesnyár aprítékból készülő biobrikett hamutartalma 1,5-2,5 %-ot ért el, amely meghaladja a fabrikettek hamutartalmát. Tehát ebből a szempontból az energetikai faültetvény alapanyagú biobrikett tulajdonsága kedvezőtlenebb, mint a hagyományos alapanyagból előállított biobriketté. (Marosvölgyi et al., 2003.b)

Összefoglalva a vizsgálati eredményeket, megállapítottam, hogy a nemesnyár aprítékból nagyon jó állékonyságú, export minőségű biobrikett állítható elő (5.7. sz. kép a képmellékletben.) A nyír faporral és faforgáccsal bekeverve ugyancsak jó minőségű biobrikett állítható elő, amely a nemesnyár apríték kedvező hatásának tudható be, ugyanis a nyír faporokból és faforgácsokból csak másodosztályú vagy még értékesítésre sem alkalmas biobrikett állítható elő.

A rostkender nagyon sokoldalú növény. Szára rostokat tartalmaz, magvaiból olaj nyerhető, illetve narkotikum tartalmú gyanta található a felső levelek és a virágos részek mirigyszőreiben. Különböző változatai és művelésének különböző típusai használatosak attól függően, hogyan hasznosítják. A textiliparban, a papíriparban és más ipari területen használják fel. Széleskörű felhasználhatósága vezetett a kender Nyugat-Európai termőterületének növekedéséhez. (MAROSVÖLGYI, 2001.a)

Az energiakendert a Szarvasi Főiskola Környezettudományi Kar kutatói fejlesztik. A fő cél az, hogy nagy hozamú, könnyen betakarítható kendert kísérletezzenek ki, amely az ipari hasznosítás mellett lehetővé teszi az energetikai hasznosítást is. (Szarvason hektáronként 10-15 t szárazanyag termést értek el.) (DENCSE ET AL., 1999.)

A próbálkozás részben eredménytelennek bizonyult. A kender szívós rostjai ellenálltak a tárcsás- és a lengőkéses aprítógépnek is, így nem sikerült a biobrikett-gyártás szempontjából megfelelő aprítékot létrehozni.

A vizsgálataim alapján az alapanyag nedvesség tartalma 10-12 %, átlagosan 12 %, sűrűsége pedig 0,110-0,136 g/cm³ között változik. A frakcióeloszlására jellemző, hogy a 0-

1,6 mm közötti mérettartományban található az alapanyag 50-60%-a, és a maradék 1,6-12 mm között. (5.30. sz. diagram a mellékletben.) Megpróbáltunk biobrikettet előállítani. A biobrikett a kezünkkel szétmorzsolható, és csak nagyon rövid 3-5 cm hosszú, vagy ennél kisebb darabok állíthatók elő. A sűrűsége 1 g/cm^3 alatti, amely a nem megfelelő alapanyagoknak és sűrűségének köszönhető.

Megállapítható tehát, hogy ez az energianövény csak akkor használható fel gazdaságosan és eredményesen a biobrikett-gyártáshoz, ha a gépi aprítását sikerül megoldani.

A kínainád szubtrópusi és trópusi fű, Afrika és Ázsia egyes területein őshonos. A bambusznádhoz hasonlít, de a cukornáddal áll közelebb rokonságban. A humuszos laza talajt kedveli, az elárasztást alig tűri. A nádhoz hasonló növény. Nagy hozamú és évelő. A gyors növekedési rátája miatt alkalmas energia célú ültetvények előállítására. A gyakorlat azt mutatja, hogy azon területek a leginkább megfelelőek, amelyek a legjobban alkalmasak a kukorica termelésére. A Miscanthussal telepített területek környezetileg is értékesek, mivel szennyvíz-felszívó területekként szolgálhatnak. (Az első évben 2-5 tonna, a második évben 7-16 tonna, a harmadik évben már a hozam 20-40 tonna/ha zöld anyag.) (DENCs ET AL., 1999.)

A Miscanthus növény a Tata-i Parképitő Rt. kísérleti ültetvényeiről származott. A növény hazai nemesítési tevékenység eredményeként áll rendelkezésünkre, és megfelelő termőhelyen energetikai biomassza előállítására használható fel. Betakarítása a kukoricaszár betakarítására alkalmas gépekkel történhet, de célszerűbb a betakarítását sorfüggetlen vágószerkezettel szerelt járvaszecskázókat használni. Az előállított szecskát fedett, de az oldalán nyitott tárolóban helyeztük el, és ott természetes úton száradt. A szecskaméret közvetlenül brikettálást nem tesz lehetővé, ezért utánaprítást kellett végeznünk. Az utánaprítás eredményeként brikettálható alapanyagot nyertünk.

A vizsgálataim alapján a brikettáláshoz felhasznált alapanyag nedvességtartalma 11-14 %, átlagosan 13 % volt. A halmazsűrűsége $0,152-0,154 \text{ g/cm}^3$ közötti értékeket vett fel, amely magasabb volt, mint a kender alapanyagé. A frakcióeloszlására jellemző, hogy a 0-1,6 mm közötti mérettartományban található az alapanyag 60-70%-a, és a maradék 1,6-12 mm között. (5.7. sz. diagram a mellékletben.)

Az előállított biobrikett sűrűsége $1,09-1,30 \text{ g/cm}^3$ között változott (5.8. sz. kép a képmellékletben.), ugyanakkor találkoztunk 1 g/cm^3 -nél kisebb sűrűségű biobrikettekkel is, mivel ezekben a biobrikettekben nem megfelelően oszlott meg a szár és a termés mennyisége. A biobrikettek nedvességtartalma 6-10 százalék közötti értéket mutatott, átlagosan 7 %-os volt. A morzsolódási tényezője elérte a nagyon jó export minőségű harkai fabrikett minőségét, azaz $0,4-1,9 \%$ közötti értékeket mértünk. A buga és a szár nem megfelelő homogenizálása esetén, a morzsolódási tényező magasabbá válhat, elérheti a 6 százalékot is, emiatt ezek a termékek csak másodosztályú biobriketteként értékesíthetőek.

A biobrikett kirúgozása (tengelyirányú hosszváltozása), magasabb víztartalom esetén, jelentős lehet, mivel azok az anyagok, amelyek parás-szivacsos belet tartalmazó növényekből származnak, nehezebben brikettálhatók, mert a bélianyagban levő levegő légpárna-hatást eredményez, és a biobrikett a kitolást követően jelentős mértékben kirúgozhat. Ugyanakkor a szilárd, sima felületű növényi szárak csak az átlagosnál jelentősen nagyobb nyomások mellett brikettálhatók, mert a részecskék filcelődési képessége kicsi. A kínainádból készült biobrikett hamutartalma levelei nélkül 2,8 %,

leveleivel 3,8 % között változott, tehát a duplája a fabrikettek hamutartalmának. (MAROSVÖLGYI ET AL., 2003.c)

Tehát a kínainád biobrikett jó állékonyságú és tömörségű, ha megfelelően homogenizáljuk az aprítékát. A nedvszívási tulajdonsága a fabrikettékétől elmarad, de ettől függetlenül nem mondható kedvezőtlennek. Mindenképpen hazai értékesítésre alkalmas biobrikettként értékesíthető.

Az energiafű robosztus, hosszú tarackos, ritka bokrú, kozmopolita elterjedésű évelő fű, amely Európa, Ázsia és Észak-Amerika mérsékelt éghajlatú részein széles körben elterjedt. Vetés után lassan fejlődik. Szára 2-3 méteres magasságot is elérhet. Általában 4-5 évig hasznosítható. Az energiafű stabilizálja a talajerózióval fenyegetett területeket és úgy, mint a kínai nád, a szennyvízből felszívja a tápanyagot, így ezek a területek szennyvíz-felszívó területként is szolgálhatnak. (MAROSVÖLGYI, 2001.a)

A „SZARVAS” energiafű a Szarvasi Gyepekutató Kht. kutatási eredménye. A növény viszonylag száraz termőhelyen is jelentős, 12-15 t/ha/év hozamú. Kísérleti célra hengerbálákat vettünk át, és azokkal végeztem kísérleteket. A bála szétbontását követően kézi etetéssel lengőképes aprítógéppel állítottuk elő a brikettálásra alkalmas aprítékot. Az előállított aprítékkal folytatott kísérletek eredményesek és kedvezőek voltak. Az apríték sűrűsége 0,180-0,190 g/cm³, a nedvességtartalma pedig 8-10 % volt. A frakcióeloszlására jellemző, hogy a 0-1,6 mm közötti mérettartományban található az alapanyag 60-70%-a, és a maradék 1,6-2,5 mm között. (5.7. sz. diagram a mellékletben.)

A brikettálási kísérletek megtörténtek, az eredmények kedvezőek. A megkezdett tüzeléstechnikai kísérletek azonban azt jelzik, hogy bevezetésének javaslata előtt alaposabb vizsgálatokra van szükség, a pirolízis során keletkező nagy molekulájú szénhidrogének megjelenését, és a hamu mennyiségi és minőségi jellemzőit illetően.

Az előállított biobrikett méretre darabolható, dobozolható minőségű (I.o.) volt. Sűrűsége 1,28-1,31 g/cm³ között változott. A morzsolódási tényezője pedig 0,1-1,1 % közötti értékeket vett fel. Tehát az energiafű biobrikett hasonló, valamivel jobb értékeket szolgáltatott, mint a hagyományos fabrikett. Az energiafű biobrikett felületén az anyag lágyulásával együtt járó elkenődések, illetve hámlások tapasztalhatók. Ez arra utal, hogy a tömörítési viszony legnagyobb értékét állítottuk elő, azaz a tömörség már nem fokozható. (5.9. sz. kép a képmellékletben.) Az energiafű hamutartalma kutatásaimszerint jóval magasabb a többi biobrikettekénél. Az energiafű biobrikett átlagos hamutartalma 4,3 %. Az energiafű biobrikett magasabb hamutartalma miatt további tüzeléstechnikai vizsgálatokat szükséges folytatni.

Az összehasonlítás és az eredményesebb elemzés érdekében az új alapanyagokon is elvégeztem a nedvszívási, a morzsolódási és egyéb vizsgálatokat. Az új alapanyagok vízfelvétele eltér a hagyományos biobrikettekénél. Azt tapasztaltam, hogy a nemesnyár aprítékból készült biobrikett átmérő és hosszváltozása a legcsekélyebb, amelyek a mellékletben az 5.8-5.9. sz. diagramokon láthatók. A kiinduló és a végső átmérő közötti különbség a kínai nád biobrikettnél a legnagyobb. Az abszolút hosszváltozás pedig az energiafű biobrikettnél a legerőteljesebb.

Az 5.8-5.9. sz. diagramok mutatják, hogy szinte egyenlő átmérővel és hosszal induló energiafű és nemesnyár apríték biobrikettek között jelentős méretbeli eltérés adódott a 30.

napra. Az energiafű és a kínai nád biobrikett sokkal több vizet vett fel ugyanannyi idő alatt, mint a nemesnyár apríték biobrikett. Ez abból adódik, hogy a nemesnyár apríték még nem parásodott kérget tartalmaz, emiatt magasabb a cellulóz és a hemicellulóz tartalma, így barna, karamellizálódott rétegek alakultak ki a biobrikettben. Ez a karamellizálódott réteg nem engedi a részecskéknek a vizet felvenni.

5.3.4.1. Az újabb alapanyagokkal végzett kísérleti eredmények összefoglalása

Összefoglalásként megállapítható, hogy a nemesnyár aprítékból nagyon jó állékonyságú, export minőségű biobrikett állítható elő. A nyír faporral és faforgáccsal bekeverve ugyancsak jó minőségű biobrikett állítható elő, amely a nemesnyár apríték kedvező hatásának tudható be, ugyanis a nyír faporokból és faforgácsokból csak másodosztályú vagy még értékesítésre sem alkalmas biobrikett állítható elő. A nyár aprítékból készülő biobrikettet, vízfelvétel szempontjából is nagyon kedvező brikettként ismerhetjük meg.

Az energia-kender csak akkor használható fel gazdaságosan és eredményesen a biobrikettgyártáshoz, ha a gépi aprítását sikerül megoldani.

A kínai nád biobrikett jó állékonyságú, és tömörségű, ha megfelelően homogenizáljuk az aprítékát. A nedvszívási tulajdonsága a fabrikettékétől elmarad, de ettől függetlenül nem mondható kedvezőtlennek. Mindenképpen hazai értékesítésre alkalmas biobrikettként értékesíthető.

Az energiafűből előállított biobrikett export minőségű, az új alapanyagok közül a legnagyobb sűrűséggel és tömörséggel rendelkező brikett. Ezek mellett a túl magas hamutartalma mondható kedvezőtlennek, mivel ez nagymértékben befolyásolja eltüzelését – ennek meghatározása érdekében a tüzeléstechnikai vizsgálatok folyamatban vannak. Az energiafű biobrikett vízfelvétele nagyon magas. Tehát a kutatásaim során az új nyersanyagokból részben sikeresen készültek biobrikettek, és részben nagyon kedvező, illetve jó tulajdonságokkal bíró biobriketteket lehetett előállítani. Ahhoz, hogy a termelésbe gazdaságosan és a technológia megváltoztatása nélkül bevonhatók legyenek, további vizsgálatokat kell folytatni, amelyek már elkezdődtek.

6. AZ ÚJ KUTATÁSI EREDMÉNYEK ÖSSZEFOGLALÁSA ÉS AZOK HASZNOSULÁSA, ÚJ KUTATÁSI FELADATOK KIJELELÉSE

6.1. Új tudományos eredmények összefoglalása

1. A nemzetközi és a hazai szakirodalom elemzése alapján megállapítottam, hogy a minirotaációs (1-5 éves vágásfordulójú) energetikai célú faültetvények fatömegének és fahozamának meghatározására, a hagyományos erdészeti fatérfogat becslő eljárások nem vagy csak részben alkalmazhatók.

1.1. KOPECZKY (1891) által először kidolgozott és alkalmazott fatömeg-egyenes és a fatömeg-gömbös fatérfogat becslő eljárások átalakításával megállapítottam, hogy ezek az eljárások alkalmasak a mini vágásfordulójú energetikai célú faültetvények fahozamának becslésére. (A fatömeg-egyenes képlete a következő: $M=a \cdot G_{1,3}-b$, $G_{1,3}$ -mellmagassági körlap (cm^2), a, b -konstansok. A fatömeg-gömbös módszer képlete a következő: $M=a \cdot D_{1,3}^2-b \cdot D_{1,3}-c$, $D_{1,3}$ -mellmagassági átmérő (cm), a, b, c -konstansok.)

1.2. Több éves vizsgálatokra és mérésekre, valamint statisztikai eljárásokra támaszkodva megállapítottam, hogy a nemzetközi rövid vágásfordulójú erdőgazdálkodásban használt:

$$M \text{ (kg)} = a \cdot D_{1,3}^b,$$

$$M \text{ (kg)} = a \cdot G_{1,3}^b$$

fatömeg-becslő hatvány függvények a gyakorlat számára megfelelő – KOPECZKY által kidolgozott eljárások korrelációs koefficiensénél jóval nagyobb – korrelációval alkalmasak a magyarországi 2-5 éves nemesnyár és akác mini vágásfordulójú faültetvények teljesfa tömegének becslésére. (M -teljesfa tömege, $D_{1,3}$ -mellmagassági átmérő (cm), $G_{1,3}$ -mellmagassági körlap összeg (cm^2), a, b -konstansok.)

2. A kutatás során megállapítottam, hogy a hazai mini vágásfordulójú, energetikai célú faültetvények fatömegének és fahozamának becslésére a következő összefüggések a gyakorlat számára megfelelő korrelációs koefficienssel alkalmazhatók:

2.1. $Y=MT \cdot S \cdot \bar{R}$,

(Y - az adott fafaj/fafajta/klón hektáronkénti éves hozama (ÉNT/ha/év - élő nedves tonna hektáronként évente), MT - megeredési tényező, egynél kisebb szám, S - hálózati sűrűség, hektáronkénti tőszám, \bar{R} - a parcellánkénti átlagos teljesfa tömeg (kg/tő))

2.2. $\bar{Y}=Y-wcf \cdot MT \cdot S \cdot \bar{R}$,

(\bar{Y} - az adott fafaj/fafajta/klón hektáronkénti éves tényleges fahozama (ASZT vagy odt/ha/év - abszolút száraz tonna hektáronként évente), Y - az adott fafaj/fafajta/klón hektáronkénti éves fahozama (ÉNT/ha/év - élő nedves tonna hektáronként évente), wcf - nedvességtartalom tényező (nedvességtartalom (%)/0,01), MT - megeredési tényező, egynél kisebb szám, S - hálózati sűrűség, hektáronkénti tőszám, \bar{R} - a parcellánkénti átlagos teljesfa tömeg (kg/tő)).

(Az előző két kutatási eredmény a tatai kísérleti energetikai faültetvény kutatási helyen (kb. 18 ha) – középmező, esetleg sekély termőrétegű, felszínig nedves, esetleg állandó vízhatású, öntés réti talajon, szimpla és ikersoros nemesnyár és akác minirotaációs faültetvények esetén – született.)

3. A hazai minirotaációs (1-5 éves) energetikai faültetvények termesztés-technológiájának kutatása és fejlesztése, valamint az állomány, hozam és megeredés vizsgálatok során a következőket állapítottam meg:
 - 3.1. A középmeley, esetleg sekély termőrétegű, felszínig nedves, esetleg állandó vízhatású, öntés réti talajon, a szimpla soros nemesnyár minirotaációs faültetvények esetében megállapítható, hogy a fahozam a 3-4. évig jelentősen nő. A hozam még a negyedik évben is jó, azonban az ötödik évben már drasztikus hozamesés tapasztalható. Nemesnyár energetikai faültetvényeknél az optimális vágásforduló 3 vagy 4 év. A 'Koltay' és a 'Beaupre' klónok esetében megállapítható, hogy a hozam a 4. évig nő, majd jelentősen csökken, emellett a 'Pannónia' fajtánál ez a növekedés csak a harmadik évig tart, ezután a fahozam csökken, de nem olyan jelentősen, mint az előző két klónnál a 4. év után. A 'Pannónia' klón esetében, ezért a három éves vágásforduló is javasolható energetikai célú faültetvények üzemeltetésére.
 - 3.2. A középmeley, esetleg sekély termőrétegű, felszínig nedves, esetleg állandó vízhatású, öntés réti talajon, a szimpla soros akác rövid vágásfordulójú energetikai célú dendromassza-ültetvény esetében, az ültetvény fahozama a harmadik évig nő, majd ezután csökken. A hozam adatok és az állomány felvételek szerint a 3 (esetleg a 4) éves vágásforduló az optimális.
4. A hazai minirotaációs (1 éves) energetikai faültetvények termesztés-technológiájának kutatása és fejlesztése, valamint az állomány, hozam és megeredés vizsgálatok során a következőket állapítottam meg:
 - 4.1. Az igen mély termőréteggel rendelkező réti öntés talajokon, vízhatástól független termőhelyen, ikersoros hálózatban, a hozam vizsgálatok eredményei bizonyították, hogy az új olasz nemesnyár klónok ('Monviso', 'AF2', 'AF1', 'AF6') nagyobb fahozamra képesek, mint a Magyarországról származó ún. régi klónok ('Koltay', 'Beaupre', 'Raspalje', 'BL-Constanzo'). Az 'AF2' és a 'Monviso' klónok 2-3-szor nagyobb hozamot produkáltak, mint a többi klón.
 - 4.2. Az új olaszországi nemesnyár klónok közül, az igen mély termőréteggel rendelkező réti öntés talajokon, vízhatástól független termőhelyen, ikersoros hálózatban, a 'Villafranca', a 'Pegaso' klónok, az alacsony megeredési tényezőjük miatt, nem alkalmazandó nemesnyár fajták.
 - 4.3. Az igen mély termőréteggel rendelkező réti öntés talajokon, vízhatástól független termőhelyen, ikersoros hálózatban megállapítottam, hogy az 'AF2' nemesnyár klón esetében a vegetációs időszak első felében a 70 cm-es tőtávban szignifikánsan erőteljesebb magassági növekedést mutatott, mint az 50 cm-es tőtávban. Összességében azonban a mért magasságok egyértelműen kimutatták, hogy az 50 cm-es tőtávval nagyobb magassági növekedés érhető el. Ez alapján a vegetációs időszak második felében az 50 cm-es tőtávolságú állományok relatív magassági növekedése szignifikánsan nagyobb volt, mint a 70 cm-eseké.
5. A hazai mini- és midirotaációs energetikai célú dendromassza ültetvényekben végzett betakarítógép kutatás-fejlesztések eredményeképpen, a magyar dendromassza energetikai hasznosításának géprendszeréből eddig hiányzott, MAROSVÖLGYI által kezdeményezett és az Optigép Kft. által gyártott járvaaprító gépet vizsgáltam.

5.1. A kutatásaim megállapították, hogy a magyar OGFA járvaaprító alkalmas a 2-3 éves nemesnyár és 1-2 éves akác energetikai faültetvények betakarítására, a járvaaprító faültetvény munkarendszerben.

5.2. Megállapítottam továbbá, hogy a hazai gyártású OGFA faültetvény betakarító, járvaaprító gép által készített apríték frakcióeloszlása közepes minőségű (a 15 cm-nél nagyobb él hosszúságú apríték 30 %-os részesedéssel rendelkezik), elmarad a „jó minőségű” aprítékot (a 15 cm-nél nagyobb él hosszúságú apríték 0-3 %-os részesedéssel rendelkezik) készítő külföldi járvaaprító gépek által előállított aprítékhoz képest. A fluidágyas felhasználáshoz a magyar járvaaprító gép által készített apríték továbbaprítása szükséges.

6. A minirotaációs energetikai faültetvények tüzeléstechnikai kutatása során a következő megállapításokat tettem:

6.1 A több éves fűtőérték vizsgálat és kutatás eredményképpen – korreláció analízissel – megállapítottam, hogy a hazánkban alkalmazott, DULONG (1880) képletére visszavezetett, elemi összetétel segítségével kialakított fűtőérték számítási eljárás 50 %-kal alacsonyabb korrelációs koefficienssel alkalmazható a hazai mini vágásfordulóju energetikai célú faültetvények (4 db nemesnyár klón és egy db fűz klón) által szolgáltatott tiszta, kéregmentes faanyag fűtőértékének meghatározására, mint az utóbbi évtizedekben és napjainkban létrehozott fűtőérték vizsgálatok (GRABOSKY ET BAIN, 1981., CHANNIWALA ET PARIKH, 2002., SHENG ET AZEVEDO, 2005.). A fűtőérték vizsgálatokat akkreditált biomassza-kutató laboratóriumban végeztem, adatsoranként 5 ismétléssel.

6.2. A bálványfának a növénytani szakirodalomban tévesen használt fűtőértékéről – vizsgálataim során, MAROSVÖLGYI vizsgálataival egybehangzóan, illetve UDVARDY megállapításaival ellentétben – megállapítottam, hogy a mini vágásfordulóju bálványfa felső fűtőértéke eléri az akác felső fűtőértékét. Középmély, esetleg sekély termőrétegű, felszínig nedves, esetleg állandó vízhatású, öntés réti talajon, a minirotaációs bálványfa felső fűtőértéke abszolút száraz állapotban, vizsgálataim szerint 19,33-19,78 MJ/kg között változik.

7. A lignocellulózok és a mini vágásfordulóju energetikai faültetvények kutatása során megállapítottam, hogy a bioenergetikai döntések előkészítése, valamint a szilárd biomassza tüzelőanyagok energetikai szempontból való könnyebb összehasonlítása érdekében szükséges létrehozni egy biotüzelőanyag indikátort. A nemzetközi szakirodalom alapján kialakítottam a hazánkban is alkalmazható biotüzelőanyag indikátort, amely az egyes biomasszákat a fűtőértékük, a nedvességtartalmuk, a hamutartalmuk és a sűrűségük alapján értékeli:

7.1. A szilárd biotüzelőanyag értékelő indikátor (FBVI-FuelBiomass Value Index):

$$FBVI=(HV*G)/(AC*WC),$$

HV a szilárd biomassza fűtőértéke (KJ/g), G a szilárd biomassza sűrűsége (g/m³), AC szilárd biomassza hamutartalma (g/g), WC a szilárd biomassza víztartalma (g/g).

8. A mini vágásfordulóju energetikai célú faültetvények által szolgáltatott faanyag és egyéb lignocellulózok tömörítési vizsgálatai során megállapítottam, hogy a fiatal hajtásokból származó nemesnyár aprítékból készített biobrikett nedvszívási, és

ezáltal tüzeléstechnikai és szállítási értékei szignifikánsan kedvezőbbek, mint az egyéb lignocellulózokból (hagyományos fapor- és faforgácsból, illetve energiafűből, kínai nádból, rostkenderből) készült biobriketteké.

6. 2. Az új tudományos eredmények hasznosulása és a gyakorlati hasznosítás lehetőségei

A tudományos eredmények részben rövid vágásfordulójú faültetvények létrehozásában, ezáltal országos jelentőségű fejlesztési koncepciókban, részben műszaki fejlesztésben, valamint nemzetközi együttműködésben hasznosultak.

A nemzetközi és hazai helyzetértékelő, valamint folyamatos helyzetelemző munka megállapításai beépültek

- az NKFP-Erdő-Vad program Faenergetikai alprogramba,
- az OM támogatásával, a KMFP pályázat keretében tervezett „A biobrikettgyártás nyersanyagbázisának és technológiájának fejlesztése” című fejlesztési programba.

6. 3. Új kutatási feladatok kijelölése

Az Európai Unió előírásai, valamint a globális környezetvédelmi jegyzőkönyvek hatására a megújuló energiahordozó-, ezen belül dendromassza-bázisú energiahordozó- és energiatermelés jelentősen növekedett, és a helyzetértékelő kutatás eredményeképpen megállapítható, hogy hazánkban is növekedni fog.

Az eddigi kutatásaimra alapozva ezért a következő új kutatási feladatokat jelölöm ki:

- Folytatni kell a mini vágásfordulójú, energetikai célú faültetvények hozambecsléséhez, termesztés-technológiájához valamint betakarítási gépjelöléséhez kapcsolódó kísérleteket.
- Létre kell hozni a minirotaációs energetikai faültetvények mérési protokollját.
- Szükséges vizsgálni a biotömörítvény szabvány kialakításának nehézségeit, folytatni kell a szabványosításhoz szükséges további méréseket.
- Kutatásokat folytatok a minirotaációs faanyag pelletálásával kapcsolatban.
- Folytatni szükséges és kiterjedt vizsgálatokat kell végezni a nemesnyár és fűz mini vágásfordulójú faültetvényekben termelt faanyag fűtőértékének vizsgálatát, valamint ki kell terjeszteni a vizsgálatokat egyéb dendromassza anyagokra és különböző lignocellulózokra.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A fejlett országok számára az utóbbi évtizedekben nyilvánvalóvá vált, hogy a gazdasági, politikai stabilitásuk nagymértékben függ a nem megújuló, fosszilis energiahordozó-importtól. Ezért már az 1970-es évek első felében, az első olajválságot követően megalakult az IEA (International Energy Agency, Nemzetközi Energia Ügynökség), amely a fenntartható energiagazdálkodással foglalkozott, foglalkozik.

Az 1980-as és az 1990-es években, valamint a XXI. század elején a FAO, illetve az IEA is létrehozta az energetikai célú biomassza termelés témában a nemzetközi kutatási programjait (Pl.: FAO Európai Mezőgazdasági Energia Együtműködési Hálózata (CNRE) „Biomassza termelés energia célra” című programja, IEA Bioenergy különböző rövid vágásfordulóú faültetvény kutatásai, IEA Task 30 Short Rotation Crops for Bioenergy System), amelyekhez a világ meghatározó energetikai célú biomassza kutatói csatlakoztak. Nagyfokú energetikai célú biomassza és dendromassza termesztési és hasznosítási kutatások folytak/folynak.

A kutatók egyetértenek, hogy a társadalom, a gazdaság, az ipar növekedése egyre több faanyagot igényel. Az energetikai fejlesztések hatására a növekvő alapanyagigényt a természetszerű erdők nem tudják kielégíteni, ezért a rövid vágásfordulóú faültetvények termesztése szinte az egyetlen megoldás a természetes és természetszerű erdők tehermentesítésére. A szükségletek túl gyors ütemben növekednek ahhoz, hogy a természetes erdők azokat el tudják látni. Az ipar, az energetika egységes minőségű, nagy mennyiségű faanyagot igényel. Az energetikai és egyéb szükségletek kielégítésének feltétele, hogy a faanyag önköltségi ára minél jobban csökkenjen, amely csak a mini vágásfordulóú faültetvényekkel lehetséges.

A kutatók döntő többsége egyetért azzal is, hogy a dendromassza hasznosítása, mint biológiai eredetű energiahordozó, közvetlen és közvetett gazdasági hatásokat eredményez. Az egységnyi energia-előállítás költségeinek csökkenése közvetlen gazdasági hatás. Közvetett gazdasági hatás viszont a mini vágásfordulóú energetikai célú faültetvények termesztéssel összefüggő globális, valamint egészségügyi és környezetvédelmi problémák hatásának csökkentése.

A minirotaációs energetikai faültetvények, mint biológiai energiaforrások hasznosítása és hasznosításának terjedése csak részben műszaki, biológiai kérdés. A műszaki, biológiai eredmények csak megfelelő gazdasági, politikai rendszerben hasznosulhatnak.

A doktori értekezés kiterjed az energetikai célú elsősorban mini vágásfordulóú faültetvények kérdéskörben, a szerző által az elmúlt 5 évben végzett kutatásokra és azok eredményeire.

A Tatai Parképítő Rt. és a Pannonpower Holding Rt. területén, valamint egyéb kisebb kiterjedésű területeken, a Nyugat-Magyarországi Egyetem Energetikai Tanszékének témavezetésével hazánkban elsőként telepített energetikai célú minirotaációs faültetvények, illetve egyéb területeken elhelyezkedő energetikai célú faültetvények kutatása történt meg.

A disszertáció elemzi az energiapolitikát Magyarországon és az Európai Unióban a dendromassza energetikai hasznosítása szempontjából.

A szerző kiterjedt kutatásokat folytatott a mini vágásforduló energiá célú fáultvények (MVEF) esetén az optimális vágásforduló kialakítására és elemzésére az egyes természet-technológiák esetén, továbbá a növekedési tulajdonságok, összefüggések vizsgálatára, valamint az MVEF fahozamának (t/ha/év) meghatározására és összehasonlítására. A kutatások és a vizsgálatok során további fafajok és fajták bevonása történt meg a minirotaációs természetbe.

A szerző elvégezte a fafaj függő MVEF természet-technológia elemzését, különböző külföldi és hazai természet-technológiák vizsgálatát. Kialakította a mini, midi és rövid vágásforduló fáultvények betakarítási rendszereit, valamint kutatásai érintették a betakarítógépek feltárását, apríték központú vizsgálatát. A kutatás eredményeire támaszkodva az energiá fáultvények betakarítása különböző betakarítási rendszerekben folyhat.

Az elemzések és értékelések kiterjedtek a minirotaációs fáultvények faanyagának energiá, tüzeléstechnikai vizsgálatára és a dendromassza ültvények hagyományos energiá célú hasznosítása mellett elhelyezkedő újabb potenciális hasznosítási módok felkutatására és vizsgálatára.

A disszertáció a minirotaációs (1-5 éves vágásforduló) energiá fáultvények természet-technológiájának és hasznosításának fejlesztésében különböző új tudományos eredményeket ért el. A szerző a minirotaációs energiá fáultvények fatömegének és fahozamának beclésére alkalmas eljárást dolgozott ki, amely a gyakorlatban megfelelő korrelációval alkalmazható.

A minirotaációs faanyag energiá kutatása során további új eredmények születtek, amelyek alapján az C-, H-, O-, N-, S-, hamu- és nedvességtartalom alapján megbeclélhető – a gyakorlat számára megfelelő korrelációs koefficienssel – az egyes minirotaációs biotüzelőanyagok fűtőértéke. A kutatások során kialakításra került egy ún. szilárd biotüzelőanyag indikátor (FBVI-FuelBiomass Value Index), amely a bioenergetikai beruházások döntés-előkészítése során szolgáltat alapinformációkat.

A disszertáció fejlesztí a fenti témakörök kutatásával és megválaszolásával a mini vágásforduló energiá dendromassza ültvények természetét, illetve a minirotaációs faanyag energiá hasznosításának ügyét.

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Elsőként szeretnék köszönetet mondani Dr. Sc. habil Marosvölgyi Béla Professor Úrnak, hogy témavezetőként tanácsaival, az eddigi kísérletek és eredmények ismertetésével, fáradhatatlan munkájával és megértésével, illetve szakirodalmi adatokkal segítette munkámat.

Köszönettel tartozom az Energetikai Tanszéken dolgozó egyetemi adjunktusnak, Vityi Andreának, hogy segítette munkámat.

Köszönettel tartozom Vinkovics Sándornak, a tanszék munkatársának, hogy segített a laboratóriumi vizsgálatok gondos végrehajtásában.

Továbbá köszönettel tartozom a Sebeszta Zsanettnak, tanszéki munkatársnak, hogy támogatott és segített a kísérletek és vizsgálatok gondos végrehajtásában.

Valamint köszönettel tartozom az Energetikai Tanszék kollektívájának a kutatómunka során, 2000-2006 években nyújtott segítségükért: Oláh Gábor, Barkóczy Zsolt, Bindics Ármin, Soltész Lajos.

Az energetikai faültetvény kísérletek beállítása lehetetlen lett volna az Energetikai Tanszék, a tatai Parképítő Rt. és a pécsi Pannonpower Rt. támogatása és segítségével.

Az energetikai faültetvények letermelésére alkalmas betakarítógép vizsgálatok során nyújtott anyagi és erkölcsi támogatás biztosításáért köszönettel tartozom az Optigép Kft. munkatársainak.

A kísérletek pontos kivitelezéséért, hasznos mérés-technikai tanácsok biztosításáért köszönettel tartozom Tóvári Péternek, a FVM Műszaki Gépesítési Intézet Agroenergetikai Laboratórium munkatársának.

Széleskörű szakirodalom eljuttatásával, valamint személyes konzultációval segítette a kutatómunkámat, Raffaele Spinelli, Italian National Research Cooperation, Trees and Timber Intézet energiafa kutatási főmunkatársa, a rövid vágásfordulójú faültetvények betakarítási géprendszerének nemzetközileg elismert kutatója.

Valamint ismét köszönettel tartozom Sebeszta Zsanettnak, hogy átvállalta a család minden gondját, valamint, hogy a dolgozatomat nyelvhelyességi, stilisztikai és mondatszerkesztésbeli szempontból segítette.

IRODALOMJEGYZÉK

1. ABBOT ET AL. 1997. P. ABBOT – J. LOWORE – C. KHOFI – M. WERREN: Defining firewood quality: a comparison of quantitative and rapid appraisal techniques to evaluate firewood species from a southern african savanna, *Biomass and Bioenergy* 12 (6) 1997. pp. 429-437.
2. ADEGBIDI ET AL. 2001. H. G. ADEGBIDI – T. A. VOLK – E. H. WHITE – L. P. ABRAHAMSON - R. D. BRIGGS – D. H. BICKELHAUPT: Biomass and nutrient removal by willow clones in experimental bioenergy plantations in New York State. In: *Biomass and Bioenergy* (20) 2001. pp. 399-411.
3. AL AFAS ET AL. 2005. N. AL AFAS – N. PELLIS – Ü. NIINEMETS – R. CEULEMANS: Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar. II. Clonal and year-to-year differences in leaf and petiole characteristics and stand leaf area index. In: *Biomass and Bioenergy* (8) 1995. pp. 1-5.
4. ALMÁSI, 1987. ALMÁSI J.: Energiagazdálkodás racionalizálása faanyag bázison a Helvéciai Állami Gazdaságban. Doktori Értekezés. Sopron, 1987.
5. ARAVANOPOULOS ET AL. 1999. F. A. ARAVANOPOULOS – K. H. KIM – L. ZSUFFA: Genetic diversity of superior of *Salix* clones selected for intensive forestry plantations. In: *Biomass and Bioenergy* (16) 1999. pp. 249-255.
6. ARMSTRONG ET AL. 1999. A. ARMSTRONG – C. JOHNS – I. TUBBY: Effects of spacing and cutting cycle on the yield of poplar grown as an energy crop. In: *Biomass and Bioenergy* (17) 1999. pp. 305-314.
7. ARONSSON ET BERGSTRÖM, 2001. P. G. ARONSSON – L. F. BERGSTRÖM: Nitrate leaching for lysimeter grown short rotation willow coppice in relation to N-application, irrigation and soil type. In: *Biomass and Bioenergy* (21) 2001. pp. 155-164.
8. BAI, 2002. BAI A.: A biomassza szerepe az intézmény- és távfűtésben. *Agrár Elit Magazin* Unikum című szakmai lapja, 2002. 6. sz. pp. 13.
9. BAI, 2005. BAI A.: A biomassza termelés hazai perspektívái. Tanulmány. Debreceni Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet. Debrecen, 2005.
10. BAI, 2006. BAI A.: Szilárd biomasszára alapozott hő- és villamosenergia előállítás. Szakértői Tanulmány. Debrecen, 2006.
11. BAI ET AL. 2002. BAI A. – LAKNER Z. – MAROSVÖLGYI B. – NÁBRÁDI A.: A biomassza felhasználása, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 2002.
12. BAI ET ZSUFFA, 2001. BAI A. – ZSUFFA L.: A biomassza tüzelési célú hasznosítása. Gondolatok a jövőbeni elterjesztéshez. *Fűtéstechnika, megújuló energiaforrások. Műszaki kiadványok. Kő-Print Nyomdaipari Kft., Budapest, 2001. IV. évf., No. 64, pp. 81-84.*
13. BARÓTFI, 1987.a. BARÓTFI I.: Utilization of compacted biomass for energy, *FAO/CNRE Bulletin* No. 18. FAO Rome 1987.
14. BARÓTFI, 1987.b. BARÓTFI I.: Biomass combustion technologies in Hungary, Contribution to the CNRE Guideline No. 1, on Heat from Straw and Wood, Gödöllő, 1987.
15. BARÓTFI, 1988. BARÓTFI I.: Biomass combustion technologies, *FAO/CNRE Guideline* No.1 1988.
16. BARÓTFI, 1994.a. BARÓTFI I.(szerk.): *Energiafelhasználói Kézikönyv*, KÖTECH Kiadó, Budapest, 1994.
17. BARÓTFI, 1994.b. BARÓTFI I.: A növények energetikai célú felhasználása, *Környezet és fejlődés*, 1994. V. évf. 5. szám.
18. BARÓTFI, 1996. BARÓTFI I.: A megújuló energiaforrásokról általában, *Gazdaság és energia*, 1996. 2. szám. p. 31-34.
19. BARÓTFI, 1998. BARÓTFI I.: A biomassza energetikai hasznosítása, *Energia Központ*, Budapest, 1998.
20. BARÓTFI, 2000. BARÓTFI I.(szerk.): *Környezettechnika, Mezőgazda Kiadó*, Budapest, 2000.
21. BENETKA ET AL. 2002. V. BENETKA – I. BATRÁKOVÁ – J. MOTTL.: Productivity of *Populus nigra* L. ssp. *Nigra* under short rotation culture in marginal areas. In: *Biomass and Bioenergy* (23) 2002. pp. 327-336.

22. BERNA, 1998. G. BERNA: Integrated Biomass System. Science Research and Development. European Commission. Germany, 1998.
23. BERNDEN ET AL. 2003. G. BERNDEN – M. HOOGWIJK – R. VAN DEN The contribution of the biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. In: Biomass and Bioenergy (25) 2003. pp. 1-28.
24. BHATT ET TOMAR, 2002. B. P. BHATT – M. S. TOMAR: Firewood properties of some Indian mountain tree shrub species. Biomass and Bioenergy 23 (4) 2002. pp. 257-260.
25. BIOENERGY, 2002. BIOENERGY NEWS 2002. - www.bioenergyinternational.com
26. BOHOCZKY, 1994. BOHOCZKY F.: A megújítható természeti erőforrások szerepe az energiapolitikában. Energiagazdálkodás, 1994. 10. sz. 432-435 p.
27. BOHOCZKY, 1998. BOHOCZKY F.: A biomassza energetikai hasznosítása. Alternatív energiák, 7. füzet. Innovapress Bt. Budapest, 1998.
28. BOHOCZKY, 2001. BOHOCZKY F.: A megújuló energiák alkalmazási lehetőségei és perspektívái. Fűtéstechnika, megújuló energiaforrások. Műszaki Kiadványok. Kö-Print Nyomdaipari Kft., Budapest, 2001. IV. évf., No. 64, pp. 53-55.
29. BOHOCZKY, 2005. BOHOCZKY F.: Megújuló energiaforrások magyarországi felhasználása. Előadás. In: BME Kiegészítő Képzés, Bp. 2005.
30. BONDOR, 1980. BONDOR A.: Erdőtelepítés, erdőfelújítás. Mezőgazdasági Kiadó, 1980.
31. BONDOR ET AL. 1979. BONDOR A. – RADÓ G. – TEMESI G.: Az erdőnevelés gépesítése. Mezőgazdasági Kiadó, 1979.
32. BOTTA-DUKÁT ET AL. 2004. Biológiai inváziók Magyarországon. Özönnövények. Természetbúvár Alapítvány Kiadó, Budapest, 2004.
33. BOYD ET AL. 2000. J. BOYD. – L. CHRISTERSSON – L. DINKELBACH: Energy from Willow. The Scottish Agricultural College. Edinburg, UK, 2000.
34. BÖRJESSON, 1999.a P. BÖRJESSON: Environmental effects of energy crop cultivation in Sweden –I: Identification and quantification. In: Biomass and Bioenergy (16) 1999. pp. 137-154.
35. BÖRJESSON, 1999.b P. BÖRJESSON: Environmental effects of energy crop cultivation in Sweden –II: Economic valuation. In: Biomass and Bioenergy (16) 1999. pp. 155-170.
36. BÜKI, 1997. BÜKI G.: Energetika. Egyetemi tankönyv, Műegyetemi kiadó, Budapest, 1997.
37. CHANNIWALA ET PARIKH, 2002. S. A. CHANNIWALA – P. P. PARIKH: A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels. In: Fuel (81) 2002. pp. 1051-1063.
38. CONVERSE ET BETTERS, 1995. T. E. CONVERSE – D. R. BETTERS: Biomass yield equations for short rotation balck locust plantations in the central great plains. In: Biomass and Bioenergy (8) 1995. pp. 251-254.
39. CORDERO ET AL. 2001. T. CORDERO – F. MARQUEZ – J. RORIGUEZ-MARISOL – J. J. RORIGUEZ: Predicting heating values of lignocellulosics and carboneaceous materials from proximate analysis. In: Fuel (80) 2001. pp. 1567-1571.
40. CULSHAW ET STOKES, 1995. D. CULSHAW – B STOKES: Mechanization of short rotation forestry. In: Biomass and Bioenergy (9) 1995. pp. 127-140.
41. DANFORS ET AL. 1998. B. DANFORS – S. LEDIN – H ROSENQVIST: Short-Rotation Willow Coppice. Growers' Manual. Swedish Institute og Agricultural Engineering. Sweden, 1998.
42. DAWSON ET MCCRACKEN, 1995. W. M. DAWSON – A. R. MCCRACKEN: The performance of polyclonal stands in short rotaiona coppice willow for energy production. In: Biomass and Bioenergy (8) 1995. pp. 1-5.
43. DECKMYN ET AL. 2004. G. DECKMYN – I. LAUREYSENS – J. GARCIA – B. MUYS – R. CEULEMANS: Poplar growth and yield in short rotation coppice: model simulations using the process model SECRETS. In: Biomass and Bioenergy (26) 2004. pp. 221-227.
44. DEFRA, 2003. DEPARTMENT OF ENVIROMENT, FOOD AND RURAL AFFAIRS: Growing short rotation coppice. Rural Development Programme. England, 2003.

45. DENCs ET AL. 1999. DENCs B.-MARTON Gy.-SOMOGYI Z.-KOVÁCS K.-RÉCZEY I.-MAROSVÖLGYI B.-ZSUFFA L.: Az energianövények termesztésének és hasznosításának magyarországi helyzete különös tekintettel az EU 5. K+F Keretprogramjához való integrálódás elősegítésére. OMFB, 1999.
46. DERIMBAS, 1997. A. DERIMBAS: Calculation of higher heating value of biomass fuels. In: Fuel (41) 1997. pp. 431-434.
47. DERIMBAS, 2001. A. DERIMBAS: Relationships between lignin contents and higher heating values of biomass. In: Energy Conversion and Management (42) 2001. pp. 183-188.
48. DIMITRIOU ET ARONSSON, 2004. I. DIMITRIOU – P. ARONSSON: Nitrogen leaching for short rotation willow coppice after intensive irrigation with wastewater. In: Biomass and Bioenergy (26) 2004. pp. 433-441.
49. DÓCZI, 2004. DÓCZI J.: Energiafű hasznosítás. VIII. Magyar Biomassza Konferencia. Sopron, 2004.
50. DORNBURG ET AL. 2005. V. DORNBURG – G. TERMEER – A. P. C. FAAIJ: Economic and greenhouse gas emission analysis of bioenergy production using multi-product crops – case studies for the Netherland and Poland. In: Biomass and Bioenergy (28) 2005. pp. 454-474.
51. DUBUISSON ET SINTZOFF, 1998. X. DUBUISSON – I. SINTZOFF: Energy and CO2 balances in different power generation routes using wood fuels from short rotation coppice. In: Biomass and Bioenergy (15) 1998. pp. 379-390.
52. EECIN, 2004. European Energy Crops InterNetwork (EECIN) <http://btgs1.ct.utwente.nl>, 2004.
53. ENERGIAINFO, 2005. www.energiainfo.hu
54. FANG ET AL. 1999. S. FANG – X. XU – S. LU – L. TANG: Growth dynamics and biomass production in short rotation poplar plantations: 6-year results for three clones at four spacings. In: Biomass and Bioenergy (17) 1999. pp. 415-425.
55. FEHÉR KÖNYV, 1997. MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK FEHÉR KÖNYVE - Doc. Com. (97) 599 (EU), 1997.
56. FELKER AT AL. 1999. P. FELKER – R. A. MCLAUCHLAN – A. CONKEY – S. BROWN: Case Study: Development of a swath harvester for small diameter (<10 mm) woody vegetation. In: Biomass and Bioenergy (17) 1999. pp. 1-17.
57. FISCHER ET AL. 2005. G. FISCHER – S. PRIELER – H VAN VELTHUIZEN: Biomass potentials of miscanthus, willow and poplar: results and policy implications for Eastern Europe, Northern and Central Asia. In: Biomass and Bioenergy (28) 2005. pp. 119-132.
58. FISCHER ET SCHRATTENHOLZER, 2001. G. FISCHER – L. SCHRATTENHOLZER: Global bioenergy potentials through 2050. In: Biomass and Bioenergy (20) 2001. pp. 151-159.
59. FOGARASSY, 2001. FOGARASSY Cs.: Energianövények a szántóföldön. Egyetemi jegyzet. Szent István Egyetem, SZIE GTK Európai Tanulmányok Központja, Gödöllő, 2001.
60. FÜHRER ET AL. 2003. FÜHRER E. – RÉDEI K. – TÓTH B.: Ültetvényszerű fatermesztés I. Mezőgazda Kiadó – ERTI, Budapest, 2003.
61. GAZDASÁGI MINISZTERIUM, 2005. www.gm.hu
62. GIELEN ET AL. 2003. D. GIELEN – J. FUJINO – S. HASHIMOTO – Y. MORIGUCHI: Modelling of global biomass policies. In: Biomass and Bioenergy (25) 2003. pp. 177-195.
63. GIBER ET AL. 2005. GIBER J. – GÖNCZI P. – SOMOSI L. – SZERDAHELYI Gy. – TOMBOR A. – VARGA T. – BRAUN A. – DOBOS G.: Az Új Magyar Energiapolitika Tézisei a 2006-2030 évek közötti időszakra. 12. fejezet. A megújuló energiaforrások szerepe az energiaellátásban. Gazdasági és Közlekedési Minisztérium. Bp. 2005.
64. GIGLER ET AL. 1999. J. K. GIGLER – G. MEERDINK – E. M. T. HENDRIX: Willow supply strategies to energy plants. In: Biomass and Bioenergy (17) 1999. pp. 185-198.

65. GODFREY ET AL. 1996. GODFREY B. (ED.) ET AL.: Renewable Energy: Power for a Sustainable Future. Oxford University Press, Inc., New York. 1996. pp. 1540.
66. GOEL ET BEHL, 1996. V. L. GOEL – H. M. BEHL: Fuelwood quality of promising tree species for alkaline soil sites in relation to tree age. Biomass and Bioenergy 10 (1) 1996, pp. 57-61.
67. GONZALEZ-VELASCO ET AL. 2002. GONZÁLEZ-VELASCO J. R. ET AL.: Pervaporation of ethanol-water mixtures through poly(1-trimethylsilyl-1-propane) (PTMSP) membranes. In: Desalination (149) 2002. pp. 61-65.
68. GYLLING, 2003. M. GYLLING: The danish energy crop research and development project – main conclusions. IEA, Denmark, 2003.
69. GYARMATINÉ, 1981. GYARMATINÉ PROSZT SÁRA: Nyárasok műtrágyázása. ERTI. Budapest, 1981.
70. HALUPA, 1982. HALUPA L.: Nyárfatermesztési modellek és alkalmazásuk. ERTI „Zöld füzetek”, Budapest, 1982.
71. HALUPA, 1998. HALUPA L.: Állománynevelési kísérlet 'Agathe-F' nyárasban. A Nemzetközi Nyárfa Bizottság 20. ülése és tanulmányútja Magyarországon. Nyárfa Vilkágkongresszus Közleményei, 243-250. ERTI (9.sz.), Budapest, 1998.
72. HALUPA ET SIMON, 1985. HALUPA L. – SIMON M.: AZ 'I-214' NYÁR. AKADÉMIA KIADÓ, BUDAPEST., 1985.
73. HALUPA ET RÉDEI, 1993. HALUPA L. – RÉDEI K.: Elsődlegesen energetikai célú erdősítések Magyarországon. Erdészeti Kutatások 1990-91. ERTI. Budapest, 1993.
74. HANCSÓK, 2004. HANCSÓK J.: Korszerű motor- és Sugárhajtómű üzemanyagok III. Alternatív motorhajtóanyagok. Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 2004.
75. HARTSOUGH ET YOMOGIDA, 1996. B. HARTSOUGH – D. YOMOGIDA: Compilation of State-of-the-Art Mechanoization Technologies for Short-Rotation Woody Crop Production. University of California, Davis, CA, USA 1996.
76. HEIN ET KALTSCHMITT, 2004. M. HEIN – M. KALTSCHMITT: Standarization of Solid Biofuels. International Conference Proceedings. Institute for Energy and Enviroment, Liepzig, Germany, 06-07. 10. 2004. pp. 205-223.
77. HELLER ET AL. 2003. M. C. HELLER – G. A. KOELIEAN – T. A. VOLK: Lyfe cycle assesment of a willow bioenergy cropping system. In: Biomass and Bioenergy (25) 2003. pp. 147-165.
78. HERPAY ET AL. 1984. HERPAY I. – MARÖSVÖLGYI B. – RUMPF J.: A faapríték termelése. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest, 1984.
79. HILTON, 2001. B. HILTON: ARBRE: Harvesting Experience and future Requirements. Report of ARBRE Energy Ltd. WrittleCollege, Chelmsford. 2002.
80. HOFFMAN ET WEIH, 2005. D. HOFFMANN – F. WEIH: Limitations and improvements of the potential utilisation of woody biomass for energy derived from short rotation woody crops in Sweden and Germany. In: Biomass and Bioenergy (28) 2005. pp. 267-279.
81. HOOGWIJK ET AL. 2005. M. HOOGWIJK – A. FAAIJ – B. EICKHOUT – B. DE VRIES – W. TURKENBURG: Potential of biomass energy out to 2100, for four IPCC SRES land-use scenarios. In: Biomass and Bioenergy (29) 2005. pp. 225-257.
82. HYTÖNEN, 1995. J. HYTÖNEN: Ten-year biomass production and stand structure of Salix Aquatica energy forest plantation in Southern Finland. In: Biomass and Bioenergy (8) 1995. pp. 63-71.
83. HYTÖNEN ET ISSAKAINEN, 2001. J. HYTÖNEN – J. ISSAKAINEN: Effect of repeated harvesting on biomass production and sprouting of Betula pubescens. In: Biomass and Bioenergy (20) 2001. pp. 237-245.
84. HYTÖNEN ET KAUNISTO, 1999. J. HYTÖNEN – S. KAUNISTO: Effect of fertilization on the biomass production coppice mixed birch and willow stands on a cut-away peatland. In: Biomass and Bioenergy (17) 1999. pp. 455-469.
85. IEA, 2005. International Energy Agency: World Energy Outlook. 2005.

86. ISEBRANDS, 2003. J. G. ISEBRANDS: Using poplars and willows for phytoremediation in the USA. „Short Rotation Crops for Bioenergy” Conference. New Zealand, 2003.
87. IVELICS, 2004. IVELICS R.: Az energetikai ültetvények betakarításánál elért legújabb gépesítési eredmények. Előadás. In: Magyar Biomassza Konferencia, Sopron, 2004.
88. IVELICS, 2005.a IVELICS R.: Az energetikai faültetvények és az energiaerdők termesztésének legújabb eredményei – a bálványfa, mint bioenergetikai alapanyag. Előadás. In: Magyar Biomassza Konferencia, Sopron, 2005.
89. IVELICS, 2005.b IVELICS R.: A fa energetikai hasznosítása. Előadás. In: MTA Erdészeti Bizottság, Tallós Pál Tudományos Kör, Budapest, 2005.
90. IVELICS, 2005.c IVELICS R.: Rövid vágásfordulójú faültetvények (RVF) betakarítási rendszerei. Konzultációs téma. In: III. Országos Erdészeti Gépesítési Konferencia. Sopron, 2005. 09. 08.
91. JANZSÓ ET AL. 1988. JANZSÓ J. (koord.): Az energetikai célú faanyag termelés és hasznosítás növelésének és a fejlesztés gyorsításának lehetőségei. Energiaerdő kísérletek. Tanulmány. Bio-Innokoord. Budaörs, 1988.
92. JOHANSSON, 1999. T. JOHANSSON: Biomass equations for determining fractions of pendula and pubescens birches growing on abandoned farmland and some practical implications. In: Biomass and Bioenergy (16) 1999. pp. 223-238.
93. JÖRGENSEN ET AL. 2005. U. JÖRGENSEN – T. DALGAARD – E. S. KRISTENSEN: Biomass energy in organic farming – the potential role of short rotation coppice. In: Biomass and Bioenergy (28) 2005. pp. 237-248.
94. JUHÁSZ, 1998. JUHÁSZ G.: A tatai energetikai faültetvény üzemeltetésének vizsgálata. Diplomadolgozat. Soproni Egyetem. Sopron, 1998.
95. KACZ ET NEMÉNYI, 1998. KACZ K.-NEMÉNYI M.: Megújuló energiaforrások, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 1998.
96. KAJBA ET BOGDAN, 2003. D. KAJBA – S. BOGDAN: Experimental Short Rotation Crops in Croatia. „Short Rotation Crops for Bioenergy” Conference. New Zealand, 2003.
97. KATAKI ET KONWER, 2002. R. KATAKI – D. KONWER: Fuelwood characteristics of indigenous tree species of north-east India. Biomass and Bioenergy 22 (6), pp. 433-437 (2002).
98. KAUTER ET AL. 2003. D. KAUTER – I. LEWANDOWSKI – W. CLAUPEIN: Quantity and quality of harvestable biomass from Populus short rotation coppice for solid fuel use – a review of the physiological basis and management influences. In: Biomass and Bioenergy (24) 2003. pp. 411-427.
99. KERÉNYI, 2001. KERÉNYI Ö.: A megújuló energiák statisztikai fogalmai. Energiagazdálkodás, 2001. 6. sz. 26-28. p.
100. KFKI, 2005. www.kfki.hu
101. KLASNJA ET AL. 2002. B. KLASNJA – S. KOPITOVIC – S. ORLOVIC: Wood and bark of some poplar and willow clones as fuelwood. In: Biomass and Bioenergy (23) 2002. pp. 427-432.
102. KOCSIS, 1995. KOCSIS K.: Az energia környezetbarát termelése és felhasználása az agrárgazdaságban. "Agro-21" Füzetek, 1995. 6.sz. pp.350.
103. KOPP ET AL. 2001. R. F. KOPP – L. P. ABRAHAMSON – E. H. WHITE - T. A. VOLK – C. A. NOWAK – R. C. FILLHART: Willow biomass production during ten successive annual harvest. In: Biomass and Bioenergy (20) 2001. pp. 1-7.
104. KOVÁCS, 1987. KOVÁCS J.: Biobrikett termelése hazai fejlesztésű gépsorral. Az Erdő, 1987. 5. sz. p. 196-199.
105. KOVÁCS, 1988. KOVÁCS J.: Hazai fabrikettgyártás tapasztalatai és exportlehetőségei. Az Erdő, 1988. 9. sz. 417-420. p.
106. KOVÁCS, 1997. KOVÁCS J.: Erdészeti biomassza energetikai hasznosítása és a környezetvédelem. Erdészeti Lapok, 1997. 3. sz. 72-73. p.
107. KOVÁCS ET MAROSVÖLGYI, 1990. KOVÁCS J. – MAROSVÖLGYI B.: Az erdészeti biomassza energetikai hasznosításának és géprendszerének fejlesztése Magyarországon. Akadémiai Doktori Értekezés. Eger-Sopron, 1990.

108. KOVÁCS ET MAROSVÖLGYI, 1995. KOVÁCS J. – MAROSVÖLGYI B.: Az erdészeti biomassza energetikai hasznosításának műszaki fejlesztési kérdései. Erdészeti Lapok, 1995. 4. sz. 120. p.
109. KÜRTÖSI, 1998. KÜRTÖSI A.: Az energetikai faültetvények betakarításának gépesítési lehetőségei. Diplomaterv. Sopron, 1998.
110. LABRECQUE ET AL. 1997. M. LABRECQUE, T. I. TEODORESCU AND S. DAIGLE: Biomass productivity and wood energy of Salix species after 2 years growth in SRIC fertilized with wastewater sludge, Biomass and Bioenergy 12 (6) 1997. pp. 409-417.
111. LABRECQUE ET TEODORESCU, 2003. M. LABRECQUE – T. I. TEODORESCU: High biomass yield achieved by Salix clones in SRIC following two 3-year coppice rotations on abandoned farmland in Southern Quebec, Canada. In: Biomass and Bioenergy (25) 2003. pp. 135-146.
112. LABRECQUE ET TEODORESCU, 2005. M. LABRECQUE – T. I. TEODORESCU: Field performance and biomass production of 12 willow and poplar clones in short rotation coppice in southern Quebec (Canada). In: Biomass and Bioenergy (29) 2005. pp. 1-9.
113. LAUREYSENS ET AL. 2003. I. LAUREYSENS – W. DERAEDT – T. INDEHERBERGE – R. CEULEMANS: Population dynamics in a 6-year old coppice culture of poplar. I. Clonal differences in stool mortality, shoot dynamics and shoot diameter distribution in relation to biomass production. In: Biomass and Bioenergy (24) 2003. pp. 81-95.
114. LAUREYSENS ET AL. 2005. I. LAUREYSENS – A. PELLIS – J. WILLEMS – R. CEULEMANS: Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar. III. Second rotation results. In: Biomass and Bioenergy (29) 2005. pp. 10-21.
115. LÁNG, 1985. LÁNG I. (szerk.): A biomassza komplex hasznosításának lehetőségei, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1985.
116. LEDIN ET CHRISTERSSON, 1996. S. LEDIN – L. CHRISTERSSON: Summary Report Prepared for the Evaluation of the Short-Rotation Forestry Research 1993-1996. Uppsala, Finland, 1996.
117. LONDO ET AL. 2004. M. LONDO – M. ROOSE – J. DEKKER – H. DE GRAAF: Willow short rotation coppice in multiple land-use systems: evaluation of four combination options in Dutch context. In: Biomass and Bioenergy (27) 2004. pp. 205-221.
118. LUKÁCS, 1989. LUKÁCS G. S.: Energiaerdő. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest, 1989.
119. MALIK ET AL. 2001. R. K. MALIK – T. H. GREEN – G. F. BROWN – C. A. BEYL – K. R. SISTANI – D. A. MAYS: Biomass production of short rotation bioenergy hardwood plantations affected by cover crops. In: Biomass and Bioenergy (21) 2001. pp. 21-33.
120. MAROSVÖLGYI, 1985. MAROSVÖLGYI B.: Az erdészeti aprítéktermelés géprendszerének fejlesztése Magyarországon. Kandidátusi Értekezés. Sopron, 1985.
121. MAROSVÖLGYI, 1987. MAROSVÖLGYI B.: Erdőgazdasági-faipari hulladékok brikettálásának műszaki-energetikai problémái. Az Erdő, 1987. 5. sz. 200-204. p.
122. MAROSVÖLGYI, 1988. MAROSVÖLGYI B.: Vizsgálatok fahulladékok brikettálására használt présgépek továbbfejlesztéséhez, Az Erdő, 1988. 6. sz. 270-271. p.
123. MAROSVÖLGYI, 1989. MAROSVÖLGYI B.: A fa energetikai hasznosításának környezeti hatásai. Az Erdő, 1989. 9. sz. 385-387. p.
124. MAROSVÖLGYI, 1993. MAROSVÖLGYI B.: Másodnyersanyagok hasznosítása biomassza termeléssel. Energiagazdálkodás, 1993. 7. sz.
125. MAROSVÖLGYI, 1995. Marosvölgyi B.: Energetikai célú és a racionális földhasznosítást is szolgáló faültetvények komplex vizsgálata. Kutatási jelentés. Erdészeti és Faipari Egyetem. Sopron. 1995. 28-31.p.
126. MAROSVÖLGYI, 2000. MAROSVÖLGYI B.: Energiaerdők és energetikai faültetvények. Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói nap 1998-1999. (Tudományos eredmények a gyakorlatban), Baja-Kecskemét-Szeged, 2000.
127. MAROSVÖLGYI, 2001.a MAROSVÖLGYI B.: Biomassza-hasznosítás I., NYME Energetikai Tanszék, előadás anyag, 2001.

128. MAROSVÖLGYI, 2001.b MAROSVÖLGYI B.: Energetikai faültetvények mezőgazdasági művelésből kivont területen. Agrárinfo, 2001. Szeptember
129. MAROSVÖLGYI, 2002.a MAROSVÖLGYI B.: Biobrikett energianövényekről. Agrárinfó-Megújuló energiaforrások, VII. évf. október, 2002.
130. MAROSVÖLGYI, 2002.b Marosvölgyi B.: Új igények és lehetőségek a fa energetikai hasznosításában. Előadás. X. Wood Tech Erdészeti Szakmai Konferencia. 2002. szept. 11-12.
131. MAROSVÖLGYI ET AL. 1999.a MAROSVÖLGYI B. – KÜRTÖSI A. – TAMÁS R. – TÓTH G. – PETZNIK P. – KÖRMENDI P.: Az ERTI által létesített energetikai faültetvényeken végzett utómérésekről, és egyéb vizsgálatokról. NYME Energetikai Tanszék, Sopron, 1999.
132. MAROSVÖLGYI ET AL. 1999.b B. MAROSVÖLGYI – L. HALUPA – I. WESZTERGOM: Poplars as biological energy sources in Hungary. In: Biomass and Bioenergy (16) 1999. pp. 245-247.
133. MAROSVÖLGYI ET AL. 2002. MAROSVÖLGYI B. – PÜSKI J. – KÜRTÖSI A. – IVELICS R.: Mechanization of harvesting of short rotation coppice. Presentation. In: Logistics of wood technical production in the Carpathian mountains. – International Conference at the University of Forestry and Wood Technology in Zvolen/Slovakia, 9-10. September 2002.
134. MAROSVÖLGYI ET AL. 2003.a MAROSVÖLGYI B. – NÉMETH I. – BOZZAY B.: A biomassza hasznosítása a hőtermelésben. Energiatermelő kistérség, Körmen di Faapríték-fűtőmű. Reginnov Tanácsadó Kft. Körmen d, 2003.
135. MAROSVÖLGYI ET AL. 2003.b MAROSVÖLGYI B. - VITYI A. - IVELICS R.: A biobrikett-termelés alapanyagbázisának bővítése újabb alapanyagok bevonásával, MTA Agrár-Műszaki Bizottsága, XXVII. Kutatási és Fejlesztési tanácskozása, konzultációs téma, 2003.
136. MAROSVÖLGYI ET AL. 2003.c MAROSVÖLGYI B. – VITYI A. – IVELICS R. – SZÜCS-SZABÓ L.: Increasing the raw material basis of biobriquette production by using new materials. In: Hungarian Agricultural engineering, 16/2003. Hungarian Institute of Agricultural engineering (Editor – Prof. Dr. László Tóth), Gödöllő, 2003. pp. 84-85.
137. MAROSVÖLGYI ET AL. 2005. MAROSVÖLGYI B. – HALUPA L. – VITYI A. – NÉMETH I.: A fa energetikai hasznosítása. Tankönyv. Körmen d, 2005.
138. MAROSVÖLGYI ET IVELICS, 2004.a MAROSVÖLGYI B. – IVELICS R.: A hatékonyság elemzése a fa energetikai felhasználásánál. Konzultációs téma. In: MTA Agrártudományok Osztálya, Agrár-Műszaki Bizottsága, Kutatási és Fejlesztési Tanácskozása, Gödöllő, 2004.
139. MAROSVÖLGYI ET IVELICS, 2004.b MAROSVÖLGYI B. – IVELICS R.: Research Report on wood-chips and energy wood production experiments. In: Energy Forest Project, Hungarian Experiments, Budapest, 2004. (In: www.energyforest.com/szovegek/tat_exp.pdf)
140. MAROSVÖLGYI ET IVELICS, 2005. MAROSVÖLGYI B. – IVELICS R.: Short rotation coppice in Hungary. In: Bioenergy International Vol. 13. Stockholm, 2005. p. 13.
141. MATTHEWS, 2001. R. K. MATTHEWS: Modelling of energy and carbon budget of wood fuel coppice systems. In: Biomass and Bioenergy (21) 2001. pp. 1-9.
142. MATTSSON ET KOFMAN, 2003. J. E. MATTSSON – P. D. KOFMAN: INFLUENCE OF PARTICLE SIZE AND MOISTURE CONTENT ON TENDENCY TO BRIDGE IN BIOFUELS MADE FROM WILLOW SHOOTS. In: Biomass and Bioenergy (24) 2003. pp. 429-435.
143. MATTSSON ET MITCHELL, 1995. J. E. MATTSSON – C. P. MITCHELL: IEA Bioenergy Agreement Task IX. Harvesting and supply of woody biomass for energy 1992-1994. In: Biomass and Bioenergy (9) 1995. pp. 117-125.
144. MCCracken ET AL. 2001. A. R. MCCracken – W. M. DAWSON – G. BOWDEN: Yield Responses of willow (Salix) in mixtures in short rotation coppice (SRC). In: Biomass and Bioenergy (21) 2001. pp. 311-319.
145. MIRCK ET AL. 2005. J. MIRCK – J. G. ISEBRANDS – T. VERWIJST – S. LEDIN: Development of short rotation willow coppice systems for environmental purposes in Sweden. In: Biomass and Bioenergy (28) 2005. pp. 219-228.
146. MOLNÁR, 1999. MOLNÁR S. (szerk.): Faanyag-ismerettan. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Bp. 1999.

147. MORISON, 2003. I. K. MORISON: Biomass growth and element uptake by young trembling aspen in relation to site treatments in Northern Ontario, Canada. In: Biomass and Bioenergy (24) 2003. pp. 351-363.
148. NÉMETH, 1997. NÉMETH K.: Faanyagkémia. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Bp. 1997.
149. NONHEBEL, 2002. S. NONHEBEL: Energy yields in intensive and extensive biomass production systems. In: Biomass and Bioenergy (22) 2002. pp. 159-167.
150. NORDH ET VERWIJST, 2004. N-E. NORDH – T. VERWIJST: Above-ground biomass assessments and first cutting cycle production in willow (*Salix* sp.) coppice – a comparison between destructive and non-destructive methods. In: Biomass and Bioenergy (27) 2004. pp. 1-8.
151. NORDH ET DIMITRIOU, 2003. N-E. NORDH – I. DIMITRIOU: Harvest techniques in Europe. „Short Rotation Crops for Bioenergy” Conference. New Zealand, 2003.
152. NURMI, 1995. J. NURMI: The effect of whole tree storage on the fuelwood properties of short-rotation salix crops. In: Biomass and Bioenergy (8) 1995. pp. 245-249.
153. ORLOVIC ET KLASNJA, 2004. S. ORLOVIC – B. KLASNJA: Short rotation plantations with high plant density. Alföldi Erdőkert Egyesület, Kutatói Nap. Tudományos eredmények a Gyakorlatban. Alföldi Erdőkert Egyesület. Kecskemét, 2004.
154. PARIKH ET AL. 2005. J. PARIKH – S. A. CHANNIWALA – G. K. GHOSAL: A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. In: Fuel (84) 2005. pp. 487-494.
155. PÁJER, 2002. PÁJER J.: Természetvédelem. Egyetemi jegyzet. Soproni Egyetem. Sopron, 2002.
156. PÁLVÖLGYI ET FARAGÓ, 1995. PÁLVÖLGYI – FARAGÓ: Az üvegházhatású gázok kibocsátásának korlátozása Magyarországon. Budapest, 1995.
157. PELLIS ET AL. 2004. A. PELLIS – I. LAUREYSENS – R. CEULEMANS: Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar. I. Clonal differences in leaf characteristics in relation to biomass production. In: Biomass and Bioenergy (27) 2004. pp. 9-19.
158. PERTTU, 1999. K. L. PERTTU: Environmental and hygienic aspect in willow coppice in Sweden. In: Biomass and Bioenergy (16) 1999. pp. 291-297.
159. POÓS, 1999. POÓS M.: Az EU csatlakozásunk energetikai területének áttekintése - Magyar Energetika. 1999/3.
160. PROE ET AL. 2002. M. F. PROE – J. H. GRIFFITHS – J. CRAIG: Effects of spacing, species and coppicing leaf area, life interception and photosynthesis in short rotation forestry. In: Biomass and Bioenergy (23) 2002. pp. 315-326.
161. RAFASCHIERI ET AL. 1999. A. RAFASCHIERI – M. RAPACCINI – G. MANFRIDA: Life Cycle Assessment of electricity production from poplar energy crops compared with conventional fossil fuels. In: Energy Conversion and Management (40) 1999. pp. 1477-1493.
162. RÉDEI, 1983. RÉDEI K.: Akácok fatermése. ERTI Kutatási jelentés. Kecskemét, 1983.
163. RÉDEI, 1997. RÉDEI K. (szerk.): Az akáctermesztés kézikönyve. ERTI kiadványai. Budapest, 1997.
164. RIBEIRO ET BETTERS, 1995. C. A. A. S. RIBEIRO – D. R. BETTERS: Single rotation vs coppice systems for short rotation intensive culture plantations – optimality conditions for volume production. In: Biomass and Bioenergy (6) 1995. pp. 295-400.
165. ROBINSON ET AL. 2004. K. M. ROBINSON – A. KARP – G. TAYLOR: Defining leaf traits linked to yield in short rotation coppice *Salix*. In: Biomass and Bioenergy (26) 2004. pp. 417-431.
166. ROYLE ET OSTRY, 1995. D. J. ROYLE – M. E. OSTRY: Disease and pest control on bioenergy crops poplar and willow. In: Biomass and Bioenergy (9) 1995. pp. 69-79.

167. RYTTER, 2002. L. RYTTER: Nutrient content of stems in hybrid aspen as affected by tree age and tree size, and nutrient removal with harvest. In: Biomass and Bioenergy (23) 2002. pp. 13-25.
168. SAVOLAINEN ET BERGGREN, 2000. V. SAVOLINEN – H BERGGREN: Wood Fuels Basic Information Pack. Gummerus Kirjapaino Oy, Jyvaskila, 2000.
169. SCHOLZ ET ELLERBROCK, 2002. V. SCHOLZ – R. ELLERBROCK: The growth productivity, and enviromental impact of the cultivation of energy crops on sandy soil in Germany. In: Biomass and Bioenergy (273) 2002. pp. 81-92.
170. SENELWA ET SIMS, 1999. K. SENELWA – R. E. H. SIMS: Fuel Characteritics of short rotation forest biomass. In: Biomass and Bioenergy (17) 1999. pp. 127-140.
171. SENNERBY-FORSSE, 1995. L. SENNERBY-FORSSE: GROWTH PROCESSES. In: Biomass and Bioenergy (9) 1995. pp. 35-43.
172. SHENG ET AZEVEDO, 2005. C. SHENG – J. L. T. AZEVEDO: Estimating the higher heating value of biomass fuels of bacis analysis data. In: Biomass and Bioenergy (28) 2005. pp. 499-507.
173. SIMS, 2003. R. E. H. SIMS: Transport economics for Short rotaion coppice. „Short Rotation Crops for Bioenergy” Conference. New Zealand, 2003.
174. SIMS ET AL. 1999.a R. E. H. SIMS – K. SENELWA – T. MAIAVA – B. T. BULLOCK: Eucalyptus species for biomass energy in New Zealand-I: Growth screening trials at first harvest. In: Biomass and Bioenergy (16) 1999. pp. 199-205.
175. SIMS ET AL. 1999.b R. E. H. SIMS – K. SENELWA – T. MAIAVA – B. T. BULLOCK: Eucalyptus species for biomass energy in New Zealand-II: Coppice performance. In: Biomass and Bioenergy (17) 1999. pp. 333-343.
176. SIMS ET AL. 2001. R. E. H. SIMS – T. G. MAIAVA – B. T. BULLOCK: Short rotation coppice tree species selection for woody biomass production in New Zealand. In: Biomass and Bioenergy (20) 2001. pp. 329-335.
177. SIMS ET VENTURI, 2004. R. E. H. SIMS – P. VENTURI: All-year-round harvesting of Short rotation coppice eucalyptus compared with the delivering costs of biomass from more conventional short season, harvesting systems. In: Biomass and Bioenergy (26) 2004. pp. 27-37.
178. SINGH ET BEHL, 1999. B. SINGH – H. M. BEHL: Energy flow, carbon and nitrogen cycling in Populus deltoides clones in north India. In: Biomass and Bioenergy (17) 1999. pp. 345-356.
179. SOPP, 1970. SOPP L.: Fatömeg-számítási Táblázatok. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1970.
180. SOPP ET KOLOZS, 2000. SOPP L. – KOLOZS L.: Fatömeg-számítási Táblázatok. ÁESZ, Budapest, 2000.
181. SPINELLI ET HARTSOUGH, 2001.a R. SPINELLI – B. R. HARTSOUGH: Extracting whole short rotation trees with a skidder and a front-end loader. In: Biomass and Bioenergy (21) 2001. pp. 425-431.
182. SPINELLI ET HARTSOUGH, 2001.b R. SPINELLI – B. R. HARTSOUGH: A survey of Italian chipping operations. In: Biomass and Bioenergy (21) 2001. pp. 433-444.
183. SPINELLI ET HARTSOUGH, 2001. R. SPINELLI – B. R. HARTSOUGH: Extracting whole short rotation trees with a skidder and a front-end loader. In: Biomass and Bioenergy (21) 2001. pp. 425-431.
184. SPINELLI ET KOFMAN, 1996. SPINELLI, R. – KOFMAN, P.: A Review of Short-Rotation Forestry harvesting in Europe. Előadás. Konferencia „First Conference of the Short Rotation Woody Crops Operation Working Group” Paducah, KY. 1996.9.23-25.
185. SZENDRŐDI, 1987. SZENDRŐDI L.: Rövid vágásfordulójú nyár faültetvények aprítéktermelés céljára. Doktori értekezés. Erdészeti és Faipari Egyetem. Sopron. 1987.
186. SZENDRŐDI, 1993. SZENDRŐDI L.: Rövid vágásfordulójú nemesnyár faültetvény fatermése. Kandidátusi értekezés. Erdészeti és Faipari Egyetem. Sopron. 1993.
187. SZERGÉNYI, 1992. SZERGÉNYI I.: Az energiafelhasználás-változás a modernizáció függvényében -Energia gazdálkodás. XXXIII. 1992/2

188. SZERGÉNYI, 1997. SZERGÉNYI I.: Európai energiapolitika - Magyar energiapolitika - Integrációs Stratégiai Munkacsoport kiadványa. 4. Munkacsoport. 30. 1997.
189. SZODFRIDT, 2001. SZODFRIDT I.: Nyártermesztés. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó. Bp. 2001.
190. SZONTAGH, 1990. SZONTAGH P.: A nyárok és Fűzek növényvédelme. Az állami Gazdaságok Országos Egyesülése Erdőgazdálkodási Szakbizottsága, Bp. 1990.
191. SZONTAGH ET TÓTH, 1988. SZONTAGH P. – TÓTH J.: Erdővédelmi útmutató. Mezőgazdasági kiadó. Budapest. 1988. pp. 49-54.
192. UDVARDY, 1997.a Állományképző adventív fanerofitonok társulási viszonyai Budapest környéki populációkban. IV. Magyar Ökológus Kongresszus, Pécs
193. UDVARDY, 1997.b Fásszárú adventív növények Budapesten és környékén. Kandidátusi értekezés. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem, Budapest
194. UDVARDY, 2004. Bálványfa. In: In: MIHÁLY B. – BOTTA-DUKÁT Z. (szerk.) (2004): Biológiai inváziók Magyarországon. Özönnövények. Természetbúvár Alapítvány Kiadó, Budapest, pp. 143-160.
195. TAHVANAINEN ET RYTKÖNEN, 1999. L. TAHVANAINEN – V-M. RYTKÖNEN: Biomass production of *Salix viminalis* in southern Finland and the effect of soil properties and climate conditions on its production and survival. In: Biomass and Bioenergy (16) 1999. pp. 103-117.
196. TAMÁS, 1997. TAMÁS R.: A felszabaduló mezőgazdasági területek racionális hasznosítási lehetőségei, 1997.
197. TELENIOUS, 1999. B. F. TELENIOUS: Stand growth of deciduous pioneer trees species on fertile agricultural land in southern Sweden. In: Biomass and Bioenergy (16) 1999. pp. 13-23.
198. THARAKAN ET AL. 2003. P. J. THARAKAN – T. A. VOLK – L. P. ABRAHAMSON – E. H. WHITE: Energy feedstock characteristics of willow and hybrid poplar clones at harvest age. In: Biomass and Bioenergy (25) 2003. pp. 571-580.
199. TÓTH, 1988. TÓTH B. (SZERK) – ERDŐS L.: Nyár Fajtaismertető. Az állami Gazdaságok Országos Egyesülése Erdőgazdálkodási Szakbizottsága, Bp. 1988.
200. TUBBY ET ARMSTRONG, 2002. I. TUBBY – A. ARMSTRONG: Establishment and management of short rotation coppice. Forestry Commission. Edinburgh, 2002.
201. VAJDA, 1981. VAJDA GY.: Energetika I., Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981. p. 13-40.
202. VAJDA, 1984. VAJDA GY.: Energetika II., Akadémiai Kiadó, Budapest, 1984.
203. VAJDA, 2001. VAJDA GY.: Energiapolitika, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 2001.
204. VÁRADI, 1987. VÁRADI G.: Faalapú biomassza hasznosításának helyzete és feladatai Magyarországon, Budapest, 1987.
205. VEPERDI, 2005. VEPERDI G.: Dendrometria. Oktatási segédanyag. NYME, Erdővagyon-gazdálkodási Intézet, Erdőrendezéstani Tanszék. Sopron, 2005.
206. VERVAEKE ET AL. 2001. P. VERVAEKE – S. LUYSSAERT – J. MERTENS – B. DE VOS – L. SPELEERS – N. LUST: Dreged sediment as a substrate for biomass production of willow trees established using the SALIMAT technique. In: Biomass and Bioenergy (21) 2001. pp. 81-90.
207. VERWIJST, 2003. T. VERWIJST: IEA Task 30. Short rotation crops for bioenergy systems. IEA, 2003.
208. WIPPERMANN ET STAMPFER, 1995. WIPPERMANN, J. – STAMPFER, K.: Entwicklung von Erntemachinen für Energieholzflächen. Holz-Zentralblatt különkiadása CXXI. évf. 1. 1995. Stuttgart. pp. 6-8., 274-276.
209. WRIXON ET AL. 1993. WRIXON, G.T. – ROONEY, A. – PALZ, W.: A megújítható energia 2000-ben. (Renewable Energy - 2000). Berlin-Heidelberg-New York etc., Springer, 1993.
210. ZSUFFA, 1995. L. ZSUFFA: Characterisation of poplar and willow clones and cultivars. In: Biomass and Bioenergy (9) 1995. pp. 53-68.

Ivelics Ramon

Minirotációs energetikai faültetvények termesztés- technológiájának és hasznosításának fejlesztése

Kivonat

A társadalom, gazdaság, az ipar növekedése egyre több faanyagot igényel. Az energetikai fejlesztések hatására a növekvő alapanyagigényt a hagyományos erdőgazdálkodás nem tudja kielégíteni, ezért a rövid vágásfordulójú faültetvények termesztése, szinte az egyetlen megoldás a természetes és természetyszerű erdők teher-mentesítésére.

A disszertáció a minirotációs (1-5 éves vágásfordulójú) energetikai faültetvények termesztés-technológiájának és hasznosításának fejlesztésében különböző új tudományos eredményeket ért el. A minirotációs energetikai faültetvények fatömegének és fahozamának becslésére alkalmas eljárást dolgozott ki, amely a gyakorlatban megfelelő korrelációval alkalmazható.

A kutatások kiterjedtek a mini, midi és rövid vágásfordulójú faültetvények betakarítás-technológiájára, amely során frakcióelemzés központú vizsgálatok kerültek kivitelezésre. A kutatás eredményeire támaszkodva az energetikai faültetvények betakarítása különböző betakarítási rendszerekben folyhat.

A minirotációs faanyag energetikai kutatása során további új eredmények születtek, amelyek alapján az C-, H-, O-, N-, S-, hamu- és nedvességtartalom alapján megbecsülhető – a gyakorlat számára megfelelő korrelációs koefficienssel – az egyes minirotációs biotüzelőanyagok fűtőértéke. A kutatások során kialakításra került egy ún. szilárd biotüzelőanyag indikátor (FBVI-FuelBiomass Value Index), amely a bioenergetikai beruházások döntés-előkészítése során szolgáltat alapinformációkat.

Ramon Ivelics

Development of cultivation technology and utilization of mini rotation woody crops for energy purpose

Abstract

On the basis of the affects of developments of energy sector, the natural forests cannot satisfy the increasing basic wood material, that's why the production of short rotation crops almost the single solution for the discharge of the natural forests.

New scientific results were stated in present dissertation, in the theme of cultivation technology and utilization of the mini rotation woody crops for energy purposes. Estimation method, for determination of woodmass and woodyield of mini rotation woody crops, were researched, which provide aduquate correlation coefficiens for practise.

The mechanization of harvesting of short rotation woody crops was also researched and developed by the results of this dissertation.

FuelBiomass Value Index (FBVI) was developed for the validation of different type of hungarian solid biofuels, which can be also provided for the characterization of mini rotation dendromass.

MELLÉKLETEK

MELLÉKLETJEGYZÉK

- 2.1. sz. melléklet: Különböző nemzetközi rövid vágásfordulójú faültetvények hozamának összehasonlítása
- 2.2. sz. melléklet: A minirotációs energetikai faültetvények kutatás-fejlesztésével foglalkozó kutatók téma szerinti felsorolása
- 4.1. sz. melléklet: A PP Rt. királyegyházai minirotációs nemesnyár energetikai faültetvény kísérletek helyszínrajza
- 4.2. sz. melléklet: Fajtateszt elrendezés a királyegyházai nemesnyár faültetvény ikersoros, 1 éves vágásfordulójú állományában
- 4.3. sz. melléklet: Termőhely-feltárási vizsgálatok a királyegyházai faültetvény területen.
- 4.4. sz. melléklet: A tatai energetikai faültetvény kísérlet helyszínrajza
- 4.5. sz. melléklet: (6 db diagram) Pannónia nemesnyár klón állományok egyedenkénti tualdonságai közötti összefüggés

DIAGRAMJEGYZÉK

4.1.sz. diagram: Magasság az idő függvényében, F1-Monviso (telepítés 2005. május)	57
4.2.sz. diagram: Magasság az idő függvényében, F2-Monviso (telepítés 2005. május)	58
4.3.sz. diagram: A Monviso klón magassági növekedése 2005.	58
4.4. sz. diagram: Magasság az egyes nemesnyár klónoknál a vegetációs időszakban (2005. július)	59
4.5. sz. diagram: Olasz és magyar nemesnyár klónok magassági növekedésének összehasonlítása	60
4.6. sz. diagram: Olasz és magyar nemesnyár klónok magassági növekedésének összehasonlítása	60
4.7. sz. diagram: Olasz és magyar nemesnyár klónok relatív magassági növekedésének összehasonlítása	61
4.8.sz. diagram: Magyar nemesnyár klónok és a Monviso abszolút és relatív magassági növekedésének összehasonlítása	61
4.9. sz. diagram: Magyar nemesnyár klónok magassági növekedésének összehasonlítása	62
4.10. sz. diagram: Magyar nemesnyár klónok és a Monviso abszolút és relatív magassági növekedésének összehasonlítása	63
4.11. sz. diagram: A Monviso klón magassági növekedése 2005.	63
4.12. sz. diagram: Magasság alakulása a tőtáv függvényében (alany:AF2)	64
4.13. sz. diagram: Magasság alakulása az idő és a növőtér (m ²) függvényében (tőtávteszt: AF2)	64
4.14.sz. diagram: Nemesnyár klónok (biennale) jellemzői	66
4.15. sz. diagram: 2 éves Pannónia nemes nyár klón fatömegének meghatározása fatömeg-egyenes eljárásokkal I.	70
4.16. sz. diagram: 2 éves Pannónia nemes nyár klón fatömegének meghatározása fatömeg-görbés eljárásokkal II.	70
4.17. sz. diagram: A nemesnyár minirotációs energetikai faültetvények betakarításkori nedvességtartalmára vonatkozó vizsgálat eredményei	72
4.18. sz. diagram: A nemesnyár energetikai faültetvény fahozamának változása	73
4.19. sz. diagram: Koltay nemesnyár klón fatömegének és fahozamának változás	M

4.20. sz. diagram: Pannónia nemesnyár klón fatömegének és fahozamának változás	M
4.21. sz. diagram: Beaupre nemesnyár klón fatömegének és fahozamának változás	M
4.22. sz. diagram: Az akác energetikai faültetvény fahozamának és fatömegének változása	74
4.23. sz. diagram: A gépi és a kézi betakarítás által készített apríték frakcióelemzése	92
5.1. sz. diagram: A dendromassza-ültetvények faanyagának és az egyes szilárd biomassa ípusok anyagának összehasonlítása az FVI, valamint az FVBI alapján	M
5.2. sz. diagram: A biobrikettek összehasonlítása az FVI, valamint az FBVI alapján	M
5.3. sz. diagram: A fabrikettek átmérő változása	M
5.4. sz. diagram: A fabrikettek hosszváltozása	M
5.5. sz. diagram: A fabrikettek egységnyi átmérőváltozása	M
5.6. sz. diagram: A fabrikettek egységnyi hosszváltozása	M
5.7. sz. diagram: Az új alapanyagok frakcióeloszlása	M
5.8. sz. diagram: A nyár apríték, a kínai nád és az energiafű biobrikettek hosszváltozása	M
5.9. sz. diagram: A nyár apríték, a kínai nád és az energiafű biobrikettek átmérőváltozása	M
5.10. sz. diagram: A fapor és faforgács alapanyagok frakcióeloszlása	M
5.11. sz. diagram: A nyár apríték, a kínai nád és az energiafű biobrikettek egységnyi átmérőváltozása hosszváltozása	M
5.12. sz. diagram: A nyár apríték, a kínai nád és az energiafű biobrikettek egységnyi hosszváltozása	M

Jelmagyarázat:

- 5 v. 87-oldalszám
- M - Melléklet

TÁBLÁZATJEGYZÉK

2.1. sz. táblázat:	A világ energiastruktúrájának változatai 2050-re	5
2.2. sz. táblázat:	A megújuló energia részaránya az EU régi tagállamaiban	6
2.3. sz. táblázat:	Az EU megújulókkal kapcsolatos legfontosabb jogszabályai	7
2.4. sz. táblázat:	A hazai megújuló energia-termelés adatai	8
2.5. sz. táblázat:	Hazai energetikai alapadatok	8
2.6. sz. táblázat:	Magyarország primer energiafelhasználása, 1990-2004 között (PJ-ban)	9
2.7. sz. táblázat:	Az EU és Magyarország biomassza-energetikai vállalásai	11
2.8. sz. táblázat:	A minirotaációs energetikai faültetvények hozamának nemzetközi összehasonlítása	16
2.9. sz. táblázat:	A mini és rövid vágásfordulóú energetikai célú faültetvények teljesfa tömegének és a hozamának meghatározására irányuló kutatások és eljárások	17
2.10. sz. táblázat:	Hanságligeti kísérletek eredményei	25
2.11. sz. táblázat:	Karancslapujtói kísérlet mérési eredményei	26
2.12. sz. táblázat:	Jakabszállási kísérletek I.	29
2.13. sz. táblázat:	Jakabszállási kísérletek I.	29
2.14. sz. táblázat:	Az energianövények csoportosítása	33
2.15. sz. táblázat:	A fa és más lignocellulózok összehasonlítása fűtőértékük állapotban	37
4.1. sz. táblázat:	A Populus nemzetség fajcsoportjainak, a fontosabb fajoknak, hibrideknek és klónoknak az áttekintése	M
4.2. sz. táblázat:	Az F1 és az F2 parcellák mintaterületei közötti eltérések	57
4.3. sz. táblázat:	Az Olaszországból származó nemesnyár klónok adatai	M
4.4. sz. táblázat:	A Magyarországról származó nemesnyár klónok adatai (2005. július)	M
4.5. sz. táblázat:	Nemesnyár klónok (biennale) mintaterületenkénti átlagos adatai	65

4.6. sz. táblázat:	Pannónia nemesnyár klón különböző korú állományához tartozó fatömegének meghatározása különböző eljárásokkal és azok korrelációs koefficiense	M
4.7. sz. táblázat:	A nemesnyár rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények betakarítás-kori átlagos nedvességtartalma és nedvességtartalom tényezője	72
4.8. sz. táblázat:	A minirotaációs energetikai faültetvények hozamtáblázata	M
4.9. sz. táblázat:	A királyegyházai rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények hozambecslése	75
4.10. sz. táblázat:	Az egy éves minirotaációs fűz energetikai faültetvény mérési eredményei	M
4.11. sz. táblázat:	A különböző mini és rövid vágásfordulójú energetikai faültetvények betakarítására alkalmas célgépek áttekintése	M
4.12. sz. táblázat:	Energetikai faültetvényekből kitermelt különböző energiahordozók és szállításuk	86
5.1. sz. táblázat:	Saját fontosabb mérési eredmények a következők (átlag eredmények)	97
5.2. sz. táblázat:	A fűtőérték eljárások korrelációs eredményei a következők	98
5.3. sz. táblázat:	Különböző kanadai fűz klónok tüzeléstechnikai értékei	99
5.4. sz. táblázat:	A különböző szilárd biotüzelőanyagok FVI, FBVI értékei	M

Jelmagyarázat:

- 5 v. 87-oldalszám
- M - Melléklet

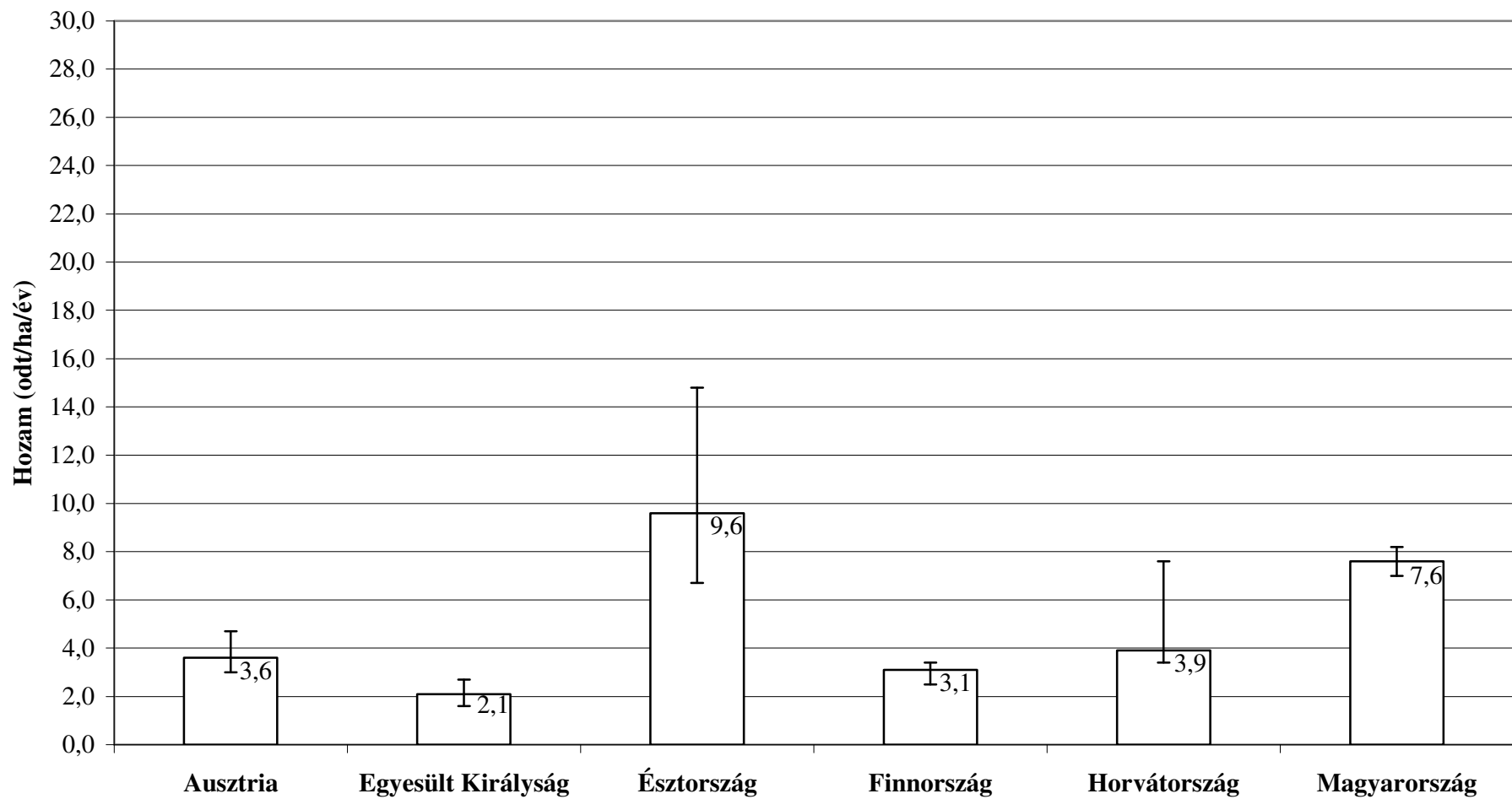
ÁBRAJEGYZÉK

2.1.sz. ábra: A világ energiafogyasztása 2060-ig, a SCHELL vállalat előrejelzése alapján	5
2.2. sz. ábra: A világ primer energiafelhasználásának struktúrája	M
4.1. sz. ábra: Betakarítási technológiák szemléltetése	86
4.2. sz. ábra: A motor-manuális betakarítás, aprítás és szállítás folyamata	M
4.3. sz. ábra: A gépi betakarítás-aprítás és a szállítás folyamata	M
4.4.sz. ábra: Az OGFA II. gép felül nézeti műszaki rajza (Optigép Kft.)	90
4.5. sz. ábra: Az OGFA II. gép behúzó és vágó hengerei munka közben (Optigép Kft.)	91
5.1. sz. ábra: A dendromassza energetikai célú előkezelése és konverziója	M

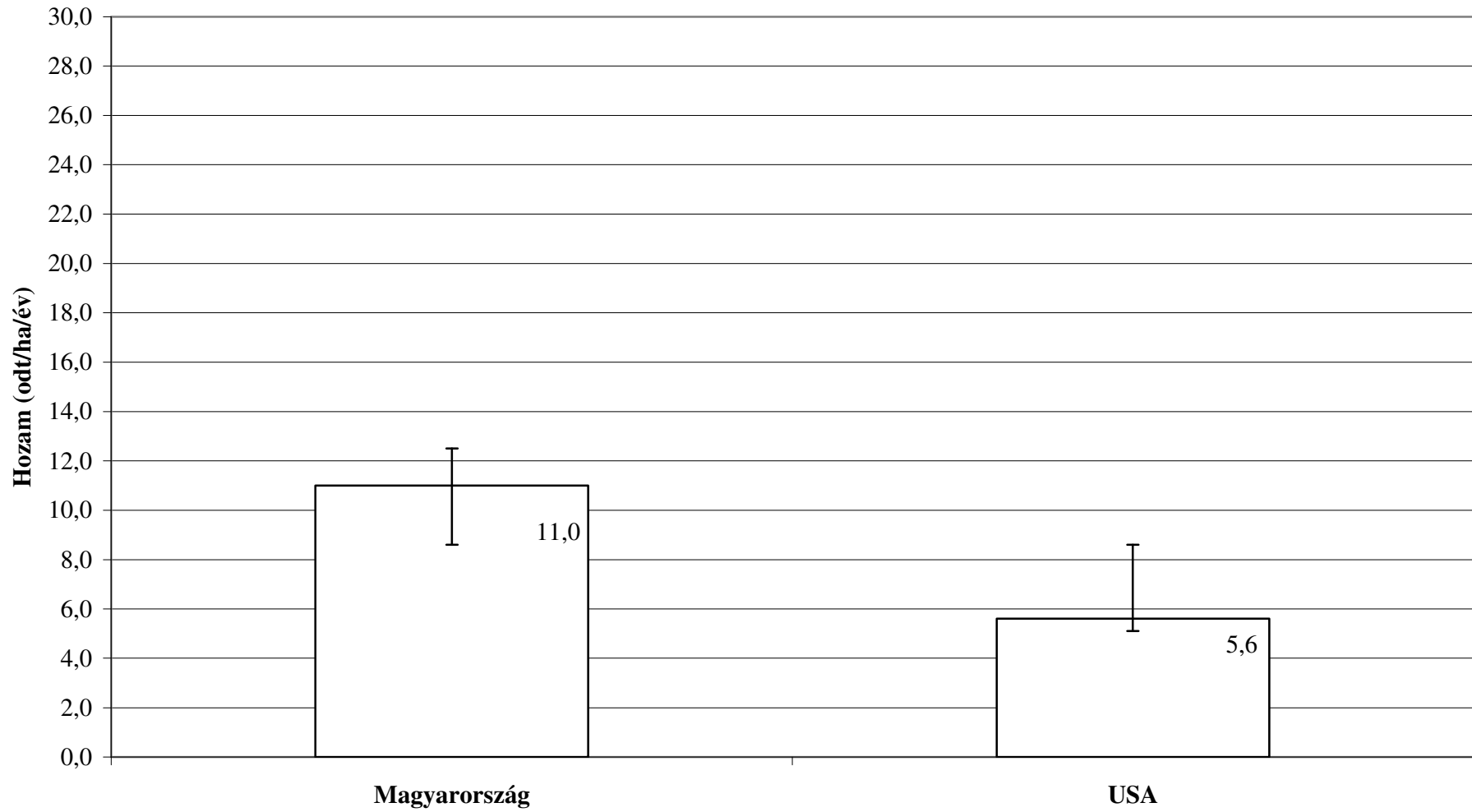
Jelmagyarázat:

- 5 v. 87-oldalszám
- M - Melléklet

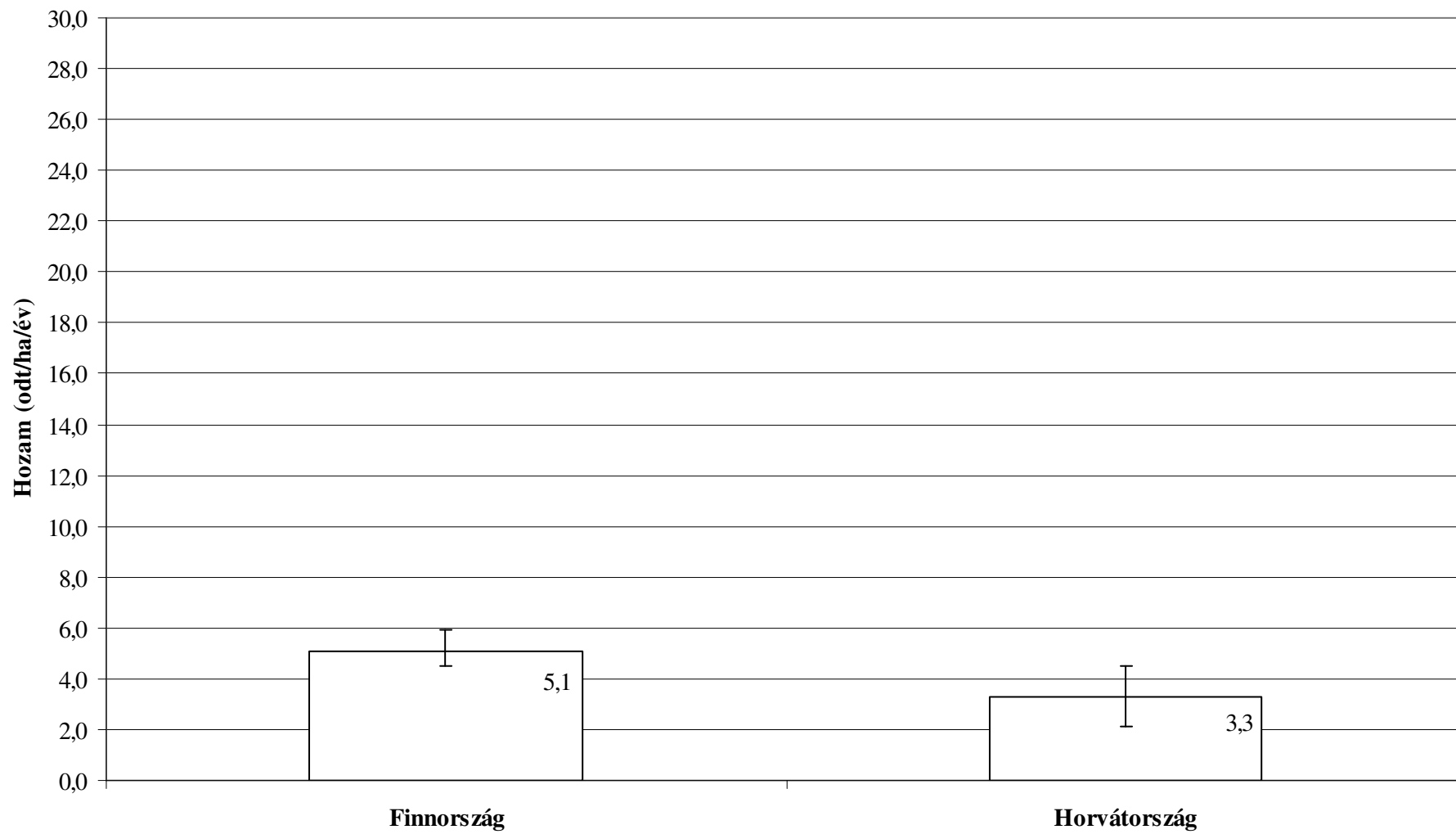
2.1. sz. Melléklet: 1. Diagram: Alnus rövid vágásfordulójú faültetvények hozamának nemzetközi összehasonlítása



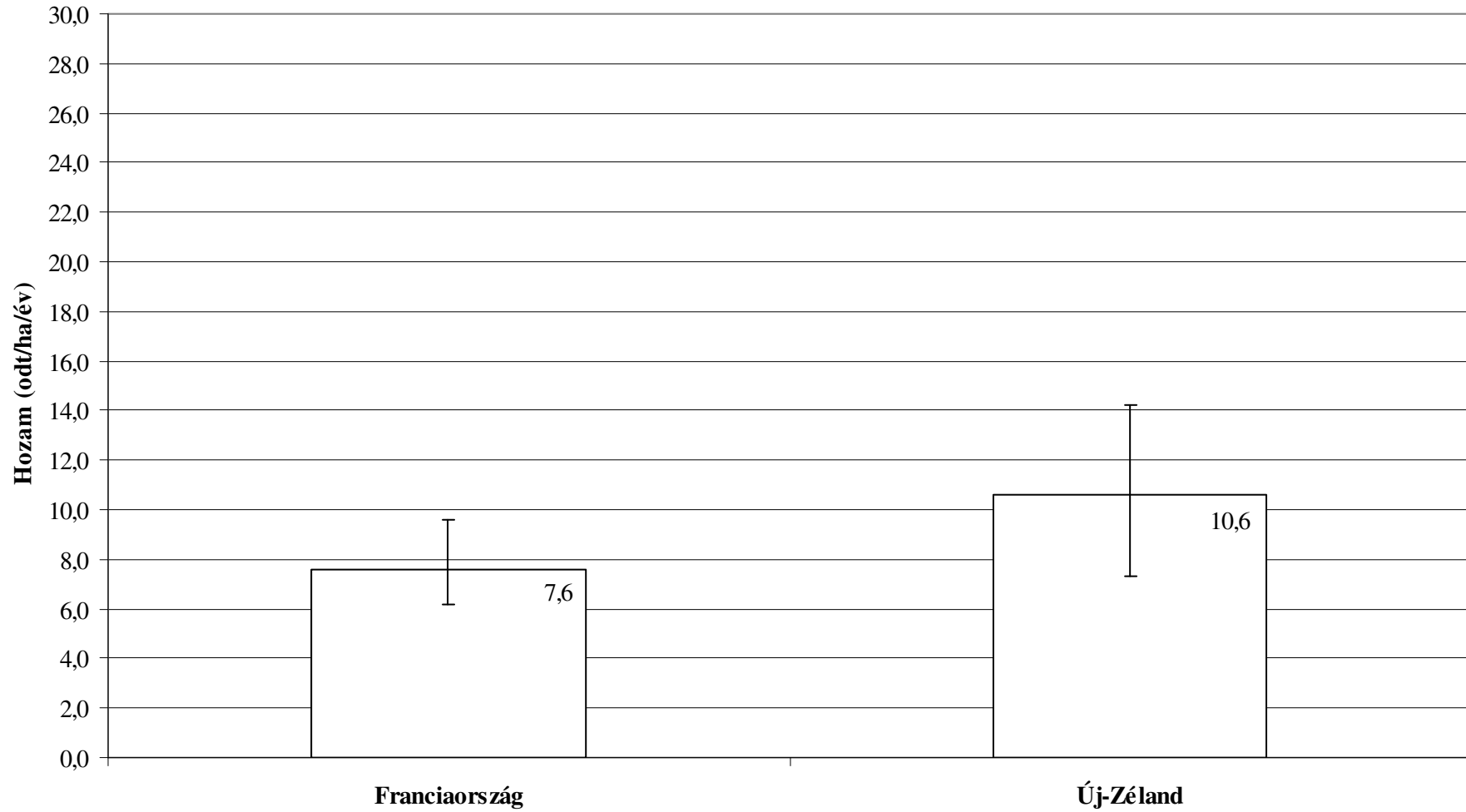
2.1. sz. Melléklet: 2. Diagram: Ailanthus rövid vágásfordulójú faültetvények hozamának nemzetközi összehasonlítása



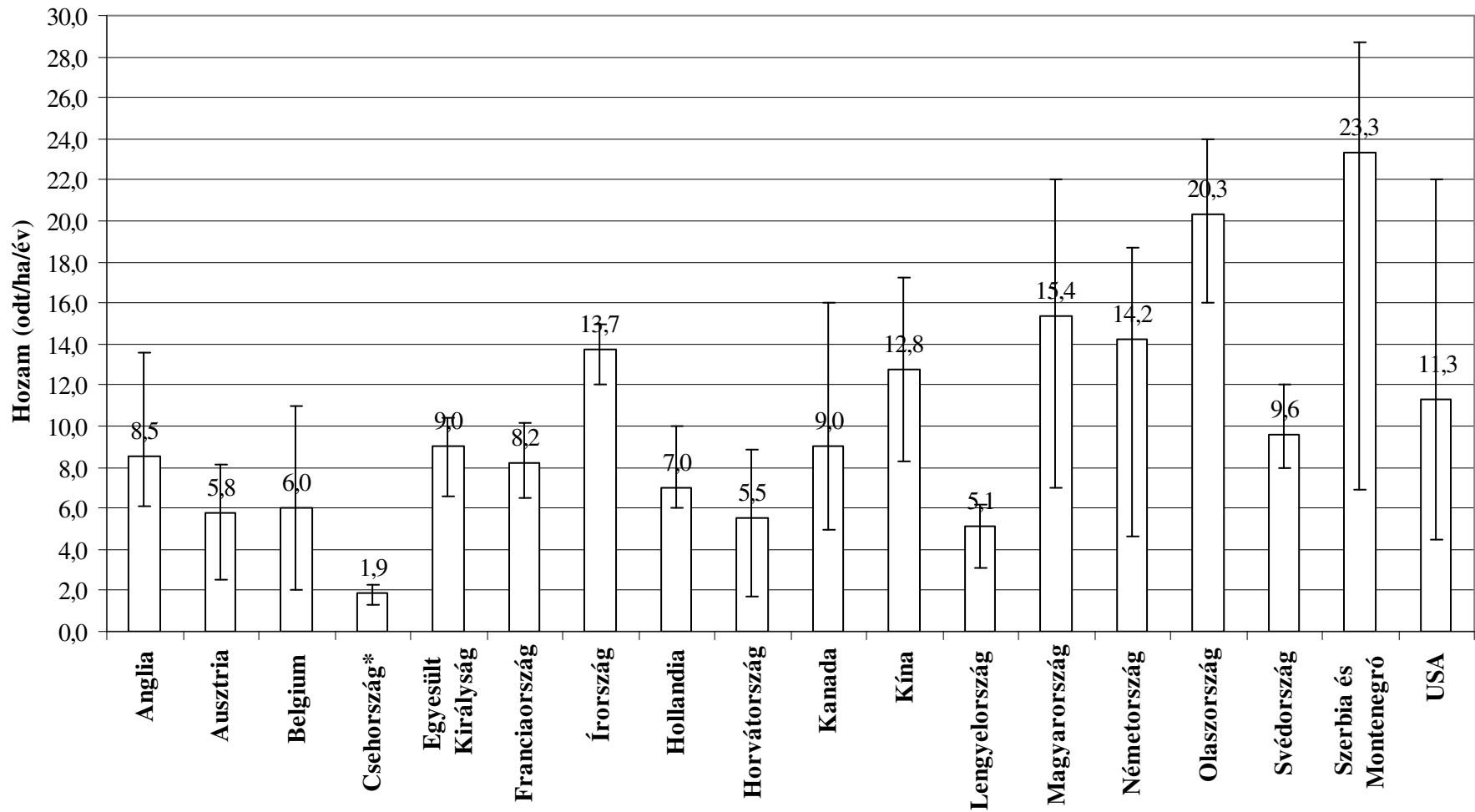
2.1. sz. Melléklet: 3. Diagram: Betula rövid vágásfordulójú faültetvény hozamának nemzetközi összehasonlítása



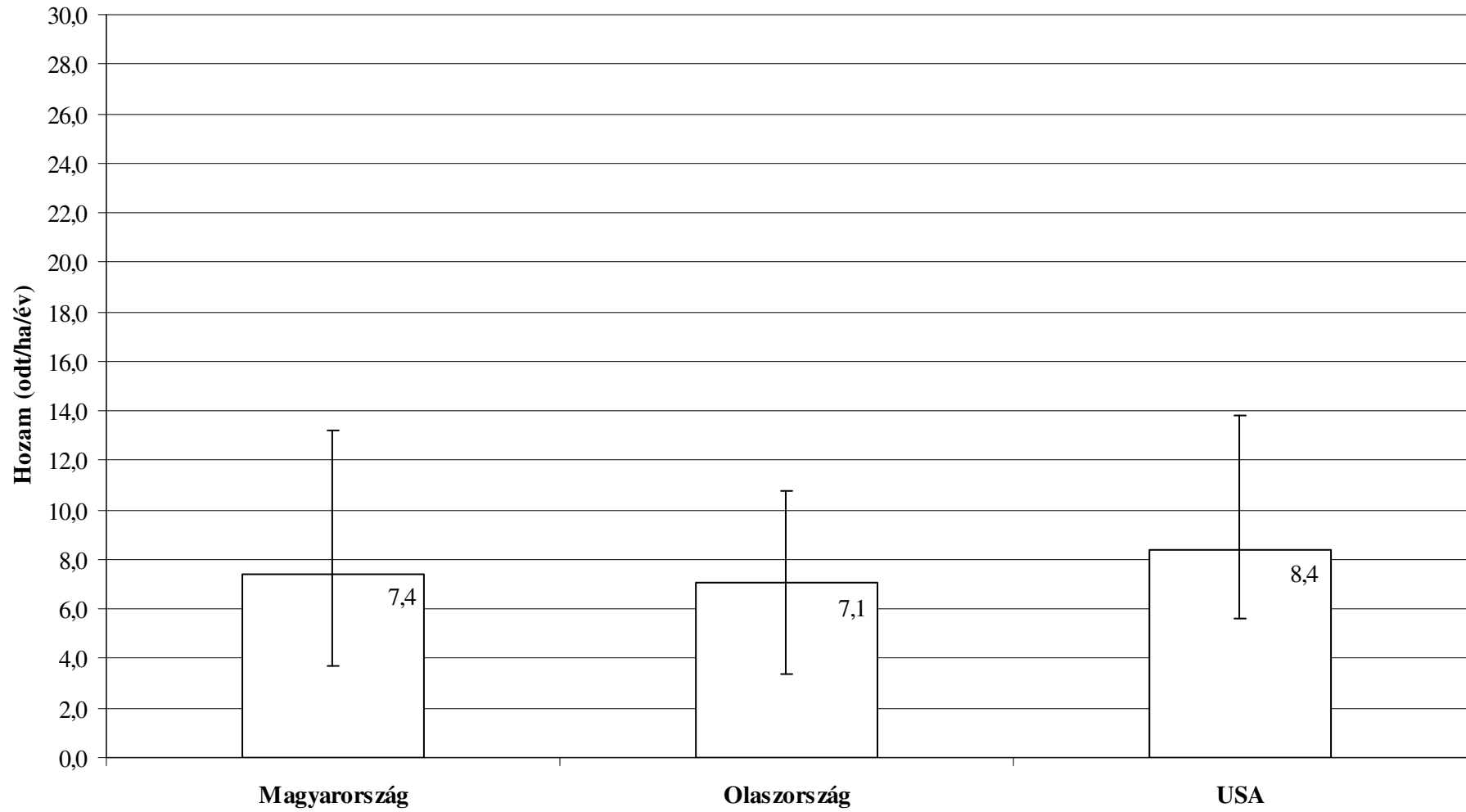
2.1. sz. Melléklet: 4. Diagram: Eucalyptus rövid vágásfordulójú faültetvények hozamának nemzetközi összehasonlítása



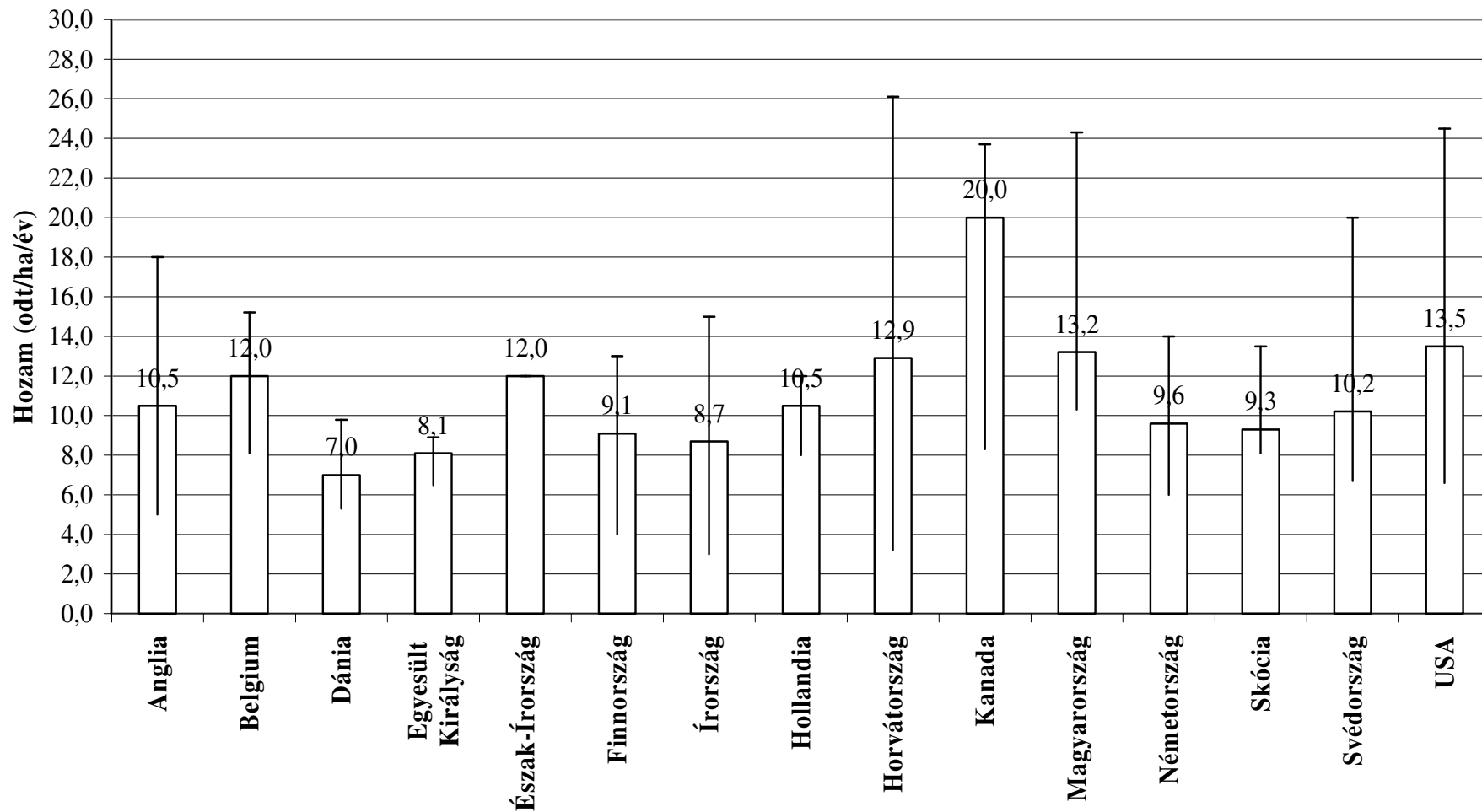
2.1. sz. Melléklet: 5. Diagram: Populus rövid vágásfordulójú faültetvények hozamának nemzetközi össze hasonlítása



2.1. sz. Melléklet: 6. Diagram: Robinia rövid vágásfordulójú energetikai faültetvények hozamának nemzetközi összehasonlítása



2.1. sz. Melléklet: 7. Diagram: Salix rövid vágásfordulójú faültvények hozamának nemzetközi összehasonlítása



2.2. sz. melléklet: A minirotaációs energetikai faültvények kutatás-fejlesztésével foglalkozó kutatók téma szerinti felsorolása

A biomassza, valamint az dendromassza ültvények globális, térségi potenciáljának meghatározásával, illetve a globális biomassza hasznosítás politikával, a következő kutatók foglalkoznak: G. Fischer, L. Schratzenholzer, S. Prieler, H. von Velthuisen (Ausztria), G. Berndes (Svédország), M. Hoogwijk, R. van de Broek, A. Faaij, B. Eickhout, B. de Vries, W. Turkenburg (Hollandia), D. Gielen, J. Fujino, S. Hashimoto, Y. Moriguchi (Japán).

Az energetikai célú rövid vágásfordulóú faültvények, dendromassza ültvények témában jelentős eredményekről számoltak be L. Zsuffa, F. A. Aravanopoulos, K. H. Kim, I. K. Morrison (Kanada), B. F. Telenius, K. Pertuu, F. Weih, L. Sennerby-Forsse (Svédország), I. Herpka, B. Klasnja, S. Kopitovic, S. Orlovic (Jugoszlávia), Johansson (Finnország), B. Keresztesi, K. Rédei, B. Marosvölgyi, L. Halupa (Magyarország), F. Nardin, R. Spinelli, U. Bagnaresi (Olaszország), D. Hoffman, H. Weisberger (Németország), J. Hytönen, S. Kannisto, (Finnország), D. Kajba, S. Bogdan (Horvátország), T.E. Converse, D.R. Betters (USA) A. Armstrong (Anglia), J. Boyd (Skócia), M. Gylling, L. Dickelbach (Dánia).

Jelentős hozameredményekről adnak számot, különböző fafajok, klónok, fajták kísérleti energetikai célú rövid vágásfordulóú alkalmazása kapcsán I. K. Morrison, M. Labreque, T. I. Teodorescu (Kanada), T. Johansson (Finnország), T. E. Converse, D. R. Betters (USA), L. Sennerby-Forsse, A. Lindroth, J. Cermak, H. Eckersten (Svédország), D. Kajba, S. Bogdan, N. Komlenovic, A. Krstinic (Horvátország), B. Klasnja, S. Kopitovic, S. Orlovic (Jugoszlávia), V. Benetka, I. Bartáková, J. Mottl, J. Kucera, E. Cienciala (Csehország), K. Senelwa, R. E. H. Sims, T. Maiawa, B. T. Bullock (Új- Zéland), L. Rytter (Svédország), A. Armstrong, A. J. Moffat, J. Ockleston, M. J. Bullard, S. J. Mustill, S. D. McMillan, P. M. I. Nixon, P. Carver, C. P. Britt (Anglia), I. Laureysens, A. Pellis, W. Deraedt, T. Indeherberge, R. Ceulemans, N. Al Agas (Belgium), Ü. Niinements (Észtország), V. Scholz, R. Ellerbrock (Németország), W. M. Dawson, A. R. McCracken, G. Bowden (Észak-Írország), S. B. Land Jr., W. W. Elam (USA), M. Kilan (Pakisztán), B. Singh, H. M. Behl (India), S. Fang, X. Xu, S. Lu, L. Tang (Kína).

Az energetikai célú rövid vágásfordulóú faültvények hozamának meghatározásával a következő kutatók foglalkoznak: B. F. Telenius (Svédország), J. Hytönen, L. Tahvaninen, V. M. Rytönen (Finnország), A. Armstrong, C. Johns, I. Tubby, K. M. Robinson, G. Taylor, A. Karp (Anglia), G. Deckmyn, I. Laureysens, J. Garcia, B. Mys, R. Ceulemans, P. Vervaeke, S. Luysaert, J. Mertens, B. De Bos, L. Speleers, N. Lust (Belgium), R. van den Broek, L. Vleeshouwers, M. Hoogwijk, A. van Wijk, W. Turkenburg (Hollandia).

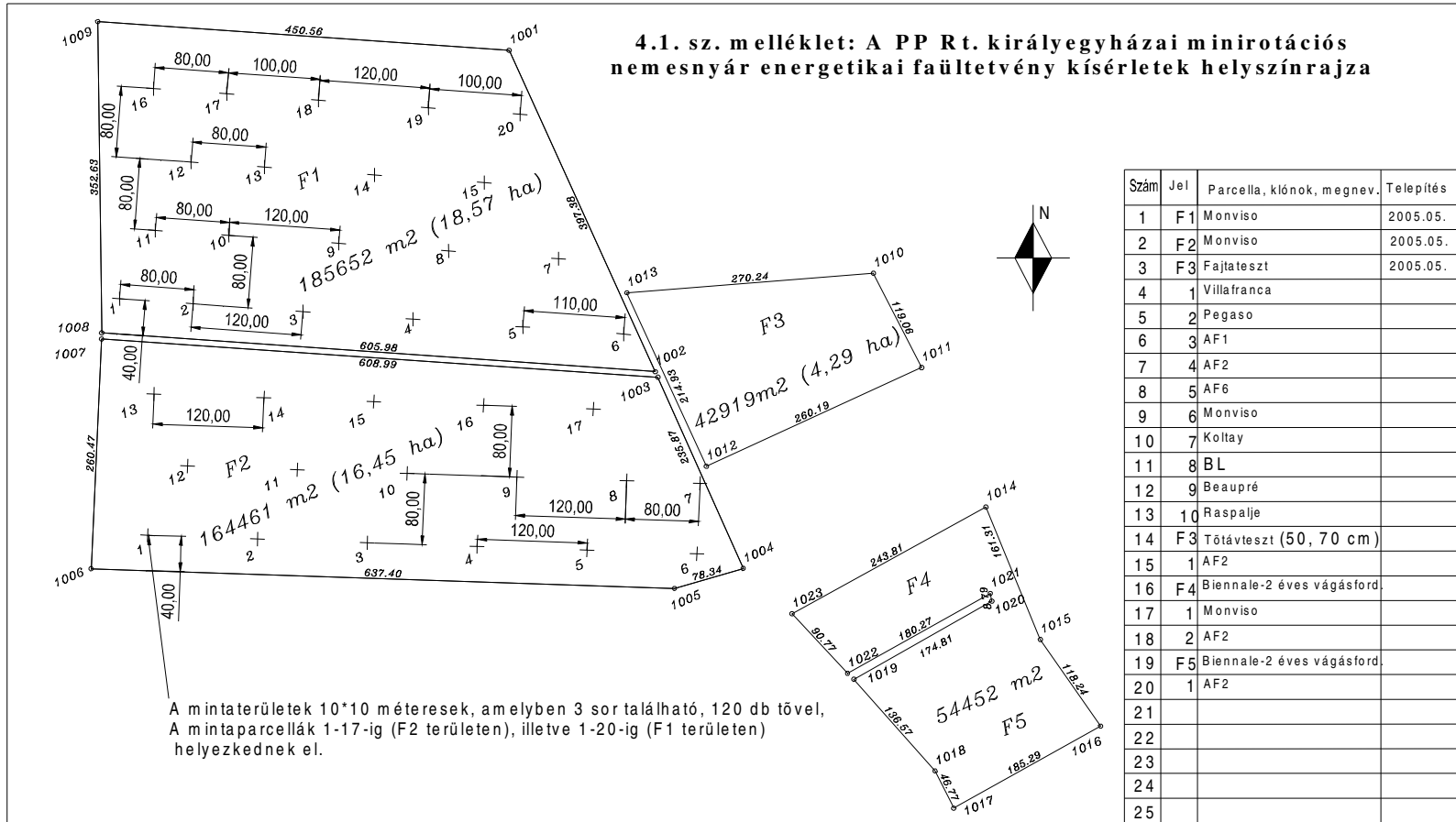
Energetikai célú rövid vágásfordulóú faültvények termesztés-technológiájának és géprendszerének kutatásáról illetve fejlesztéséről, a betakarítás hatásáról publikálnak rendszeresen a következő kutatók: I. Hytönen, J. Issakainen, Hakkila (Finnország), J. K. Gigger, W. K. P. van Loon, M. M. Vissers, G. P. A. Bot, J. V. van den Berg, C. Sonneveld, G. Meerdink, E. M. T. Hendrix (Hollandia), R. Spinelli (Olaszország), B. Hartsough, D. Yomogida, B. Stokes, R. A. McLaughlan, A. Gonkey, S. Brown, C. A. A. Robeiro, D. R. Betters (USA), P. Kofman (Dánia), C. P. Mitchell, A. Armstrong, I. Tubby, C. Reynolds, D. Culshaw (Anglia), V. bonnicelli (Franciaország), O. Noren, J. E. Mattsson, N. E. Nordh, I. Dimitriou (Svédország), Laureysens, A. Pellis, J. Willems, R. Ceulemans (Belgium), R. E. H. Sims (Új-Zéland), P. Felker (Argentína), B. Marosvölgyi (Magyarország).

A faanyag energetikai jellemzőinek kutatásával, a rövid vágásfordulóú faültvények faanyagának vizsgálatával a következő kutatók rendszeren publikálnak: A. Derimbas (Törökország), K. Senelwa, R. E. H. Sims (Új- Zéland), C. Sheng, J. L. T. Azevedo (Portugália), B. Klasnja, S. Kopitovic, S. Orlovic (Jugoszlávia), P. J. Tharakan, T. A. Volk, L. P. Abrahamson, E. H. White (USA), J. Nurmi (Finnország), D. Kauter (Németország), I. Lewandowski, W. Claupein (Hollandia), B. Marosvölgyi, L. Halupa (Magyarország).

A rövid vágásfordulóú faültvények hagyományos energetikai hasznosításáról, valamint az utóbbi évtizedek energetikai fejlesztéseinek köszönhetően a faanyag új-keletű energetikai felhasználásáról (brikettálás, pelletálás, stb.) számolnak be a következő kutatók: R. van den Broek, A. van Wijk, W. Turkenburg (Hollandia), R. E. H. Sims, J. Gifford, B. Cox (Új-Zéland), P. Venturi (Olaszország), A. Raggam (Ausztria), C. Burton, K. Richards (Anglia), E. Johansson (Svédország), I. Wiperman, V. Fürstenberg, R. Grammel (Németország), J. Eaton (USA), B. Marosvölgyi, L. Szendrői (Magyarország).

Az energetikai faültetvények környezetvédelmi összefüggéseivel, energiamérlegével és CO₂-mérlegével, valamint életciklus elemzésével kapcsolatos témában rendszeresen publikál U. Jörgensen, T. Dalgaard, E. S. Kristensen (Dánia), X. Dubuisson, I. Sintzoff (Belgium), R. W. Matthews, D. J. Royle (Nagy-Britannia), P. Börjesson, L. Sennerby-Forsse, Y. von Fricks, T. Ericsson (Svédország), S. Nonhebel, V. Dornburg, G. Termeer, A. P. C. Faaij (Hollandia), M. C. Heller, G. A. Keoleian, T. A. Volk, M. E. Ostry, R. K. Malik, T. H. Green, G. F. Brown, C. A. Beyl, K. R. Sistani, D. A. Mays (USA), P. G. Aronsson, L. F. Bergström (Svédország), D. Gielen, J. Fujino, S. Hashimoto, Y. Moriguchi (Japán), A. Calvert (Új-Zéland), K. L. Pertuu (Svédország), A. Rafaschieri, M. Rapaccini, G. Manfrida (Olaszország), M. F. Proe, J. H. Griffiths, J. Craig (Skócia).

4.1. sz. melléklet: A PP Rt. királyegyházai minirotációs nemesnyár energetikai faültetvény kísérletek helyszínrajza



A mintaterületek 10*10 métereseek, amelyben 3 sor található, 120 db tővel,
A mintaparcellák 1-17-ig (F2 területen), illetve 1-20-ig (F1 területen)
helyezkednek el.

Szám	Jel	Parcella, klónok, megnev.	Telepítés
1	F1	Monviso	2005.05.
2	F2	Monviso	2005.05.
3	F3	Fajtateszt	2005.05.
4	1	Villafranca	
5	2	Pegaso	
6	3	AF1	
7	4	AF2	
8	5	AF6	
9	6	Monviso	
10	7	Koltay	
11	8	BL	
12	9	Beaupré	
13	10	Raspalje	
14	F3	Tőtávteszt (50, 70 cm)	
15	1	AF2	
16	F4	Biennale-2 éves vágásford.	
17	1	Monviso	
18	2	AF2	
19	F5	Biennale-2 éves vágásford.	
20	1	AF2	
21			
22			
23			
24			
25			

Rajzolta: Ivelics Ramon	Megnevezés: Pannonpower Holding Rt.	Munkahely: NYME EMK EMKI
Aláírás:	Energetikai faültetvénye, helyszínrajz	Energetikai Tsz.
Dátum: 2005.09.	Királyegyháza Méretarány: 1:4000	Rajzszám: RVEF-2005-001

4.2. sz. melléklet: Fajtateszt elrendezés a királyegyházai nemesnyár faültetvény ikersoros, 1 éves vágásfordulójú állományában. (Blokkonként 5 ikersor.)

MEZŐGAZDASÁGI ÚT ←

BEJÁRAT

AF1	AF1	AF1	AF1	AF1
AF6	AF6	AF6	AF6	AF6
AF1	AF1	AF1	AF1	AF1
VILLA-FRANCA	VILLA-FRANCA	VILLA-FRANCA	VILLA-FRANCA	VILLA-FRANCA
PEGASO	PEGASO	PEGASO	PEGASO	PEGASO
VILLA-FRANCA	VILLA-FRANCA	VILLA-FRANCA	VILLA-FRANCA	VILLA-FRANCA
MONVISO	MONVISO	MONVISO	MONVISO	MONVISO
AF2	AF2	AF2	AF2	AF2
MONVISO	MONVISO	MONVISO	MONVISO	MONVISO
PEGASO	PEGASO	PEGASO	PEGASO	PEGASO
VILLA-FRANCA	VILLA-FRANCA	VILLA-FRANCA	VILLA-FRANCA	VILLA-FRANCA
AF6	AF6	AF6	AF6	AF6
MONVISO	MONVISO	MONVISO	MONVISO	MONVISO
AF2	AF2	AF2	AF2	AF2
AF1	AF1	AF1	AF1	AF1
AF2	AF2	AF2	AF2	AF2
AF6	AF6	AF6	AF6	AF6
BLOCK 5	BLOCK 4	BLOCK 3	BLOCK 2	BLOCK 1

4.3. sz. melléklet Termőhely-feltárási vizsgálatok a királyegyházi faültetvény területen (Készítette: Pannonpower Rt.)

1. Általános adatok

Község: Királyegyháza
Megye: Baranya

A terület:

Sor-szám	Községhatár	Kód	Helyrajzi szám	Terület, ha	Művelési ág
1.	Királyegyháza		066/1		gyep
2.	Királyegyháza		066/2		gyep
	Összesen			75	

A helyszíni szemlén az erdőtelepítésre tervezett terület bejárása során, kijelölésre kerültek a talajvizsgálathoz szükséges szelvények, illetve fúrási pontok helyei, elkészült az ott található vegetáció felvételezése, valamint a környező erdőállományok minősítése.

A termőhely feltárási során a két talajszelvény helyszíni vizsgálata készült el (3. sz. melléklet). Laboratóriumi vizsgálatra kerültek a talajszelvények mintái (Szelvény 1/A-2/C), valamint a fúrási pontok 0,3 m és 1,2 m-es mélységből vett mintái (Furat 1/A-6/B). A laboratóriumi vizsgálatokat a Bóly Rt. Mezőgazdasági Laboratóriumában végezték, vizsgálati eredményeit a 00067/2004-00074/2004. számú Vizsgálati Jegyzőkönyvek tartalmazzák.

A talajszelvények és a fúrási pontok helyét térképvázlat jelöli.

2. A termőhely leírása

Az erdőtelepítésre tervezett terület a Pécsi-síkságon helyezkedik el. Középpontjának földrajzi koordinátái: északi szélesség: 46°0'; keleti hosszúság 17°57'. Domborzatát tekintve sík terület, a Nyugat-Mecsek déli előterében, az Okor-vízfolyás mellett.

3. Éghajlati viszonyok

A vizsgált terület a kocsánytalan tölgyes klímában található. Éghajlata mérsékelt meleg, szubmediterrán hatás érvényesül. Az évi átlagos csapadék 650-700 mm körüli értéket mutat. Évi középhőmérséklet: 10,5 °C.

4. Talajviszonyok

Talajszelvények leírása:



1.szelvény:

A szint:

0-40 cm sötétbarna, humuszos, morzsás szerkezetű, mésztartalommal nélküli, lágyszárú gyökerekkel sűrűn behálózott szint.

B 1 szint:

40-90 cm barna, vályogos szövetű, nagymorzsás szerkezetű réteg, a fényes felületű szemcsék között nagy hézagtartalommal, gyenge mésztartalommal.

B 2 szint:

90-120 cm barna színű, sötét vasfoltokkal tarkított, az előzőnél lazább réteg némi kavicsstartalommal és határozott mésztartalommal.

C szint:

120 – cm sötétbarna réteg, erősen vaseres, valószínűleg a talajvízszint felső határa.



2.szelvény:

A szint:

0-40 cm szántott, világosbarna homogén réteg, vályog szövetű, mészmentes

B 1 szint:

40-70 cm sötétbarna színű, a nagy-morzás szerkezeti elemek felülete fényes, nagy hézagtartalommal.

B 2 szint:

70-130 cm világosbarna színű, vasfoltos, agyagos szövetű.

C szint:

130-170 cm sötét szürkés-barna színű, sűrűn vasfoltos, agyagos szövetű, mésztartalom nélkül.

170 cm a talajvíz pillanatnyi szintje (2004.11.05.)

A szelvények alapján a talaj: öntés réti erdőtalaj.

Termőréteg : mély.
Vízgazdálkodási fok: nedves

5. A talajszelvények, furatok laboratóriumi vizsgálatának elemzése

A talaj szövete, fizikai talajfélesége az Arany-féle kötöttségi szám (K_A), az 5 órás kapilláris vízemelés és a talajra jellemző higroszkóposág (hy %) alapján került meghatározásra.

A vizsgált talajok fizikai jellemzéseként elmondható, hogy azok fizikai talajfélesége: vályog, agyagos vályog és agyag között változik. A vízfolyás mentén a felsőbb rétegek szövete lazább, vályogosabb a lerakott hordalékra jellemzően. Erdőtenyészet számára – az említett vízelvezető árokrendszer megléte mellett – kedvező.

A talaj kémhatásának meghatározásához a laboratóriumi vizsgálatok során mérésre került a vizes (pH_{H_2O}) és a semleges sóoldattal (pH_{KCl}) készült talajszuszpenzió pH-ja. A mérési eredmények jól mutatják, hogy a vizsgált terület talaja jellemzően gyengén lúgos kémhatású, ami a rendelkezésre álló megfelelő vízellátottság mellett jó adottságokat biztosít az erdőtenyészet számára.

Említésre méltó mésztartalom egyedül az 5. sz. fúrási pont 30 cm-es mélységében (CaCO_3 3,0 m/m % = kevés), valamint az 1. sz. szelvény C szintjében (CaCO_3 5,0 m/m % = sok) fordult elő. A területen a mész előfordulása szórványos, jelentősebb kiterjedésből vagy esetleg réteges előfordulásból adódó káros hatásával nem kell számolni.

A vizsgált talajoknál a hidrolitos aciditás (y_1) – a kémhatásra jellemzően - nem jelentkezik (2. sz. táblázat). Ezzel a hatással a területen nem kell számolni.

A szódában kifejezett fenolftalein-lúgosság, illetve a vízben oldható összes sótartalom a szikes talajok jellemzésére szolgáló mérőszámok. A vizsgált talajoknál nem jellemző.

A vizsgált talajok szervesanyag-tartalmára jellemző a humusztartalom (H m/m %). A vizsgálati eredmények a szántóföldi talajokra jellemző értéket adnak, a terület jelentős része humuszban szegény, H értéke 0 és 2 % közötti. Az alacsony szerves anyag tartalom rosszabb víz- és levegőgazdálkodást eredményez.

A talaj tápanyagtartalmát három makroelem, az összes nitrogén-, a könnyen oldható foszfor- és a könnyen oldható káliumtartalom jellemzi. A vizsgált talajok összes nitrogéntartalma (NO_3) átlagosan gyenge (2), oldható foszfortartalma (P_2O_5) átlagosan mérsékelten közepes (3), valamint oldható káliumtartalma (K_2O) átlagosan gyenge (2) értéket mutatnak. Intenzív ültetvény telepítése esetén ezen elemek megfelelő arányú, rendszeres pótlása ajánlott.

Az egyéb mezo-, illetve mikroelem tekintetében a vizsgálati eredmények kiugró szélső értékű eredményt nem mutatnak. A Ca, Na, Mg, S, Cu, Zn, Mn és Fe tekintetében toxikus hatásra vagy esetleges hiánytünetek fellépésére nem kell számítani.

6. Növényzet

Lágyszárú szint:	jelenleg szántó művelési ágú terület (szemeskukorica) a jellemző egyéves gyomvegetációjával: fehér üröm, ragadós galaj.
Cserje szint:	nincs, jelenleg szántó művelési ágú terület
Fás szárú vegetáció:	a terület szomszédságában jó képességű fűzligetek illetve kocsányos tölgy állományok vannak.

7. A termőhelyi viszonyok összefoglalása

Tengerszint feletti magasság:	110 m
Fekvés:	sík
Lejtés:	sík
Klíma:	gyertyános tölgyes
Alapkőzet:	löss
Fizikai talajféleség:	agyagos vályog
Talajtípus:	öntés réti talaj
Termőréteg:	mély
Hidrológiai viszonyok:	időszakos vízhatás

A mezőgazdasági területet jelenleg szántóként hasznosítják. Az időnkénti árvizek, illetve a tavaszi felszíni vízállások okozta károk elkerülésére, vízelvezető árokrendszert alakítottak ki, így a területen tartós vízborítás nem alakulhat ki.

A mély termőrétegű öntés réti talaj, a 100-120 cm-es feltételezett tavaszi talajvízmélység mellett kiváló adottságot jelent az erdőtenyészet számára.

8. Javasolt célállomány

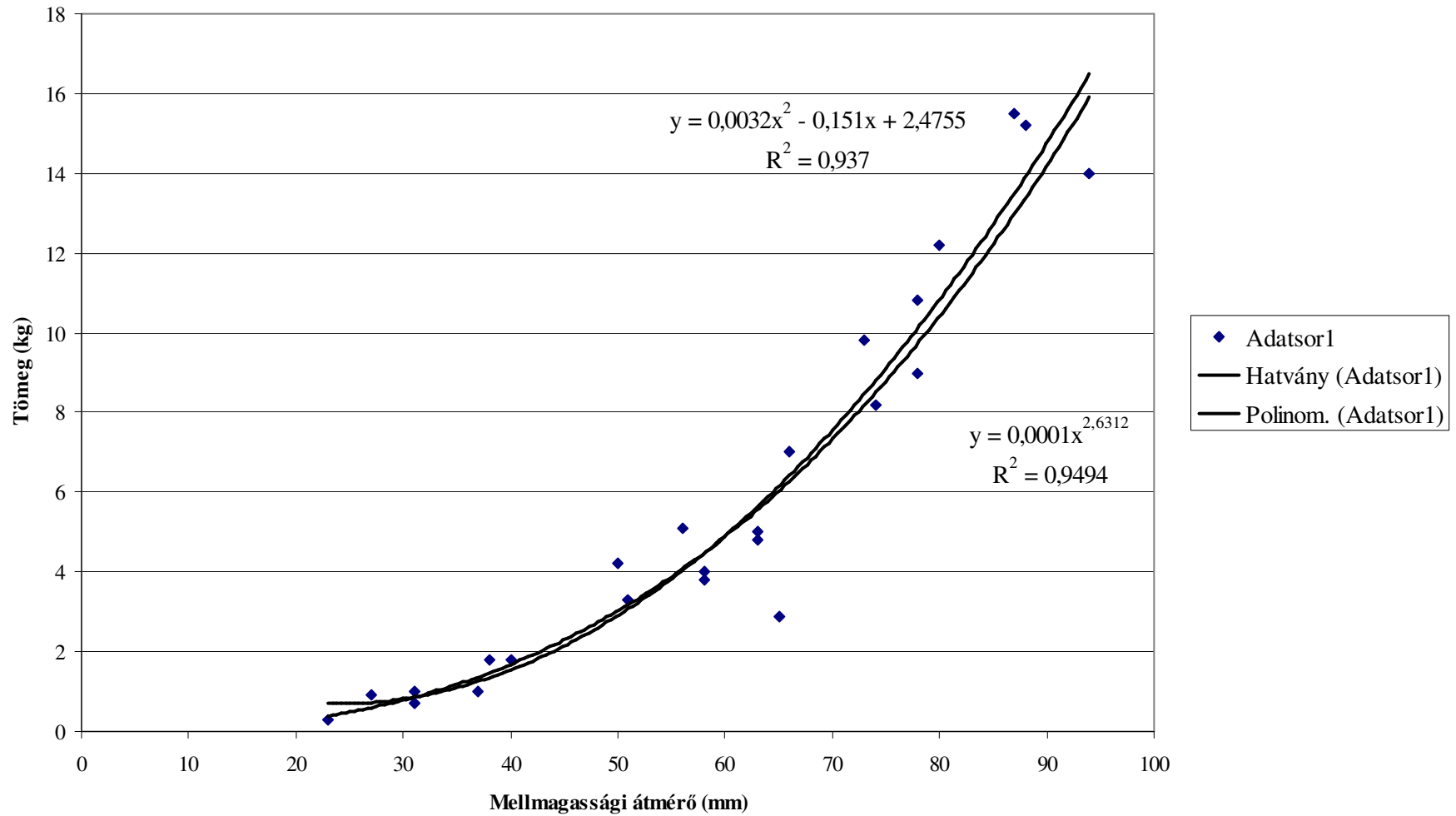
A termőhely jellemzői alapján a tervezési terület egészén jellemző a gyertyános tölgyes klímájú, időszakos vízhatású, öntés réti talajú, mély termőrétegű, agyagos vályog fizikai talajféleségű termőhely-típus változat.

Javasolt célállomány:

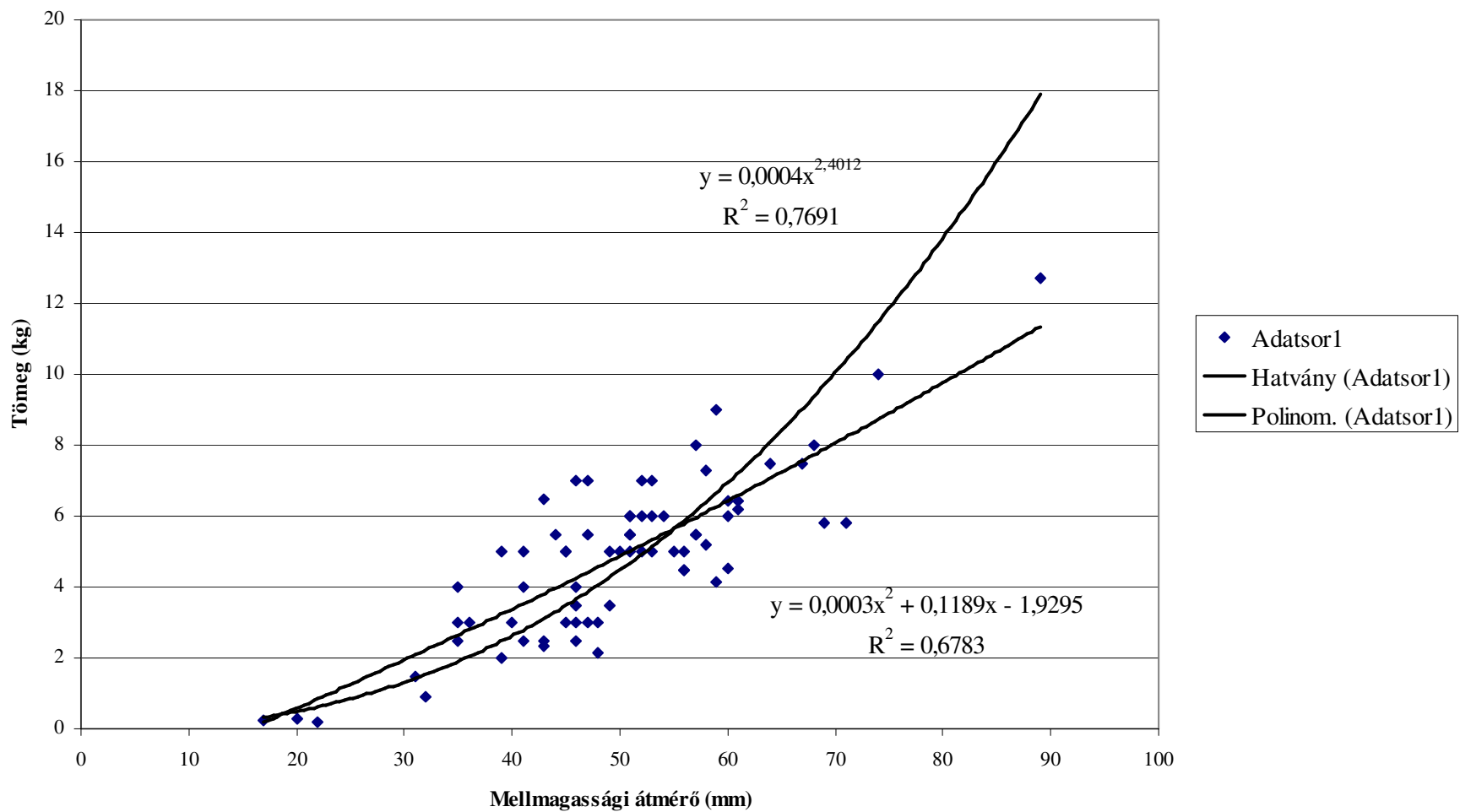
Kocsánytalan tölgyes, 100 éves vágáskorral

Nemes nyár, klóntól függő vágáskorral

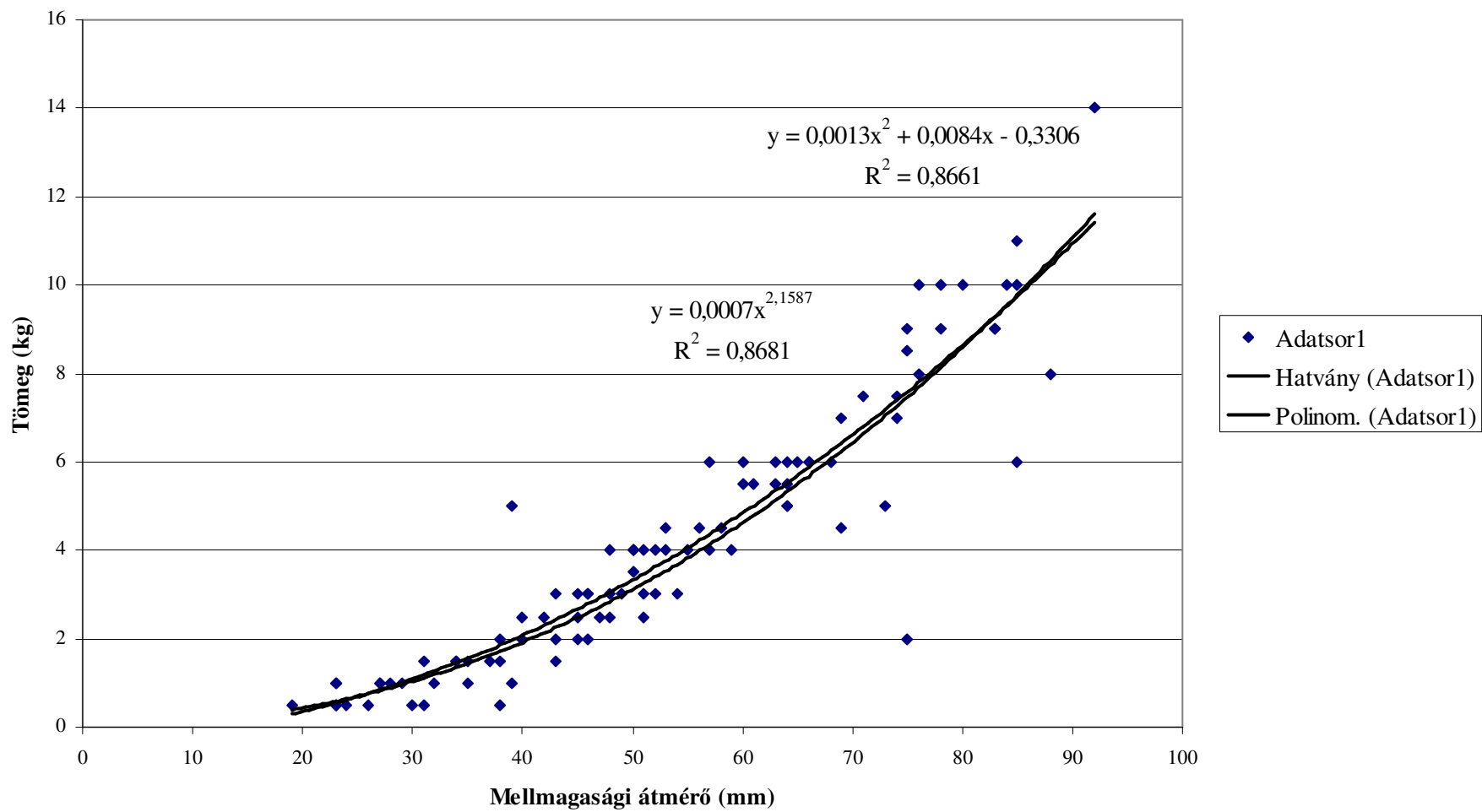
4.5. sz. melléklet 1.sz. diagram: 5 éves 'Pannónia' nemes nyár állományok egyedenkénti mellmagassági átmérő és tömeg közötti összefüggés



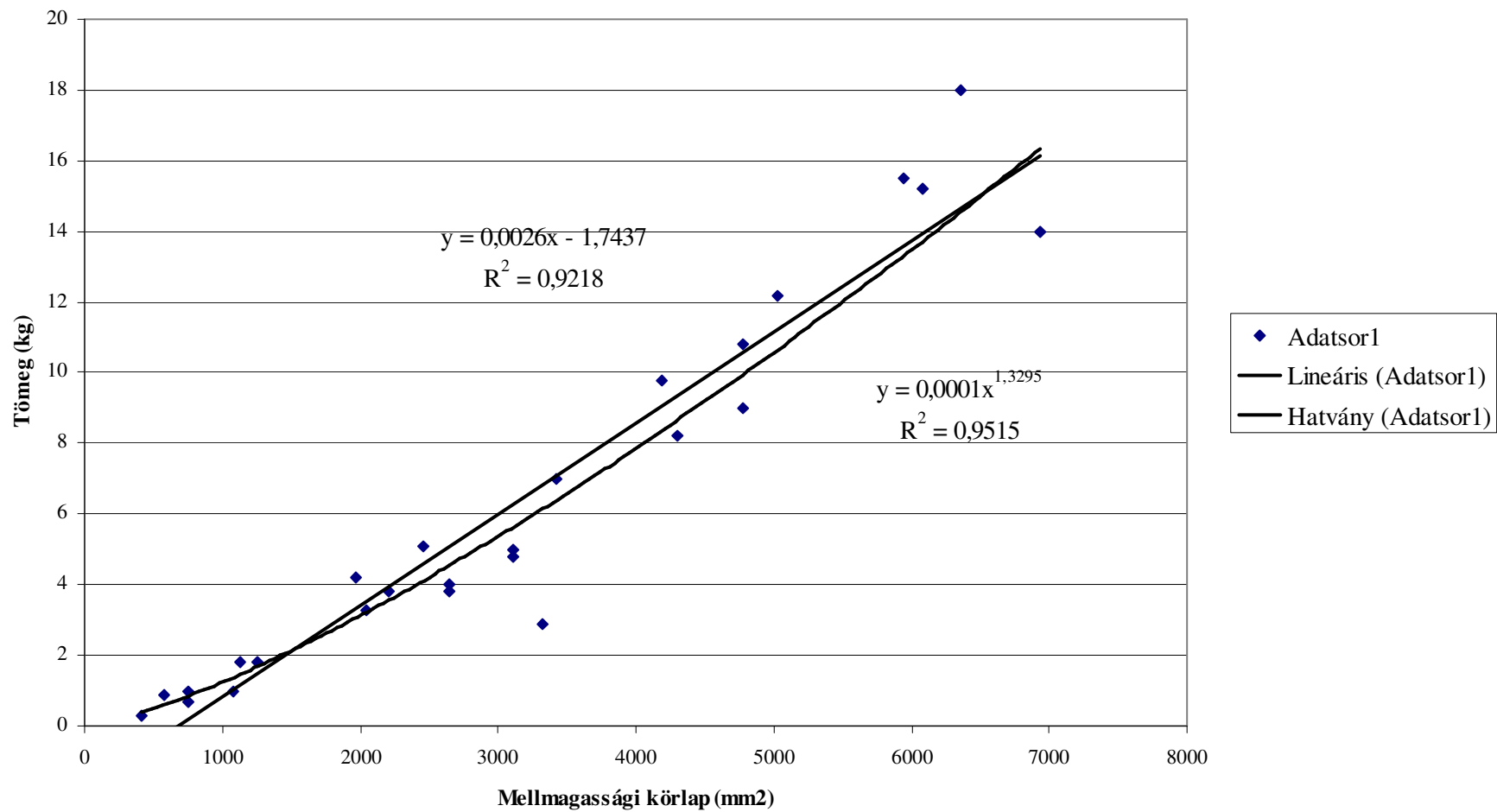
4.5. sz. melléklet 2.sz. diagram: 4 éves 'Pannónia' nemes nyár állományok egyedenkénti mellmagassági átmérő és tömeg közötti összefüggés



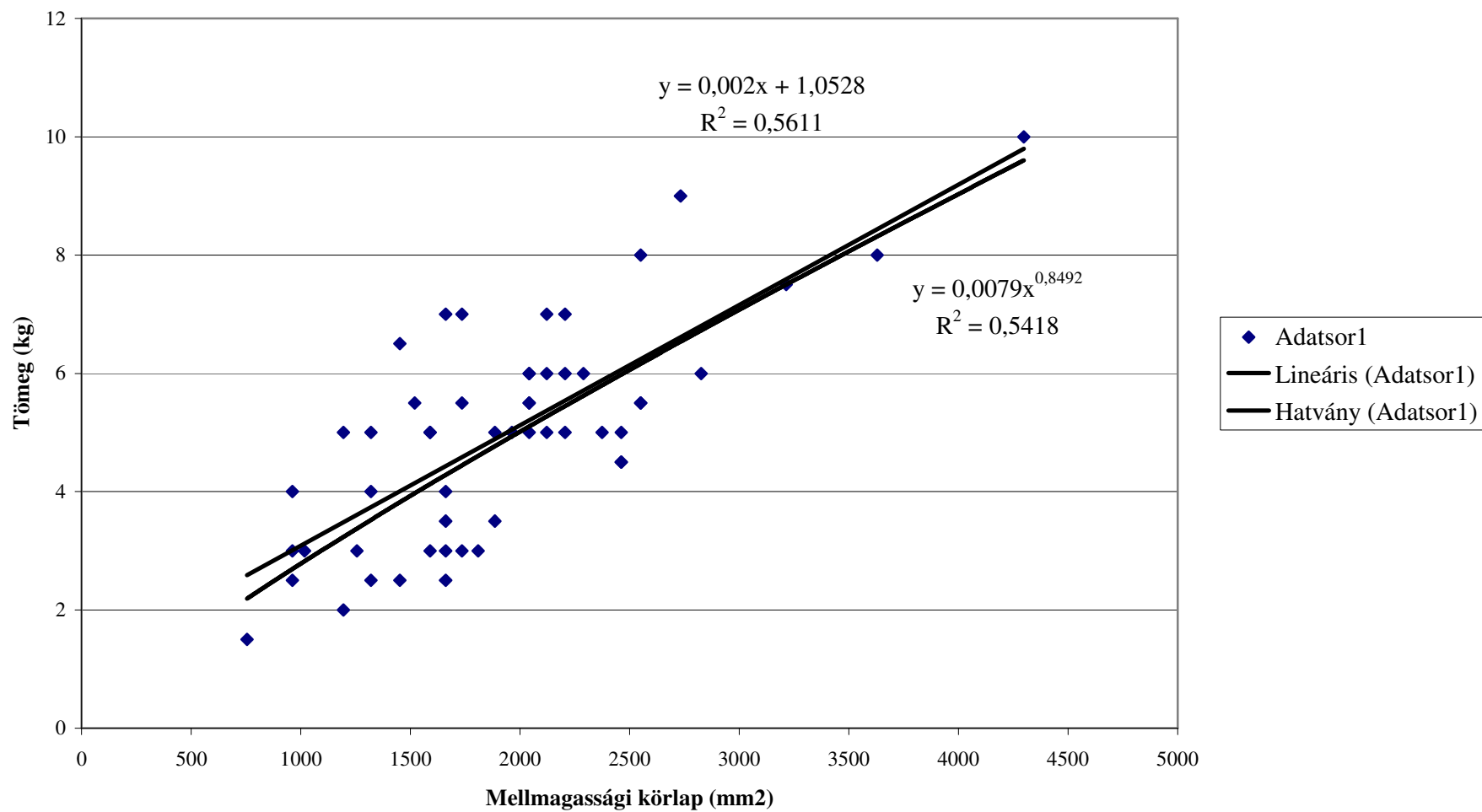
4.5. sz. melléklet 3.sz. diagram: 3 éves 'Pannónia' nemes nyár állományok egyedenkénti mellmagasági átmérő és tömeg közötti összefüggés



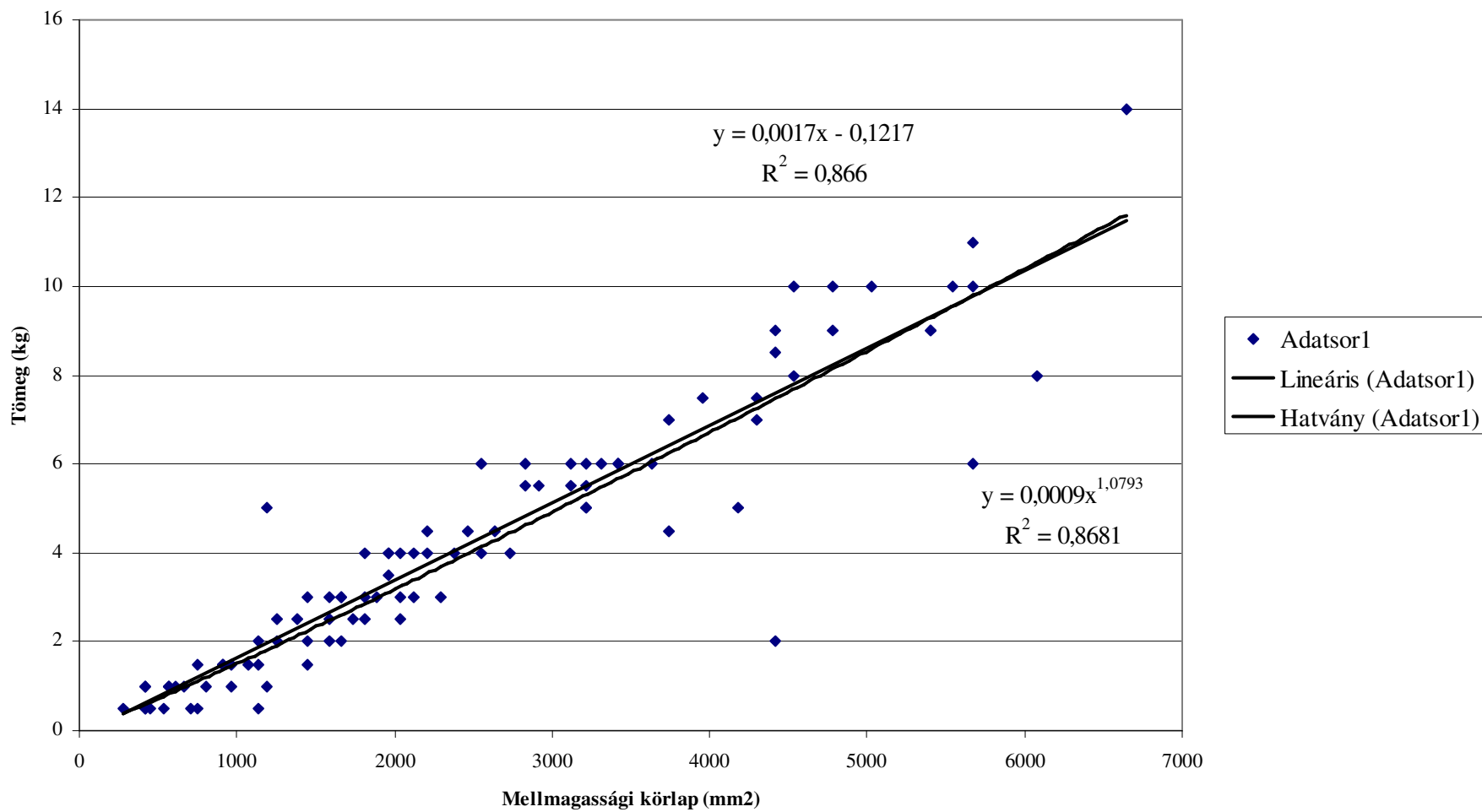
4.5. sz. melléklet 4.sz. diagram: 5 éves 'Pannónia' nemes nyár állományok egyedenkénti mellmagassági körlap és tömeg közötti összefüggés



4.5. sz. melléklet 5.sz. diagram: 4 éves 'Pannónia' nemes nyár állományok egyedenkénti mellmagassági körlap és tömeg közötti összefüggés



4.5. sz. melléklet 6.sz. diagram: 3 éves 'Pannónia' nemes nyár állományok egyedenkénti mellmagassági körlap és tömeg közötti összefüggés



4.1. sz. táblázat: A POPULUS NEMZETSÉG FAJCSOPORTJAINAK, A FONTOSABB FAJOKNAK, HIBRIDEKNEK ÉS KLÓNOKNAK AZ ÁTTEKINTÉSE

Fajcsoport (szekció)	Turanga félsivatagi nyárok	Leuce fehér és rezgő nyárok				Aigeiros fekete nyárok		Tacamahaca balzsamos nyárok		Leucoides nagylevelű nyárok
Alcsoport (szubszekció)	-	Albidea ehér nyárok	Trepidae rezgő nyárok			-		-		-
Földrajzi elterjedés	Közép- és Nyugat Ázsia	Közép-Kelet, Földközi-tenger térsége	Eurázsia, Észak-Afrika	Észak-Amerika	Kelet-Ázsia	Eurázsia	Észak (kelet)-Amerika	Észak-Amerika	Kelet-Ázsia	Távol-Kelet (Ázsia)
Fajok	P. euphratica	P. alba	P. tremula	P. tremuloides, P. grandidentata	P. glandulosa	P. nigra	P. deltoides	P. trichocarpa, P. balzsamifera	P. maximowiczii, P. laurifolia, P. simonii	P. lasiocarpa, P. violascens, P. wilsonii
Fajváltozatok, hibridek (fajták, fajtajelöltek, ígéretes klónok)	P. alba × alba: 'I-58/57' (= 'Villafranca') P. alba × tremuloides P. alba × grandidentata: 'Favorit' P. alba × glandulosa P. alba × tremula: P. × canescens P. alba × tremuloides 'Austria'					P. nigra var. thevestina, P. nigra cv. 'Italica'	'S 611-c' 'S 298-8' 'S 299-8' S 307-24'	P. maximowiczii × trichocarpa: 'Meggylevelű'		
						P. × euramericana (P. deltoides × nigra): 'BL' (= 'BL-Costanzo'), 'Balnc du Poitou', 'H-328', 'I-154', 'I-215', 'I-273', 'I-45/54', 'Kopeczky', 'Mari-landica', 'OP-229' (= 'Agathe-F'), 'Pannónia', 'Parvifol', 'Robusta', 'Su-dár', 'Triplo', 'H-528-8', 'Koltay', 'Herpenyő', 'B1M', 'AF2', AF1, AF6'			P. pyramidalis × P. × berolinensis (=P. laurifolia × P. nigra 'Italica'): 'Kornik'	
							P. × interamericana (P. trichocarpa × deltoides): 'Barn', 'Beaupré', 'Boelare', 'Donk', 'RAP', 'Raspalje', 'Unal'		P. × interamericana × P. nigra: 'Pegaso', P. interamericana × P. nigra × P. nigra: 'Monviso'	

FORRÁS: TÓTH ET ERDŐSI, 1988. nyomán

4.3. sz. táblázat: Az Olaszországból származó nemesnyár klónok adatai (2005. július):

'AF1'		1. Sor	2. Sor	3. Sor	4. Sor	5. Sor	átlag	min	max	szórás
átlag	Terület hossz (m)	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1	-	-	-	-
	Eredeti tőszám	44	44	44	44	44	-	-	-	-
	Jelenlegi tőszám (db)	15	26	23	27	18	22	15	29	4,6
	Tőszámvesztés (db)	29	19	21	17	27	23	16	29	4,6
	Tővesztési tényező (%)	66	42,3	48	39	60,4	51	36	66	10,4
	Megeredési tényező (%)	34	57,7	52	61	39,6	49	34	65	10,4
	Magasság (cm)	-	-	-	-	-	43	19	71	-
'AF2'		1. Sor	2. Sor	3. Sor	4. Sor	5. Sor	átlag	min	max	szórás
átlag	Terület hossz (m)	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	-	-	-	-
	Eredeti tőszám	46	46	46	46	46	-	-	-	-
	Jelenlegi tőszám (db)	45	43	40	42	38	42	38	45	2,4
	Tőszámvesztés (db)	1	3	6	4	8	5	1	8	2,4
	Tővesztési tényező (%)	2,7	6,3	12,8	9,2	17,8	9,8	2,7	18	5,2
	Megeredési tényező (%)	97,3	93,7	87,2	90,8	82,2	90	82	97	5,2
	Magasság (cm)	-	-	-	-	-	89	73	103	-
'AF6'		1. Sor	2. Sor	3. Sor	4. Sor	5. Sor	átlag	min	max	szórás
átlag	Terület hossz (m)	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	-	-	-	-
	Eredeti tőszám (db)	47	47	47	47	47	-	-	-	-
	Jelenlegi tőszám (db)	35	39	38	33	31	35	30	40	3,0
	Tőszámvesztés (db)	12	8	9	14	16	12	7	17	3,0
	Tővesztési tényező (%)	25,5	17,8	19,9	29,8	33,3	25	16	36	5,8
	Megeredési tényező (%)	74,5	82,2	80,1	70,2	66,7	75	65	84	5,8
	Magasság (cm)	-	-	-	-	-	63	39	87	-
'Monviso'		1. Sor	2. Sor	3. Sor	4. Sor	5. Sor	átlag	min	max	szórás
átlag	Terület hossz (m)	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	-	-	-	-
	Eredeti tőszám (db)	46	46	46	46	46	-	-	-	-
	Jelenlegi tőszám (db)	42	41	37	37	40	40	36	43	2,1
	Tőszámvesztés (db)	4	5	9	9	6	6	3	10	2,1
	Tővesztési tényező (%)	7,9	10,8	19,6	18,9	13	14	7,2	23	4,6
	Megeredési tényező (%)	92,1	89,2	80,4	81,1	87	86	78	93	4,6
	Magasság (cm)	-	-	-	-	-	68	52	83	-
'Villafranca'		1. Sor	2. Sor	3. Sor	4. Sor	5. Sor	átlag	min	max	szórás
átlag	Terület hossz (m)	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	-	-	-	-
	Eredeti tőszám (db)	47	47	47	47	47	-	-	-	-

	Jelenlegi tőszám (db)	1	5	3	4	2	3	0	8	1,4
	Tőszámvesztés (db)	46	42	44	43	45	44	39	47	1,4
	Tővesztési tényező (%)	97,2	89,2	94,2	91,6	96,4	94	82	99	3,0
	Megeredési tényező (%)	2,8	10,8	5,8	8,4	3,6	6,3	0,7	18	3,0
	Magasság (cm)	-	-	-	-	-	53	39	71	-
'Pegaso'		1. Sor	2. Sor	3. Sor	4. Sor	5. Sor	átlag	min	max	szórás
átlag	Terület hossz (m)	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	-	-	-	-
	Eredeti tőszám (db)	46	46	46	46	46	-	-	-	-
	Jelenlegi tőszám (db)	13	15	13	10	9	12	9	17	2,2
	Tőszámvesztés (db)	32	31	32	35	36	34	29	37	2,0
	Tővesztési tényező (%)	70,9	67,3	70,9	77,4	79,6	73	64	80	4,6
	Megeredési tényező (%)	29,1	32,7	29,1	22,6	20,4	27	20	36	4,6
	Magasság (cm)	-	-	-	-	-	62	40	78	-

4.4. sz. táblázat: A Magyarországról származó nemesnyár klónok adatai (2005. július):

'Koltay'		1. Sor	2. Sor	3. Sor	átlag	min	max	szórás
átlag	Sor hossz (m)	89	97	97	95	89	97	-
	Eredeti tőszám (db)	179	194	195	189	179	195	-
	Jelenlegi tőszám (db)	129	121	186	145	121	186	28,9
	Tőszámvesztés (db)	50	73	9	44	9	73	26,5
	Tővesztési tényező (%)	27,9	37,6	4,5	23,3	4,5	38	13,9
	Megeredési tényező (%)	72,1	62,4	95,5	76,7	62,4	96	13,9
	Magasság (cm)	-	-	-	67	28	104	-
'Beaupre'		1. Sor	2. Sor	-	átlag	min	max	szórás
átlag	Sor hossz (m)	30	30	-	30	30	30	-
	Eredeti tőszám (db)	60	60	-	60	60	60	-
	Jelenlegi tőszám (db)	47	48	-	48	47	48	0,6
	Tőszámvesztés (db)	13	12	-	13	12	13	0,6
	Tővesztési tényező (%)	21,7	20	-	20,8	20	22	0,9
	Megeredési tényező (%)	78,3	80	-	79,2	78,3	80	0,9
	Magasság (cm)	-	-	-	52	30	106	-
'Raspalje'		1. Sor	2. Sor	-	átlag	min	max	szórás
átlag	Sor hossz (m)	30	30	-	30	30	30	-
	Eredeti tőszám (db)	120	120	-	120	120	120	-
	Jelenlegi tőszám (db)	76	87	-	82	76	87	5,5
	Tőszámvesztés (db)	44	33	-	39	33	44	5,5
	Tővesztési tényező (%)	36,7	27,5	-	32,1	27,5	37	4,6
	Megeredési tényező (%)	63,3	72,5	-	67,9	63,3	73	4,6
	Magasság (cm)	-	-	-	53	35	97	-
'BL'		1. Sor	2. Sor	-	átlag	min	max	szórás
átlag	Sor hossz (m)	30	30	-	30	30	30	-
	Eredeti tőszám (db)	120	120	-	120	120	120	-
	Jelenlegi tőszám (db)	103	78	-	91	78	103	12,5
	Tőszámvesztés (db)	17	42	-	30	17	42	12,5
	Tővesztési tényező (%)	14,2	35	-	24,6	14,2	35	10,4
	Megeredési tényező (%)	85,8	65	-	75,4	65	86	10,4
	Magasság (cm)	-	-	-	50	12	90	-

4.6. sz. táblázat Pannónia nemes nyár klón különböző korú állományához tartozó fatömegének meghatározása különböző eljárásokkal és azok korrelációs koefficiense (R^2)

Fatömeg-görbés eljárások	Kopeczky				Jelenlegi			
	Polinom				Hatvány			
	$M = aD_{1,3}^2 - bD_{1,3} - c$				$M = aD_{1,3}^b$			
	a	b	c	R_p^2	a	b	R_h^2	$R_h^2 - R_p^2$ (%)
2 éves	0,0007	0,0081	0,0743	0,9052	0,0062	1,4933	0,9071	0,19
3 éves	0,0013	0,0084	-0,3306	0,8661	0,0007	2,1587	0,8681	0,20
4 éves	0,0030	0,1189	-1,9295	0,6783	0,0004	2,4012	0,7691	9,08
5 éves	0,0032	-0,1510	2,4755	0,9370	0,0001	2,6312	0,9494	1,24
összes	0,0022	-0,0486	0,6422	0,8781	0,0003	2,3895	0,9172	3,91
Fatömeg-egyenes eljárások	Kopeczky				Jelenlegi			
	Egyenes				Hatvány			
	$M = aG_{1,3} - b$				$M = aG_{1,3}^b$			
	a	b	-	R_e^2	a	b	R_h^2	$R_h^2 - R_e^2$ (%)
2 éves	0,0010	0,2003	-	0,9047	0,0074	0,7466	0,9071	0,24
3 éves	0,0017	-0,1217	-	0,8660	0,0009	1,0790	0,8681	0,21
4 éves	0,0020	1,0528	-	0,5611	0,0079	0,8492	0,5418	-1,93
5 éves	0,0026	-1,7437	-	0,9218	0,0001	1,3295	0,9515	2,97
összes	0,0022	-0,4531	-	0,8745	0,0004	1,1948	0,9165	4,20
Jelmagyarázat	M	teljesfa tömege (kg)			i			
	$D_{1,3}$	mellmagassági átmérő (cm)			e	egyenes		
	$G_{1,3}$	mellmagassági körlap (cm ²)			h	hatvány		
	a,b,c	konstansok			p	polinom		
	R_i^2	korrelációs koefficiens						

4.8. sz. táblázat: A mini rotációs energetikai faültetvények hozamtáblázata

Fafaj	Hajtás- szám	Telepítési tőszám	Megere- dési té- nyező	Átlagos tő- tömeg	Fajlagos fakészlet	Nedves-ség tényező	Y – Fatömeg	Y – Fahozam	Sorrend	Ý – Fatömeg	Ý – Fahozam	Sorrend
	HSZ (db/tő)	TSZ (db/ha)	MT	Ř (kg/tő)	V (kg/m)	wcf	ént/ha	ént/ha/év	I.	odt v. aszt/ha	odt v. aszt/ha/év	II.
Akác	1,0-4,8	8700-12800	75-84	1,5-6,8	2,0-13,1	0,4041	13,2-78,4	8,9-18,3	-	-	-	-
átlag	1,9	11600	82	4,50	8,10	0,4041	45,70	11,10	7	30,56	7,4	6
Pannónia	1,0-5,4	7600-14300	76-88	0,8-7,8	1,2-12,4	0,4468	7,7-82,9	7,7-20,4	-	-	-	-
átlag	1,8	10700	81	4,5	7,2	0,4468	48,2	14,3	3	30,76	9,1	2
Koltay	1,4-6,8	5900-10100	81-87	1,6-10,5	1,9-15,3	0,5145	12,8-102,3	10,8-23,8	-	-	-	-
átlag	4,2	7600	84	6,3	7	0,5145	49,7	15,6	2	28,22	8,9	3
Beaupre	1,5-7,8	7900-8800	77-85	0,5-3,8	0,6-5,1	0,5315	4,3-33,7	8,6-16,9	-	-	-	-
átlag	4,5	8400	82	1,8	2,3	0,5315	15,4	14,0	4	8,69	7,9	5
Unal	2,4-9,8	6000-7700	75-83	0,7-9,8	0,6-11,3	0,4690	4,2-75,5	4,2-18,9	-	-	-	-
átlag	6,1	6800	79	5,30	6,10	0,4690	39,80	11,50	6	25,05	7,2	7
Kopeczky	1,2-1,7	6700-10800	77-82	3,6-15,9	5,9-12,8	0,4380	39,3-85,2	9,8-17,1	-	-	-	-
átlag	1,4	8800	80	8,5	8,9	0,4380	59,4	12,6	5	38,59	8,2	4
Bálványfa	1,5	8000	85-91	2,3-11,5	4,5-15,4	0,4710	86	21,5	-	-	-	-
átlag	1,5	8000	87	6,7	10,3	0,4710	84,0	21,5	1	49,58	12,7	1

Megjegyzés Bálványfa esetén szegélyhatás található, mivel kis területű parcellán történtek a mérések.

Y (élő nedves tonna/ha/év)

Ý Tényleges fahozam (abszolút száraz tonna/ha/év), amely csökkentett a megerdési tényezővel, illetve a nedvesség tényezővel.

wcf nedvességtényező (nedvességtartalom (%)/100)

4.10. sz. táblázat: Az egy éves minirotációs fűz energetikai faültetvény vizsgálati eredményei:

Fűz klón	'S-311'	'S-311'
Telepítési típus	szimpla ikersoros	dupla ikersoros
Összterület (ha)	12,36	
Sorszám (db/terület)	33	66
Ikersortáv (m)	2,8	2,8
Sortáv (m)	0,7-0,8	0,7-0,8
Tótáv (m)	0,3-0,4	0,3-0,4
Sorszám (db/ikersor)	2	4
Átlagos növőtér (m ²)	0,83	0,48
Névleges ikersorszám (db/ha)	27	20
Névleges tőszám (db/ikersor)	550	1100
Névleges tőszám (db/ha)	14000	21500
Tényleges tőszám (db/ha)	13-14000	20-22000
Mintaterületek száma (db)	6	8
Mintaterület (m ²)	100	100
Megeredési tényező (%)	88,03	79,30
Tővesztési tényező (%)	11,97	20,70
Átlagos tőátmérő (cm)	1,68	1,23
Átlagos mellmagassági átmérő (cm)	1,07	0,86
Átlagos magasság (m)	2,54	2,22
Becsült teljes tömeg* (ÉNT: t/ha/év)	14,0-24,0	19,0-37,0
Átlagos nedvességtartalom (%)	50,36	50,36
Becsült teljes tömeg* (ASZT: t/ha/év)	7,0-12,0	8,0-18,0
Betakarítási technológia	kifejlesztett	nem ismert
*Teljes tömeg: tő a levelekkel és az ágakkal a vegetációs időszak 4. negyedében, 2005. szept.		
ÉNT: Élő Nedves Tömeg		
ASZT: Abszolút Száraz Tömeg		

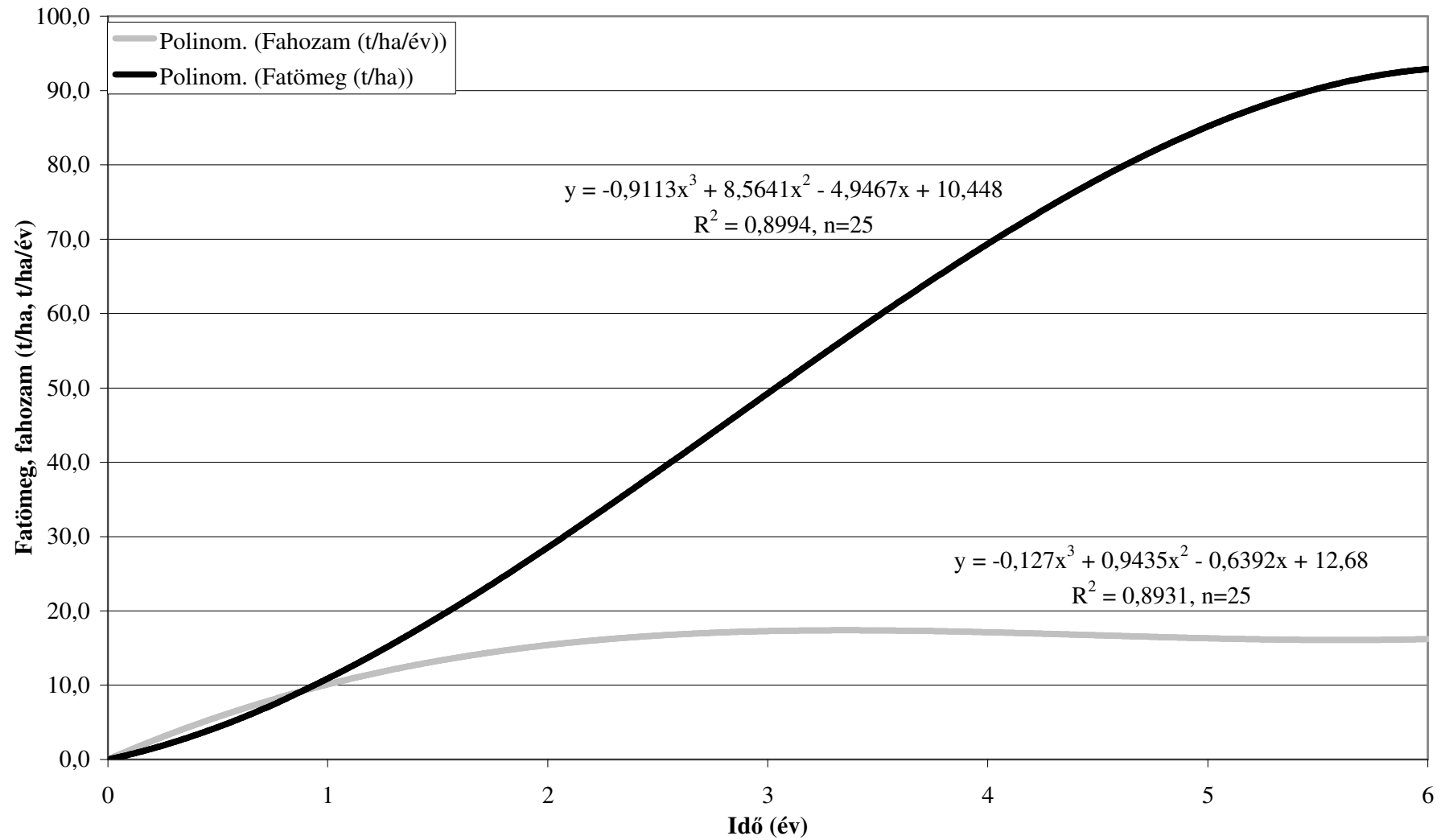
4.11. sz. táblázat:

Betakarító gép	Ország	Működés	Csatlakoztatási mód	Eredet	Végtermék	Szükséges szállító eszköz
OGFA rendrevágó (prototípus)	magyar	rendrevágó	adapter jellegű	mezőgazdaság	teljesfa	hagyományos erdészeti járművek
Frobbesta	svéd	rendrevágó-kiszállító	vontatott	mezőgazdaság	teljesfa	hagyományos erdészeti járművek
Dansalix	dán	rendrevágó-kiszállító	vontatott	mezőgazdaság	teljesfa	hagyományos erdészeti járművek
Berni (prototípus)	olasz	rendrevágó-kiszállító	vontatott	mezőgazdaság	teljesfa	hagyományos erdészeti járművek
Hvisted (prototípus)	dán	rendrevágó-kiszállító	önjáró	mezőgazdaság	teljesfa	hagyományos erdészeti járművek
ESM 901 (prototípus)	svéd	rendrevágó-kiszállító	önjáró	mezőgazdaság	teljesfa	hagyományos erdészeti járművek
Sagerlatt Empire 2000 (prototípus)	svéd	rendrevágó-kiszállító	önjáró	mezőgazdaság	teljesfa	hagyományos erdészeti járművek
OGFA I., II. (prototípus)	magyar	járvaaprító	adapter jellegű	mezőgazdaság	apríték	konténeres tgc, kamionok
Claas Jaguar (HS1,HS2)	német	járvaaprító	önjáró	mezőgazdaság	apríték	konténeres tgc, kamionok
Austoft 7700	svéd	járvaaprító	önjáró	mezőgazdaság	apríték	konténeres tgc, kamionok
John Deere/Kempel	angol	konténeres-járvaaprító	adapter jellegű	mezőgazdaság	apríték	konténeres tgc, kamionok
Gandini Bioharvester 93 (prototípus)	olasz	járvaaprító	adapter jellegű	mezőgazdaság	apríték	konténeres tgc, kamionok
Diemelstadt	német	járvaaprító	adapter jellegű	mezőgazdaság	apríték	konténeres tgc, kamionok
MBB Biber (prototípus)	német	járvaaprító	önjáró	mezőgazdaság	apríték	konténeres tgc, kamionok
New Holland 719	német	konténeres-járvaaprító	önjáró	mezőgazdaság	apríték	konténeres tgc, kamionok
Bender I., II.	svéd	konténeres-járvaaprító	adapter jellegű	mezőgazdaság	apríték	konténeres tgc, kamionok
Scorpion (prototípus)	francia	járvaaprító	önjáró	mezőgazdaság	apríték	konténeres tgc, kamionok
Loughry (prototípus)	észak-ír	járvakötegelő	vontatott	erdőgazdaság	faköteg	hagyományos erdészeti járművek
Nicholson (prototípus)	angol	rendrevágó	vontatott	erdőgazdaság	faköteg	hagyományos erdészeti járművek
Salix maskiner bundler / Wilstrand (prototípus)	svéd	járvakötegelő	vontatott	erdő- és mezőgazdaság	faköteg	hagyományos erdészeti járművek

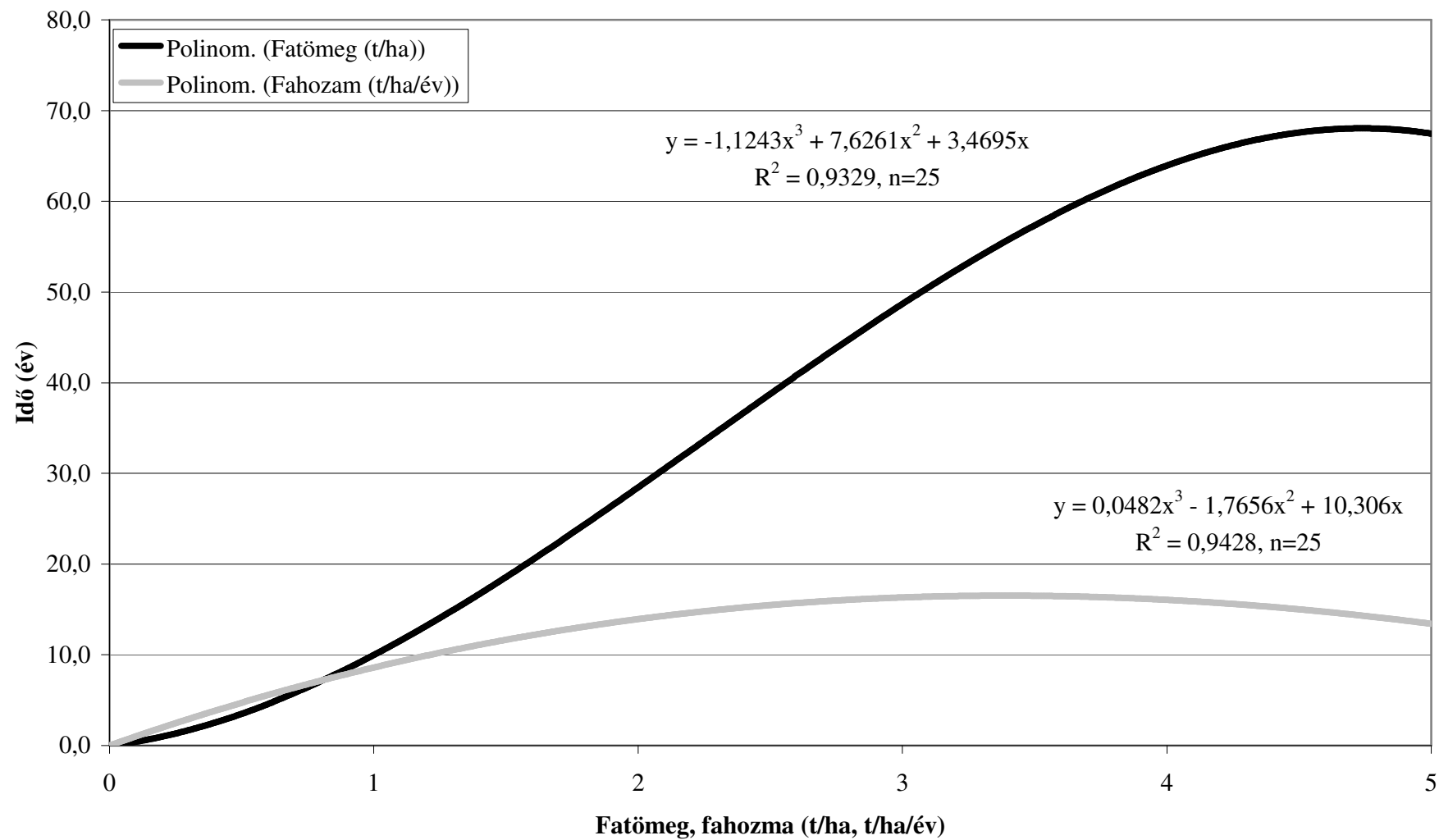
5.4. sz. táblázat: A különböző szilárd biotüzelőanyagok FVI, FVBI értékei

Szilárd biotüzelőanyagok	Sűrűség (g/cm³)	Nedvesség-tartalom (g/g)	Hamu-tartalom (g/g)	Fűtőérték (KJ/g)	FVI*	FBVI**
Fabrikett	1,150	0,070	0,018	16,920	15442,86	-
Nemesnyár biobrikett	1,090	0,080	0,022	17,810	11030,06	-
Energiakender biobrikett	0,950	0,090	0,036	16,540	-	4849,69
Energianád biobrikett	1,030	0,070	0,032	16,840	-	7743,39
Energiafű biobrikett	1,290	0,070	0,048	16,620	-	6380,89
<i>Búzaszalma biobrikett</i>	1,250	0,063	0,080	15,420	-	3824,40
<i>Kukoricaszár biobrikett</i>	1,300	0,062	0,060	15,490	-	5413,17
<i>Napraforgóhéz biobrikett</i>	1,140	0,071	0,040	17,220	-	6912,25
Salix ssp. (energetikai faültetvény)	0,380	0,270	0,028	18,142	911,90	-
Populus ssp. (energetikiai faültetvény)	0,481	0,280	0,024	19,676	1408,36	-
Robinia pseudoacacia (energetikai faültetvény)	0,631	0,260	0,029	19,002	1590,22	-
<i>Bükk tűzifa</i>	1,070	0,330	0,050	18,436	1195,55	-
<i>Akác tűzifa</i>	0,912	0,290	0,030	18,143	1901,89	-
<i>Tölgy tűzifa</i>	0,980	0,310	0,030	18,352	1933,87	-
Fahulladék	0,287	0,180	0,018	15,000	1328,70	-
<i>Energiafű</i>	0,580	0,163	0,048	14,800	-	1097,14
<i>Szalma</i>	0,510	0,170	0,058	13,500	-	698,28
<i>Kukoricaszár</i>	0,530	0,180	0,088	13,000	-	435,97
* - Fuelwood Value Index (Energiafa Érték Index)						
** - Fuelbiomass Value Index (Szilárd biotüzelőanyag Érték Index)						
A dőlt betűvel szedett adatok egyéb szakirodalomból származnak.						

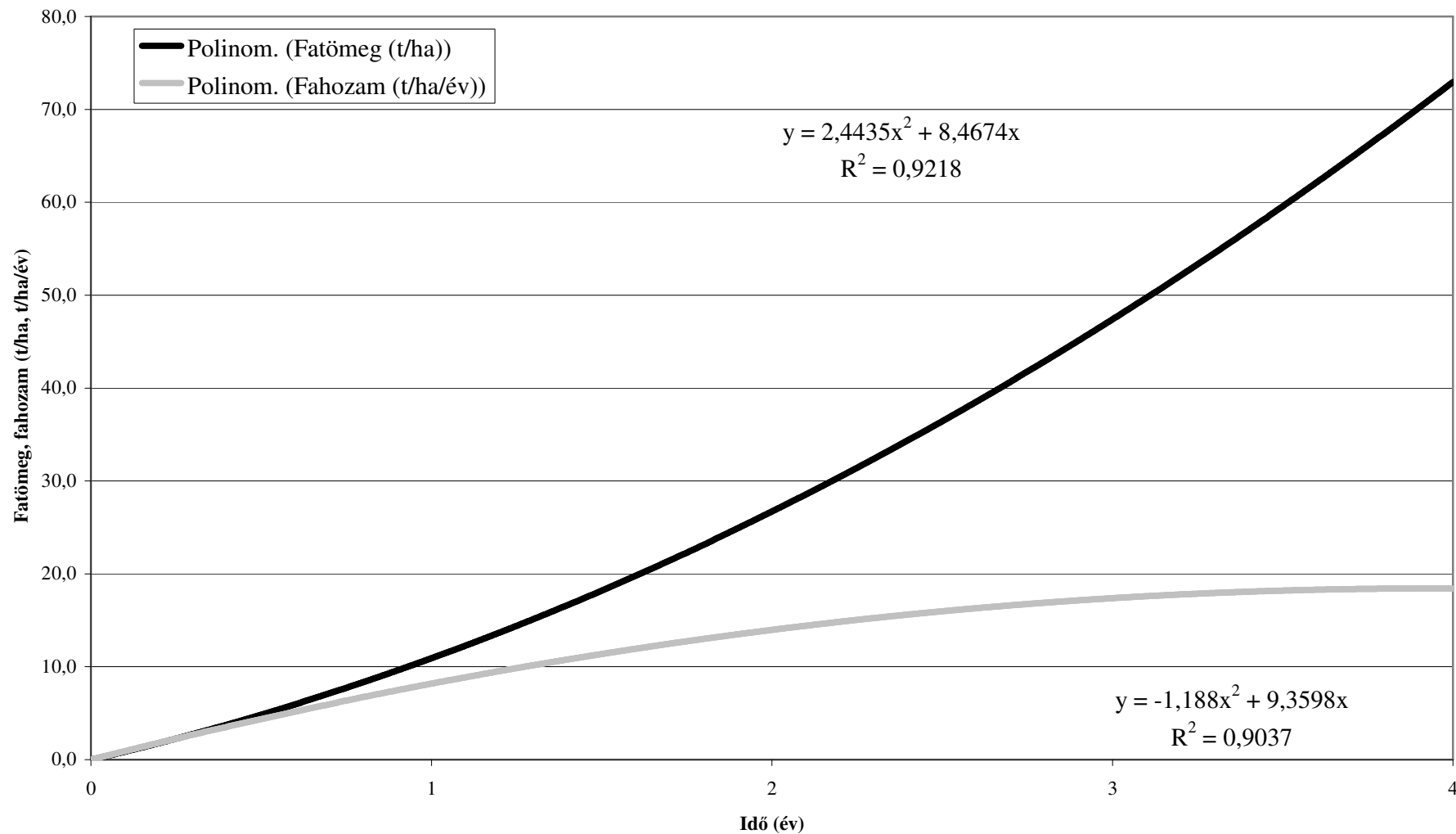
4.19. sz. Diagram: Koltay nemes nyár klón fatömegének és fahozamának változása



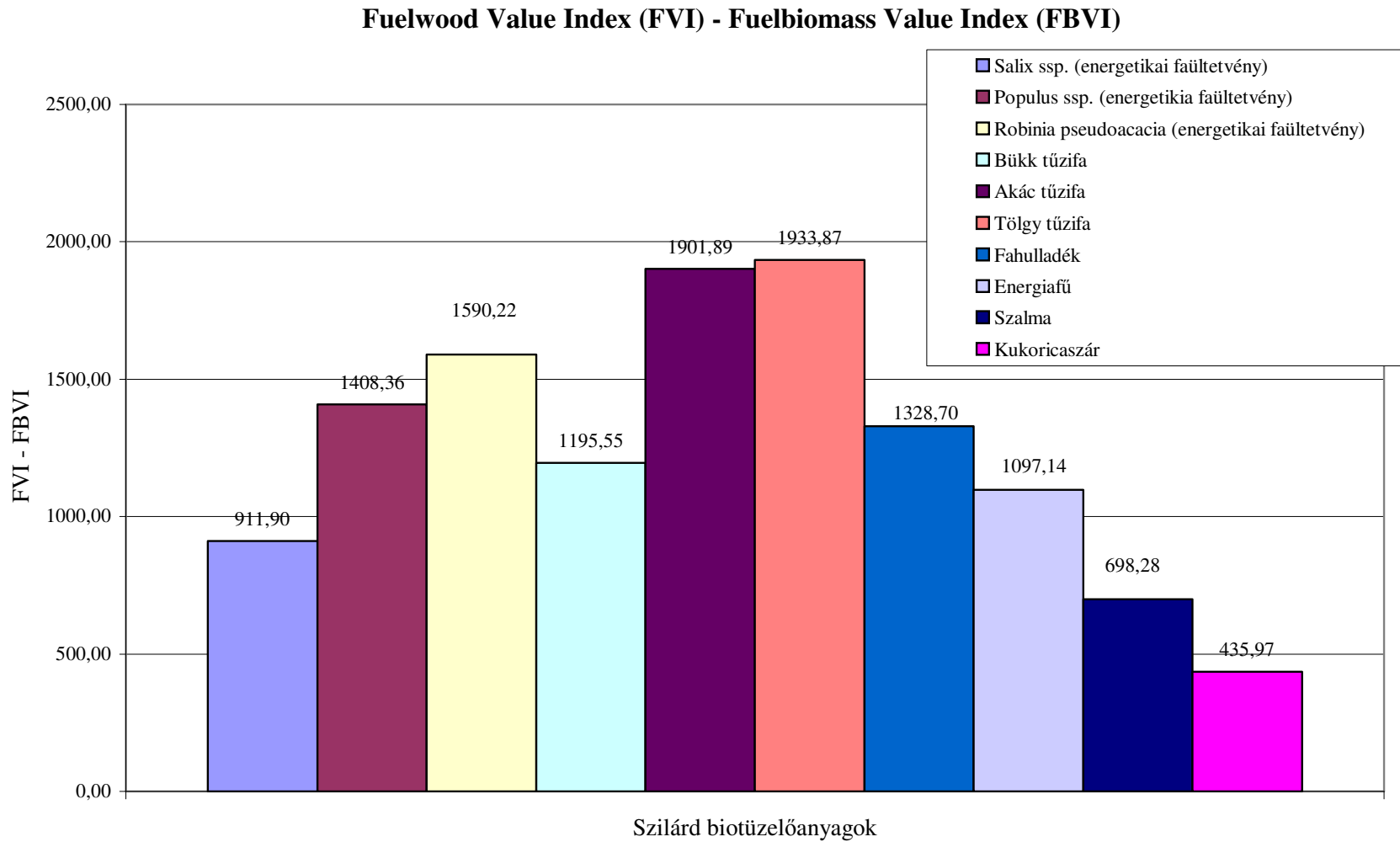
4.20. sz. Diagram: Pannónia nemes nyár klón hazomaának és fatömegének változása



4. 21. sz. Diagram: Beaupre nemes nyár faültetvény fatömegének és fahözamának változása



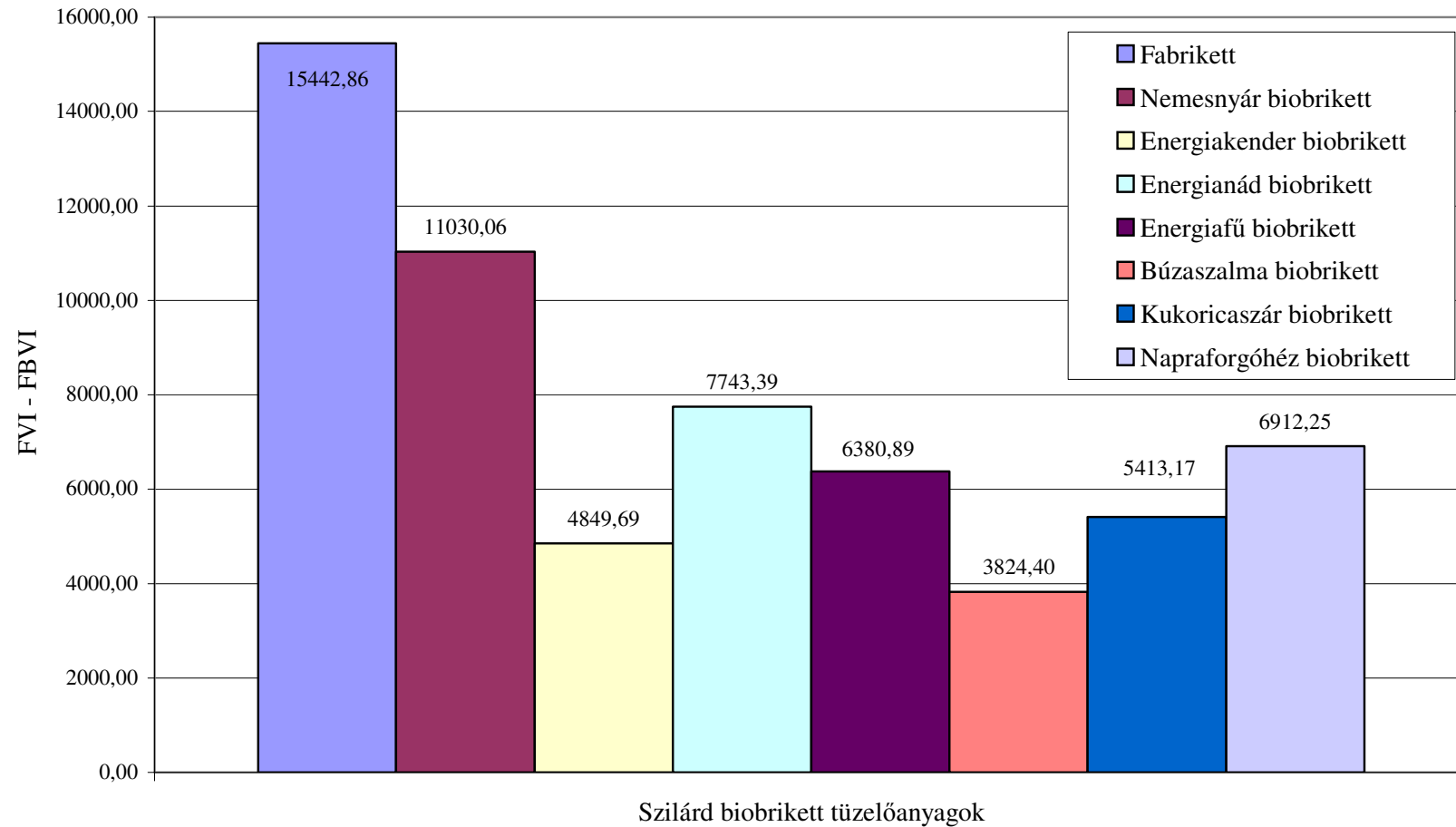
5.1. sz. diagram: A dendromassa-ültetvények faanyagainak és az egyes szilárd biomassza típusok összehasonlítása az FVI, valamint az FBVI alapján



orrás: Ivelics, 2005.

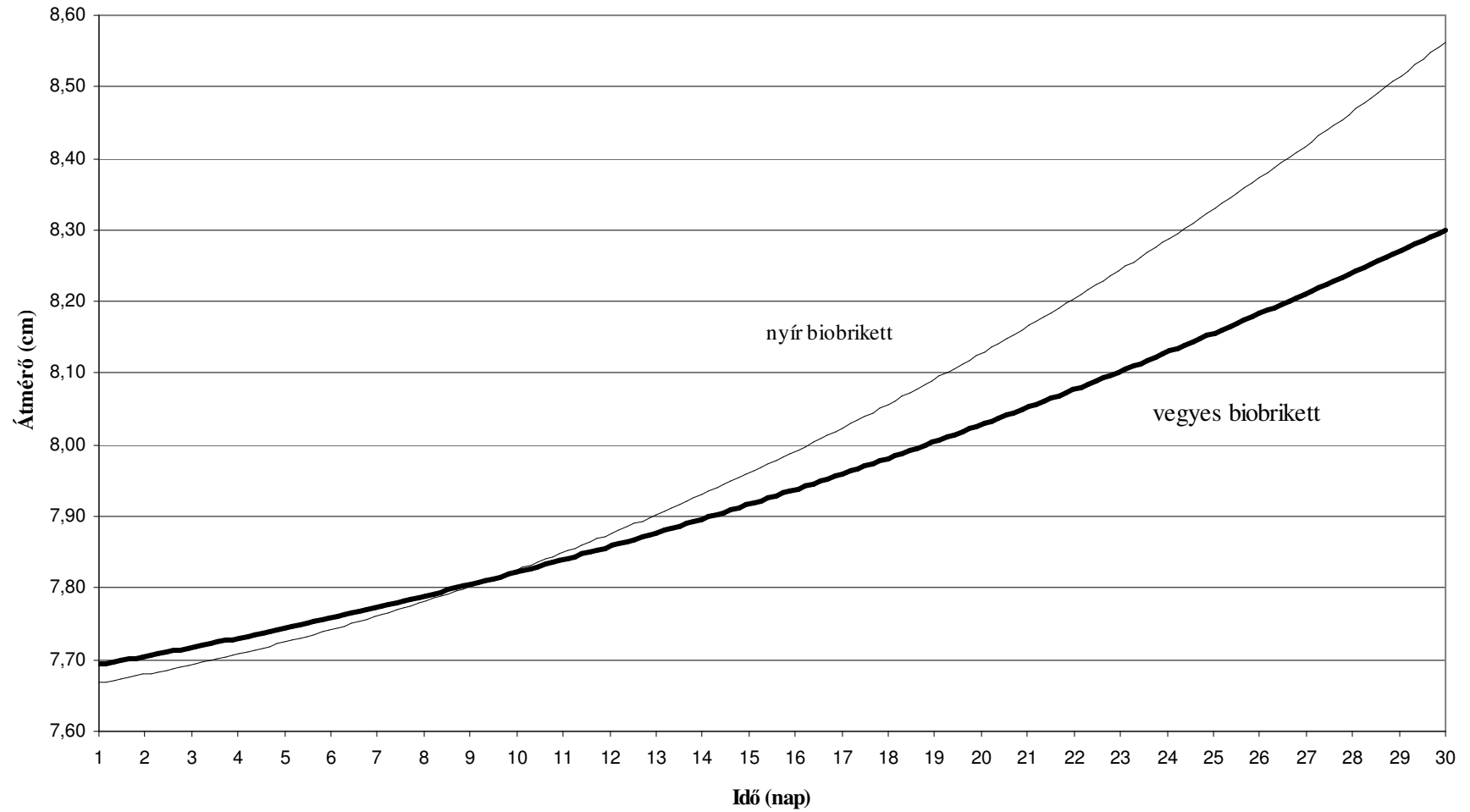
5.2. sz. diagram: A biobrikettek összehasonlítása az FVI, valamint az FBVI alapján

Fuelwood Value Index (FVI) - Fuel biomass Value Index (FBVI)

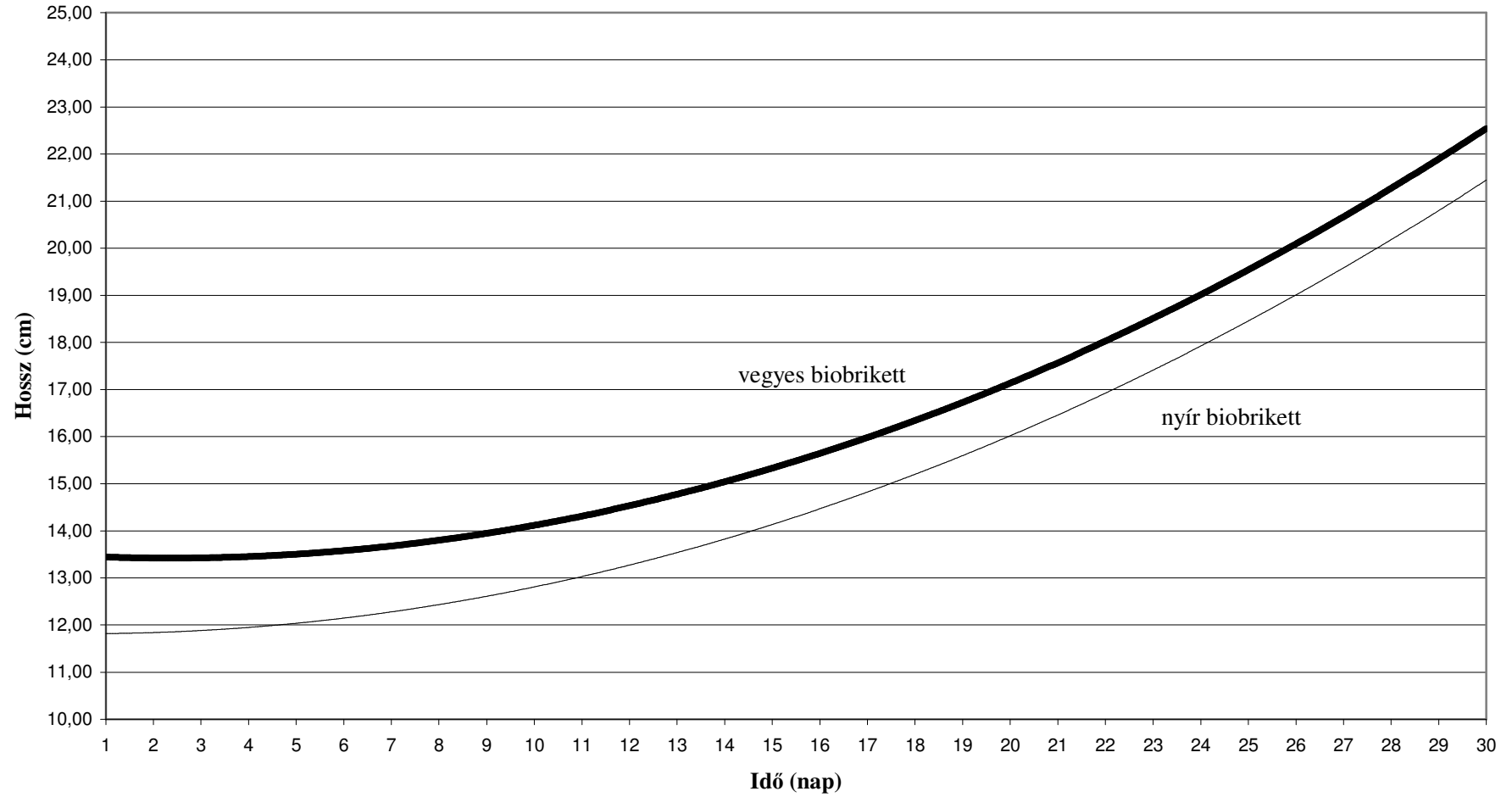


Forrás: Ivelics, 2005.

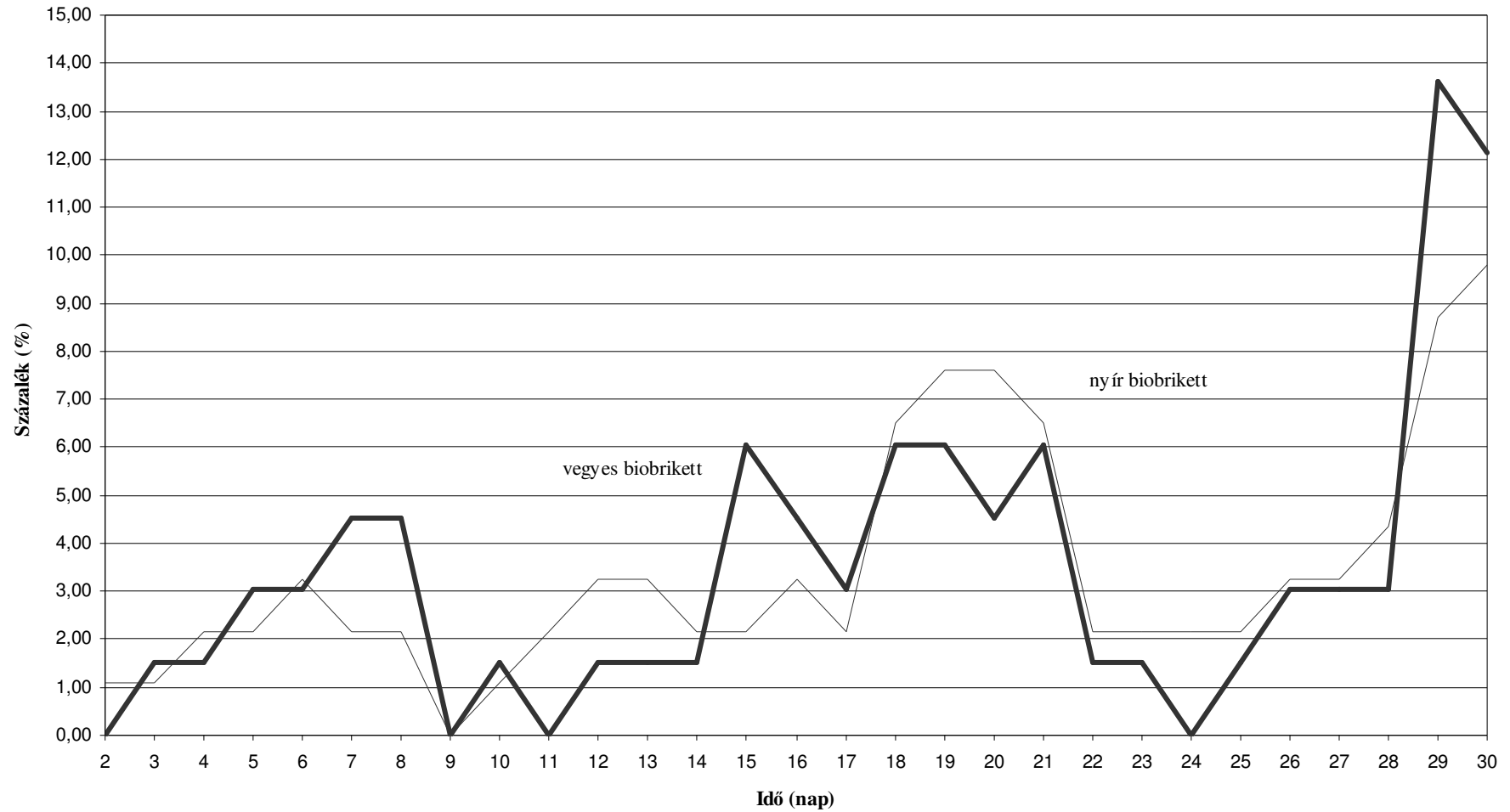
5.3. sz. diagram: A fabrikettek átmérőváltozása



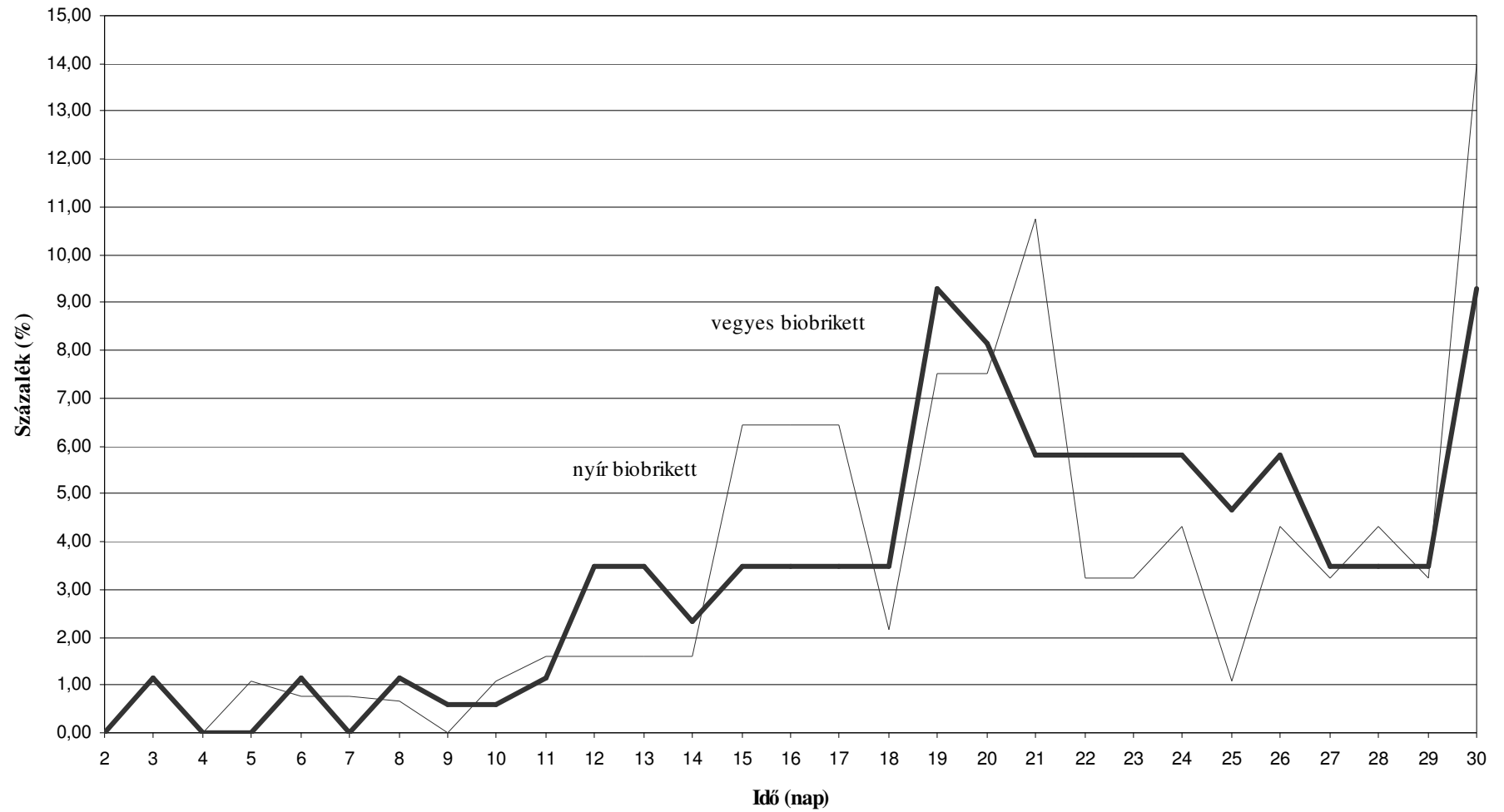
5.4. sz. diagram: A fabrikettek hosszváltozása



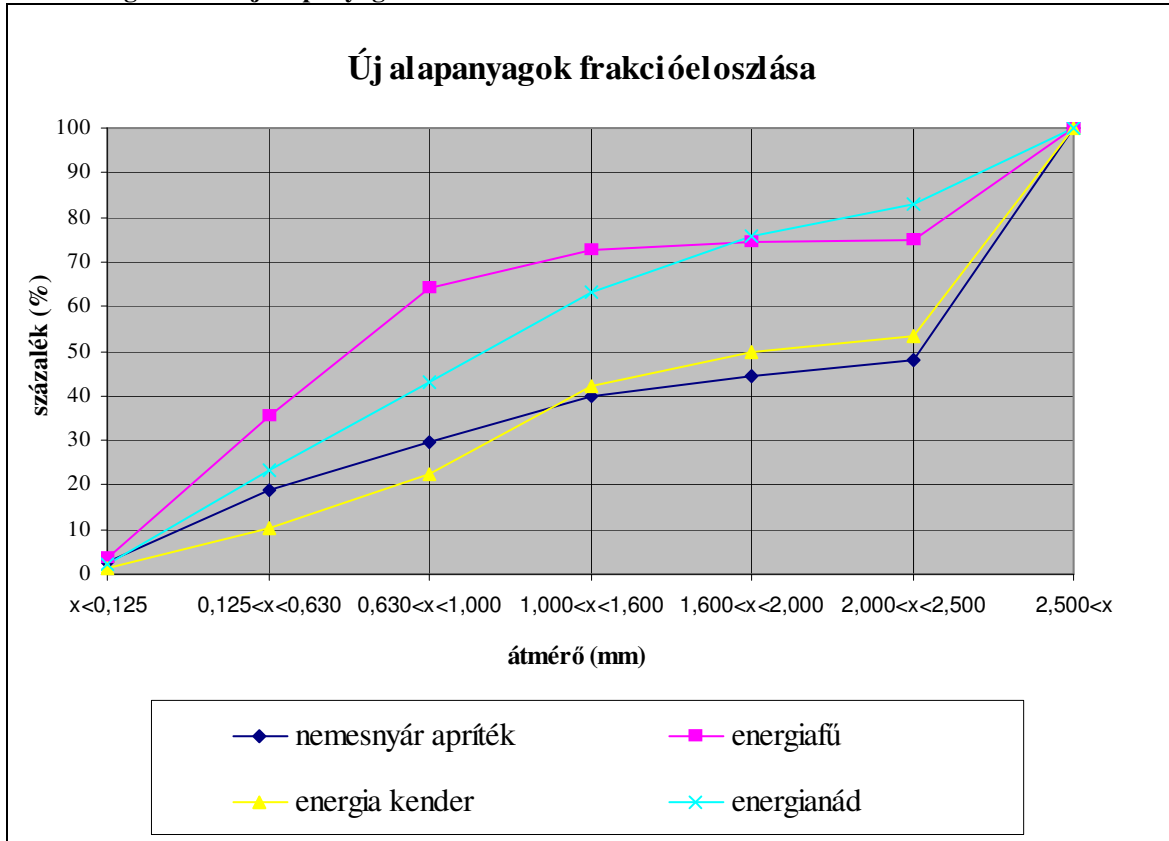
5.5. sz. diagram: A fabrikettek egységnyi átmérőváltozása



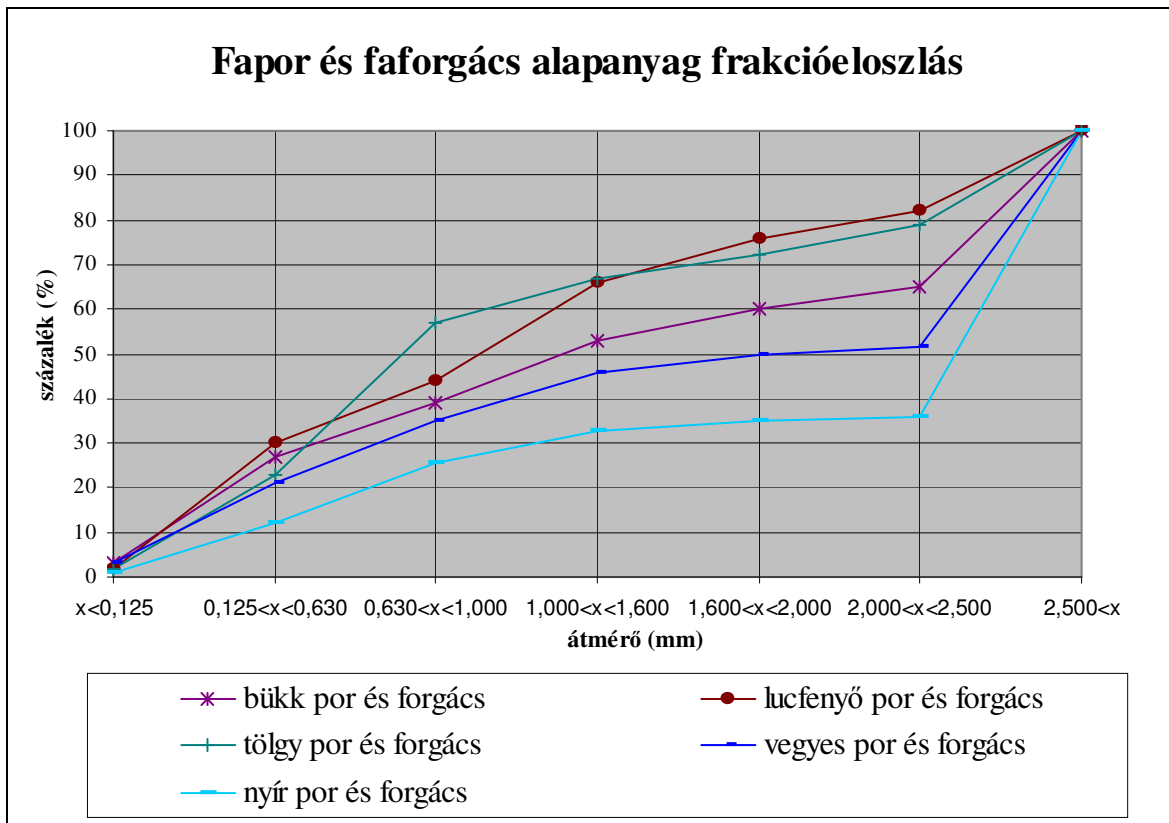
5.6. sz. diagram: A fabrikett egységnyi hosszváltozása



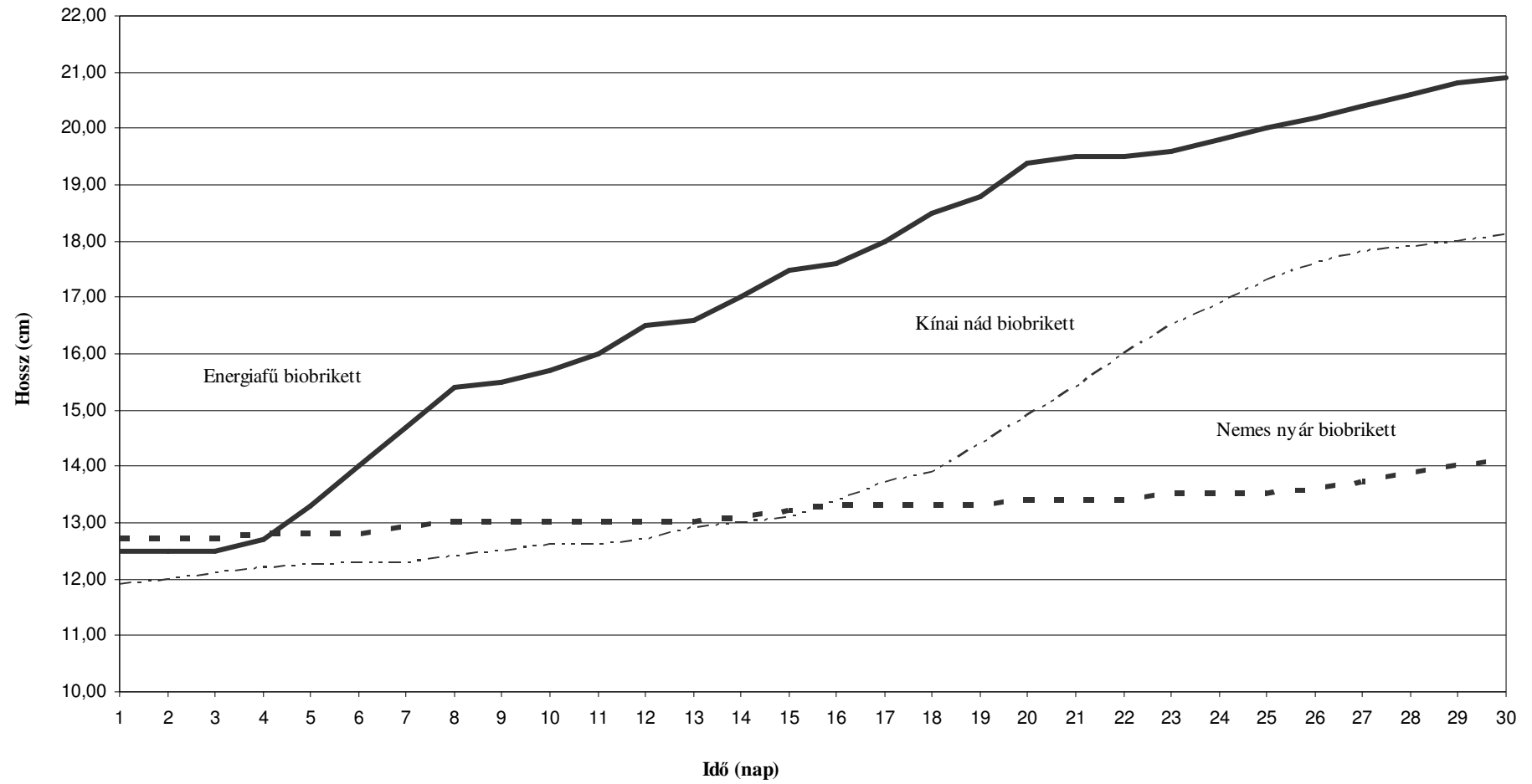
5.7. sz. diagram: Az új alapanyagok frakcióeloszlása



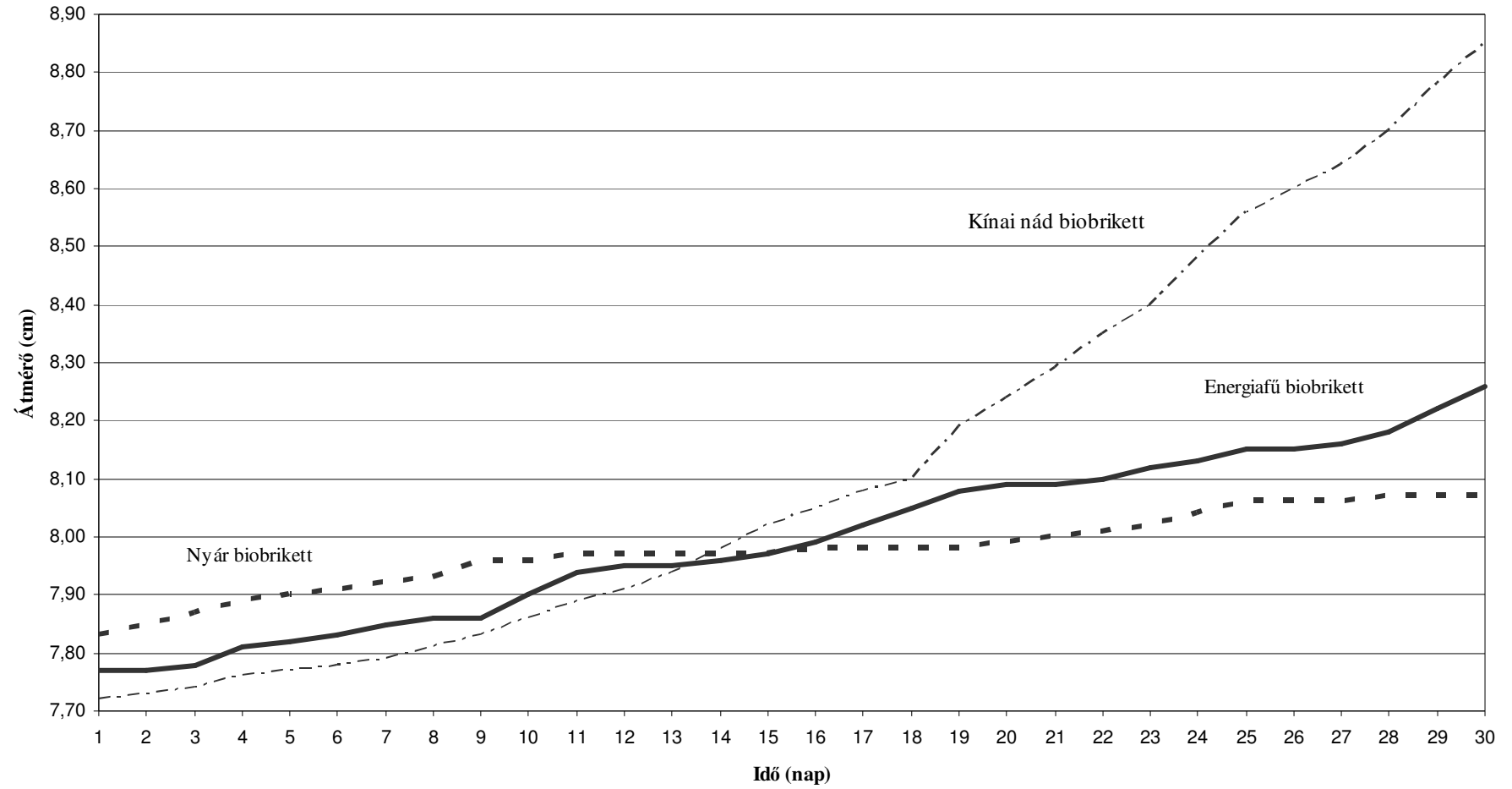
5.10. sz. diagram: A fapor és faforgács alapanyagok frakcióeloszlása



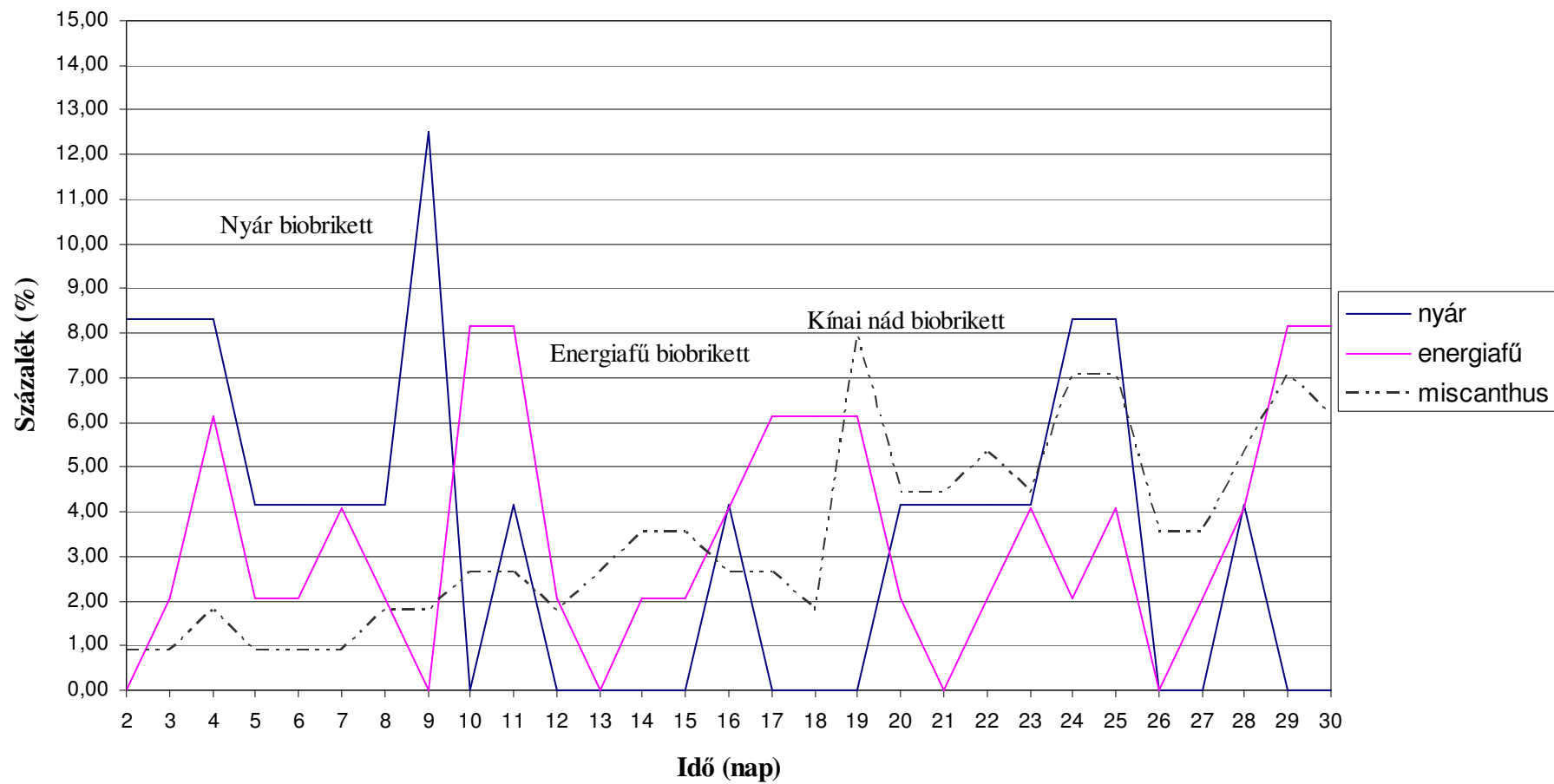
5.8. sz. diagram: A nyár apríték, a kínai nád és az energiafű biobrikettek hosszváltozása



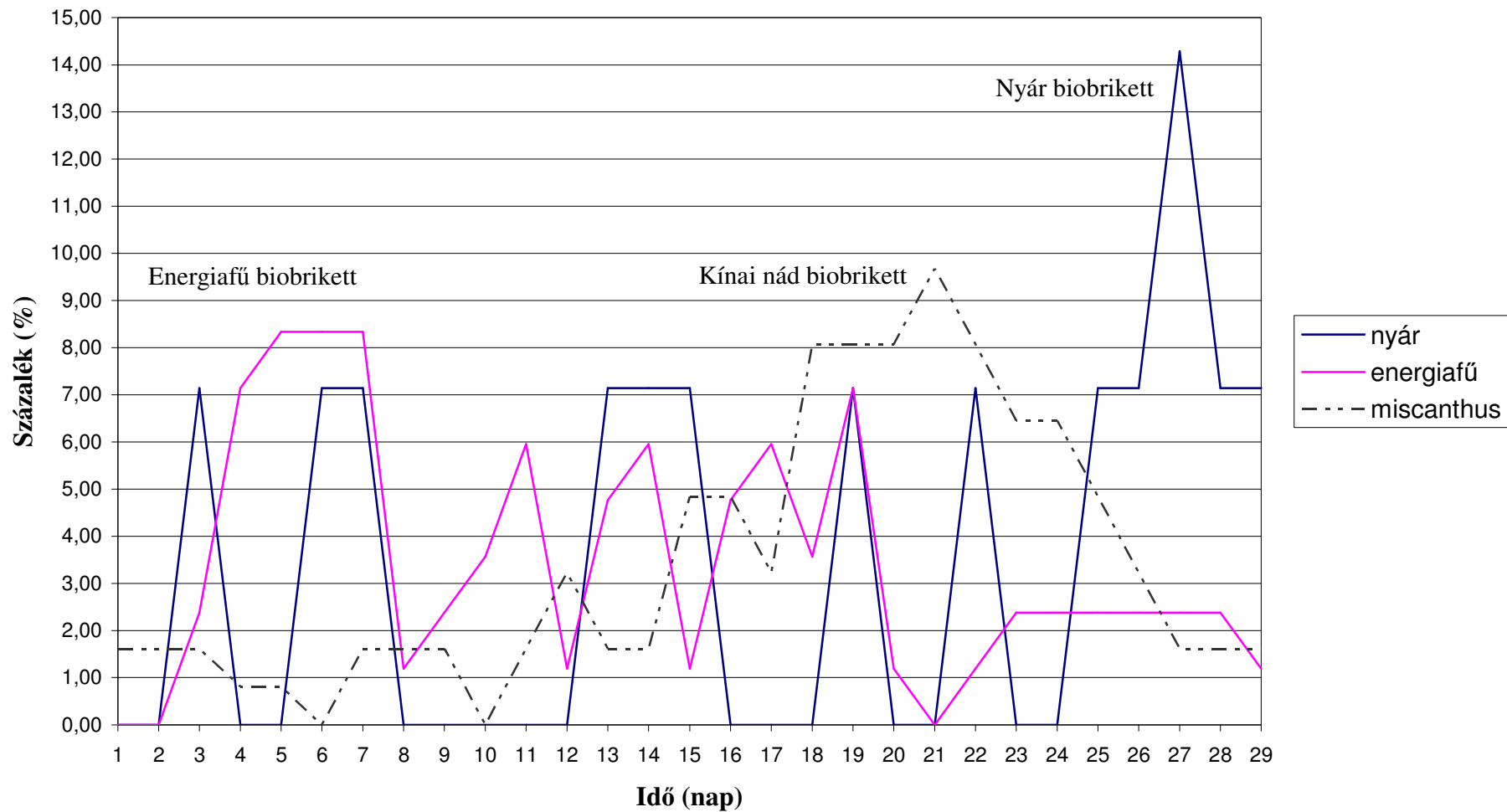
5.9. sz. diagram: A nyár apríték, a kínai nád és az energiafű biobrikettek átmérőváltozása



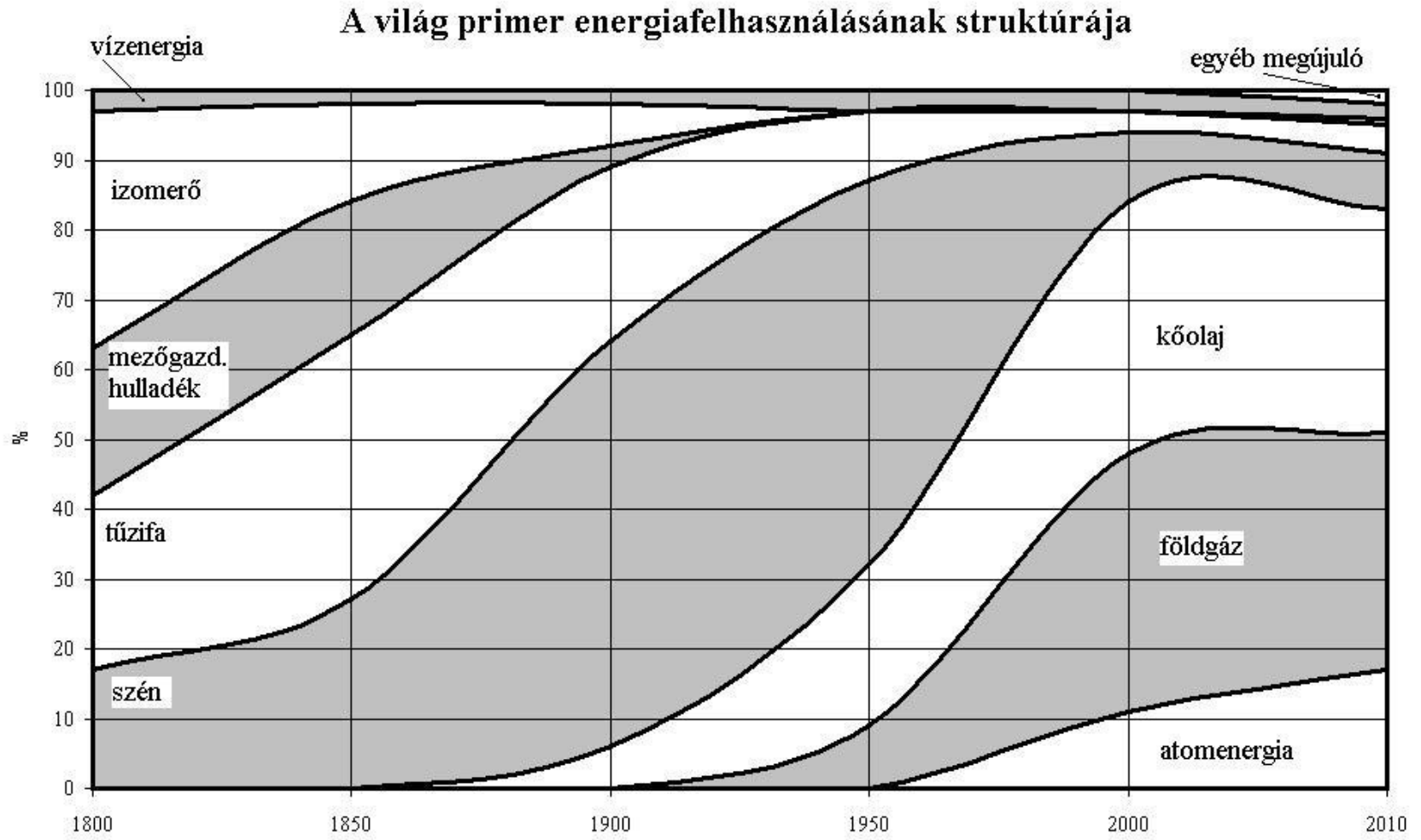
5.11. sz. diagram: A nyár apríték, a kínai nád és aza energiafű biobrikett egységnyi átmérőváltozása



5.12. sz.diagram: A nyár apríték, a kínai nád és az energiafű biobrikett egységnyi hosszváltozása

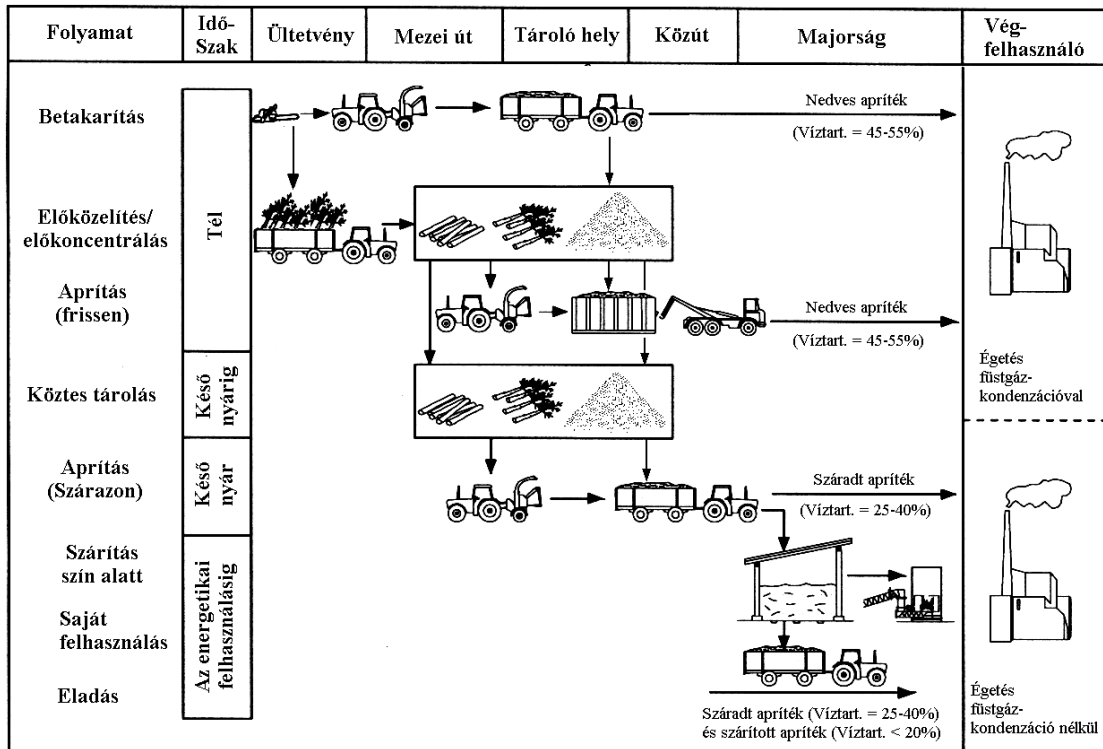


2.2. sz. ábra: A világ primer energiefelhasználásának struktúrája



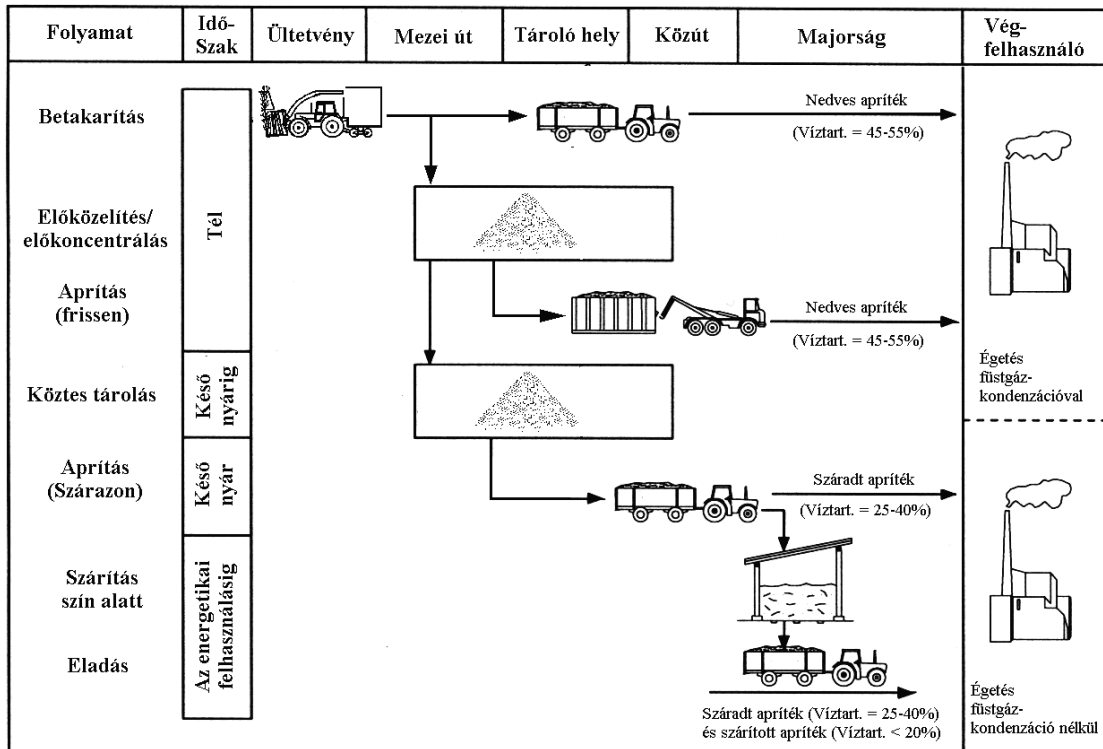
VAJDA, 1981 nyomán in IVELICS, 2004

4.2. sz. ábra: A motor-manuális betakarítás, aprítás és szállítás folyamata:



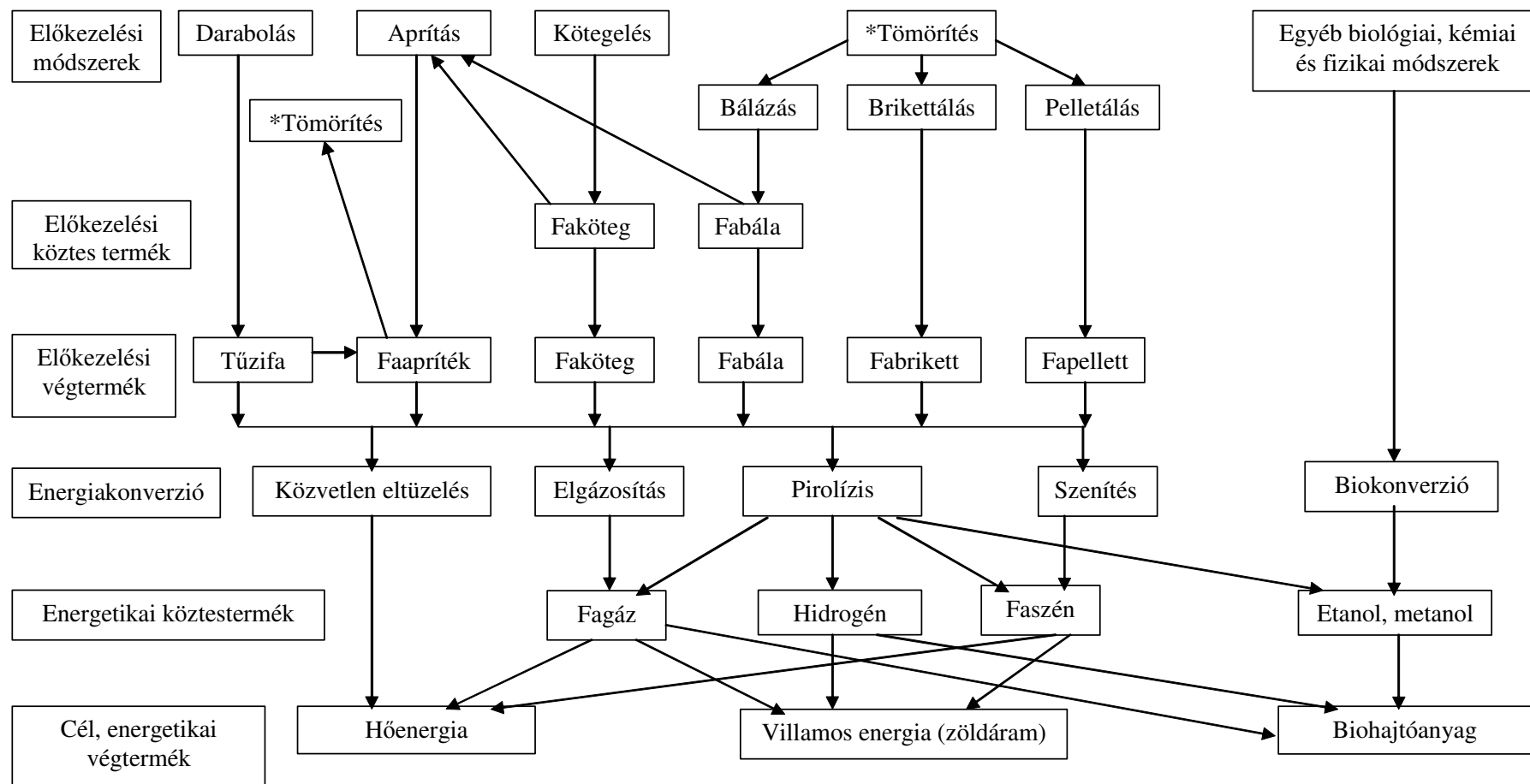
Forrás: KÜRTÖSI, 1998., TAMÁS, 1997. nyomán

4.3. sz. ábra: A gépi betakarítás-aprítás és a szállítás folyamata:



Forrás: KÜRTÖSI, 1998., TAMÁS, 1997. nyomán

5.1. SZ. ÁBRA: A DENDROMASSZA ENERGETIKAI CÉLÚ ELŐKEZELÉSE ÉS KONVERZIÓJA



KÉPMELLÉKLET

KÉPJEGYZÉK

- 4.1. sz. kép: 2005 májusában telepített 1 éves vágásfordulójú 'Monviso' nemesnyár minirotációs energetikai faültetvény, Királyegyháza, 2005. augusztus
- 4.2. sz. kép: 2005 májusában telepített 1 éves vágásfordulójú 'AF2' nemesnyár minirotációs energetikai faültetvény betakarítás közben, Királyegyháza, 2006. január
- 4.3. sz. kép: 2005 májusában telepített 'Beaupre', 'AF2' nemesnyár minirotációs energetikai faültetvény, balra a betakarított állomány (2 sor: bal: 'Beaupre', jobb: 'AF2'), jobbra a meghagyott állomány ('AF2'), Királyegyháza, 2006. május
- 4.4. sz. kép: 2005 májusában telepített 'AF2' nemesnyár minirotációs energetikai faültetvény, Királyegyháza, 2006. május
- 4.5. sz. kép: 3 éves, ikersoros minirotációs 'Koltay' nemesnyár energetikai faültetvény a tatai kísérleti faültetvényen, 2003.
- 4.6. sz. kép: 2 éves, szimplasoros minirotációs 'Koltay' nemesnyár energetikai faültetvény a tatai kísérleti faültetvényen, 2004.
- 4.7. sz. kép: 2 éves, ikersoros minirotációs 'Pannónia' nemesnyár energetikai faültetvény betakarítás közben, a tatai kísérleti faültetvényen, 2004.
- 4.8. sz. kép: 2005. tavaszán telepített 'S311' fűz klón minirotációs energetikai faültetvény betakarítás közben, Mátészalka, 2006. január
- 4.9. sz. kép: 2005. tavaszán telepített 'S311' fűz klón minirotációs energetikai faültetvény betakarítás közben, Mátészalka, 2006. január
- 4.10. sz. kép: 2005. tavaszán telepített 'S311' fűz klón minirotációs energetikai faültetvény, megeredés vizsgálat közben, Mátészalka, 2006. május
- 4.11. sz. kép: Optigép Kft. által kifejlesztett járvaaprító gép, Tatán, 2 éves, ikersoros minirotációs 'Pannónia' nemesnyár energetikai faültetvény, betakarítás közben, 2004.
- 4.12. sz. kép: Optigép Kft. által kifejlesztett rendrevágó gép, Tata, 2005.
- 4.13. sz. kép: Optigép Kft. által kifejlesztett rendrevágó gép, leszerelt állapotban, Tata, 2005.
- 5.1. sz. kép: A BRIK B70 típusú brikettáló gép hűtőkörének kialakítása a falsíkon, illetve a fejhűtés közeli nézete
- 5.2. sz. kép: A présgép-fej biobrikett-gyártás közben
- 5.3. sz. kép: Az új présgép (fent az alapanyag-tartály)
- 5.4. sz. kép: Az új gép (BRIK B70 típusú) brikettgyártás közben

- 5.5. sz. kép: Export minőségű – I. osztályú fabrikett
- 5.6. sz. kép: Hazai értékesítésű – II. osztályú fabrikett
- 5.7. sz. kép: Nemesnyár aprítékból készült biobrikett
- 5.8. sz. kép: Kínainádból készült biobrikett
- 5.9. sz. kép: Energiafűből készült biobrikett

4.1. sz. kép: 2005 májusában telepített 1 éves vágásfordulójú 'Monviso' nemesnyár minirotációs energetikai faültetvény, Királyegyháza, 2005. augusztus

(Ivelics Ramon)



4.2. sz. kép: 2005 májusában telepített 1 éves vágásfordulójú 'AF2' nemesnyár minirotációs energetikai faültetvény betakarítás közben, Királyegyháza, 2006. január

(Ivelics Ramon)



4.3. sz. kép: 2005 májusában telepített 'Beaupre','AF2' nemesnyár minirotációs energetikai faültetvény, balra a betakarított állomány (2 sor: bal: 'Beaupre', jobb: 'AF2'), jobbra a meghagyott állomány ('AF2'), Királyegyháza, 2006. május

(Ivelics Ramon)



4.4. sz. kép: 2005 májusában telepített 'AF2' nemesnyár minirotációs energetikai faültetvény, Királyegyháza, 2006. május

(Dohóczki Péter)



4.5. sz. kép: 3 éves, ikersoros minirotációs 'Koltay' nemesnyár energetikai faültetvény a tatai kísérleti faültetvényen, 2003.

(Ivelics Ramon)



4.6. sz. kép: 2 éves, szimplasoros minirotációs 'Koltay' nemesnyár energetikai faültetvény a tatai kísérleti faültetvényen, 2004.

(Ivelics Ramon)



4.7. sz. kép: 2 éves, ikersoros minirotációs 'Pannónia' nemesnyár energetikai faültetvény betakarítás közben, a tatai kísérleti faültetvényen, 2004.

(Ivelics Ramon)



4.8. sz. kép: 2005. tavaszán telepített 'S311' fűz klón minirotációs energetikai faültetvény betakarítás közben, Mátészalka, 2006. január

(Ivelics Ramon)



4.9. sz. kép: 2005. tavaszán telepített 'S311' fűz klón minirotaációs energetikai faültetvény betakarítás közben, Mátészalka, 2006. január

(Ivelics Ramon)



4.10. sz. kép: 2005. tavaszán telepített 'S311' fűz klón minirotaációs energetikai faültetvény, megeredés vizsgálat közben, Mátészalka, 2006. május

(Vinkovics Sándor)



4.11. sz. kép: Optigép Kft. által kifejlesztett járvaaprító gép, Tatán, 2 éves, ikersoros minirotaációs 'Pannónia' nemesnyár energetikai faültetvény, betakarítás közben, 2004.

(Ivelics Ramon)



4.12. sz. kép: Optigép Kft. által kifejlesztett rendvágó gép, Tata, 2005.

(Ivelics Ramon)



4.13. sz. kép: Optigép Kft. által kifejlesztett rendrevágó gép, leszerelt állapotban, Tata, 2005.

(Ivelics Ramon)



5.1. sz. kép: A BRIK B70 típusú brikettáló gép hűtökörének kialakítása a falsíkon, illetve a fejhűtés közeli nézete

(Ivelics Ramon)



5.2. sz. kép: A prés gép-fej biobrikett-gyártás közben

(Ivelics Ramon)



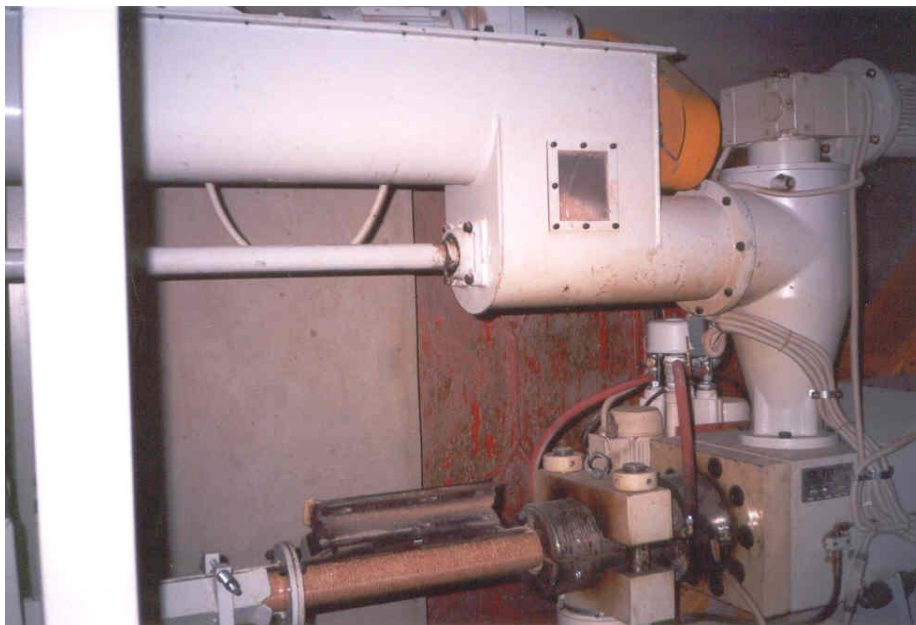
5.3. sz. kép: Az új prés gép (fent az alapanyag-tartály)

(Ivelics Ramon)



5.4. sz. kép: Az új gép (BRIK B70 típusú) brikettgyártás közben

(Ivelics Ramon)



5.5. sz. kép: Export minőségű – I. osztályú fabrikett

(Ivelics Ramon)



5.6. sz. kép: Hazai értékesítésű – II. osztályú fabrikett

(Ivelics Ramon)



5.7. sz. kép: Nemesnyár aprítékból készült biobrikett

(Ivelics Ramon)



5.8. sz. kép: Kínainádból készült biobrikett

(Ivelics Ramon)



5.9. sz. kép: Energiafűből készült biobrikett

(Ivelics Ramon)

