NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM
Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola
Biokörnyezettudomány Program

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

TERMÉSZETES ANYAGOKKAL TÖRTÉNŐ TÁPANYAG-UTÁNPÓTLÁS FÁS SZÁRÚ ENERGETIKAI ÜLTETVÉNYBEN

Írta:

SZABÓ ORSOLYA
okl. környezetkutató, okl. erdőmérnök

Témavezetők:

Dr. habil HEIL BÁLINT PhD
egyetemi docens

Dr. habil KOVÁCS GÁBOR CSc
egyetemi docens

SOPRON
2016.

TERMÉSZETES ANYAGOKKAL TÖRTÉNŐ TÁPANYAG-UTÁNPÓTLÁS FÁS SZÁRÚ ENERGETIKAI ÜLTETVÉNYBEN

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében
a Nyugat-magyarországi Egyetem Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskolája
Biokörnyezettudomány programja keretében.

Írta:
Szabó Orsolya

Témavezető: Dr. habil Heil Bálint PhD
Elfogadásra javaslom (igen / nem) ……
(aláírás)

Témavezető: Dr. habil Kovács Gábor CSc
Elfogadásra javaslom (igen / nem) ……
(aláírás)

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

Sopron, ……...……
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)
Első bíráló (Dr. …… ……) igen /nem ……
(aláírás)

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

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

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

Sopron, ……
a Bírálóbizottság elnöke

A doktori (PhD) oklevél minősítése……

……
Az EDT elnöke

NYILATKOZAT

Alulírott Szabó Orsolya jelen nyilatkozat aláírásával kijelentem, hogy a Természetes anyagokkal történő tápanyag-utánpótlás fás szárú energetikai ültetvényben című PhD értekezésem önálló munkám, az értekezés készítése során betartottam a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény szabályait, valamint a Kitaibel Pál Környezettudományi Doktori Iskola által előírt, a doktori értekezés készítésére vonatkozó szabályokat, különösen a hivatkozások és idézések tekintetében.[1]

Kijelentem továbbá, hogy az értekezés készítése során az önálló kutatómunka kitétel tekintetében témavezetőimet, illetve a programvezetőt nem tévesztettem meg.

Jelen nyilatkozat aláírásával tudomásul veszem, hogy amennyiben bizonyítható, hogy az értekezést nem magam készítettem, vagy az értekezéssel kapcsolatban szerzői jogsértés ténye merül fel, a Nyugat-magyarországi Egyetem megtagadja az értekezés befogadását.

Az értekezés befogadásának megtagadása nem érinti a szerzői jogsértés miatti egyéb (polgári jogi, szabálysértési jogi, büntetőjogi) jogkövetkezményeket.

Sopron, 2016. április 2.

……..

doktorjelölt

[1] 1999. Évi lXXVI. Tv. **34. § (1) A mű részletét – az átvevő mű jellege és célja által indokolt terjedelemben és az eredetihez híven – a forrás, valamint az ott megjelölt szerző megnevezésével bárki idézheti**.

36. § (1) Nyilvánosan tartott előadások és más hasonló művek részletei, valamint politikai beszédek tájékoztatás céljára – a cél által indokolt terjedelemben – szabadon felhasználhatók. Ilyen felhasználás esetén a forrást – a szerző nevével együtt – fel kell tüntetni, hacsak ez lehetetlennek nem bizonyul.

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS ..... - 7 -

1.1. A TÉMA AKTUALITÁSA ..... - 7 -

1.2. A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI ..... - 8 -

2. TÉMA SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉSE ..... - 10 -

2.1. A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK JELENTŐSÉGE ..... - 10 -

2.2. A BIOMASSZA-HASZNOSÍTÁS HELYZETE MAGYARORSZÁGON ..... - 11 -

2.3. AZ EURÓPAI UNIÓ TÖREKVÉSEI A MEGÚJULÓ ENERGIAHASZNOSÍTÁS KAPCSÁN ..... - 14 -

2.4. NEMZETKÖZI TENDENCIÁK A MEGÚJULÓ ENERGIA HASZNOSÍTÁS TERÉN ..... - 16 -

2.5. FÁS SZÁRÚ ENERGETIKAI ÜLTETVÉNYEK FOGALMA, CSOPORTOSÍTÁSA ..... - 17 -

2.6. FÁS SZÁRÚ ENERGETIKAI ÜLTETVÉNYEK HAZAI ALKALMAZÁSA ..... - 19 -

2.6.1. Agrárpolitikai és társadalmi célok ..... - 19 -

2.6.2. Az energiaültetvények gazdasági haszna ..... - 21 -

2.6.3. Alkalmazott fajok, termőhelyi tényezők ..... - 22 -

2.6.4. Fás szárú energetikai ültetvények jogi és támogatási háttere ..... - 27 -

2.6.5. Az ültetvények jövedelmezősége ..... - 29 -

2.7. A RÖVID VÁGÁSFORDULÓJÚ ENERGETIKAI FAÜLTETVÉNYEK TECHNOLÓGIAI SAJÁTOSSÁGAI ..... - 31 -

2.8. TÁPANYAG-UTÁNPÓTLÁSI ELJÁRÁSOK ..... - 32 -

2.8.1. A fahamu és szerves trágya, mint természetes eredetű tápanyag-utánpótló anyagok ..... - 33 -

2.8.1.1. A fahamu, mint természetes eredetű tápanyag-utánpótló anyag ..... - 33 -

2.8.1.2. A szerves trágya, mint természetes eredetű tápanyag-utánpótló anyag ..... - 37 -

2.9. HOZAMBECSLÉSI ELJÁRÁSOK ..... - 39 -

2.10. LEVÉLFELÜLETI INDEX ..... - 40 -

2.11. TALAJNEDVESSÉG MÉRÉSE ..... - 42 -

3. A KUTATÁS MÓDSZEREI ..... - 43 -

3.1. KÍSÉRLETI TERÜLET ELHELYEZKEDÉSE ..... - 43 -

3.2. A KÍSÉRLETI ÜLTETVÉNY KIALAKÍTÁSA ..... - 44 -

3.3. TÁPANYAG-UTÁNPÓTLÁS ISMERTETÉSE ..... - 46 -

3.3.1. Az alkalmazott fahamu összetétele ..... - 46 -

3.3.2. A fás szárú ültetvényben alkalmazott szerves trágya jellemzői és az elemek növényélettani hatásokra gyakorolt szerepének ismertetése ..... - 47 -

3.4. VIZSGÁLATBA VONT FAJOK/FAJTÁK JELLEMZÉSE ..... - 49 -

3.5. TERMŐHELYI, TALAJVIZSGÁLATI MÓDSZEREK ..... - 52 -

3.5.1. Talajvizsgálat, termőhelyfeltárás ..... - 52 -

3.5.2. A talaj pórusterének vizsgálata pF-berendezéssel ..... - 53 -

3.5.3. Tápanyagvizsgálat ..... - 54 -

3.6. EREDÉS VIZSGÁLAT ..... - 55 -

3.7. DENDROMETRIAI MÉRÉSEK ..... - 56 -

3.7.1. Magasság mérése ... *- 56 -*
3.7.2. Tömeg mérése ... *- 56 -*
3.7.3. Tőkerület és mellmagassági kerület mérése ... *- 58 -*
3.7.4. Karódugványos parcellák növőtér vizsgálata ... *- 58 -*
3.7.5. Levélfelületi index vizsgálata ... *- 59 -*
3.7.6. Szárazanyag-tartalom meghatározása ... *- 60 -*

3.8. AZ EREDMÉNYEK STATISZTIKAI KIÉRTÉKELÉSE ... - 60 -

3.9. TALAJVÍZKÚT ÉS TDR SZONDA ADATOK REGISZTRÁLÁSA ... - 60 -

3.10. METEOROLÓGIAI ELEMZÉS ELŐKÉSZÍTÉSE ... - 61 -

3.11. GAZDASÁGOSSÁGI SZÁMÍTÁSOK ... - 62 -

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK ... - 64 -

4.1. TERMŐHELYI VISZONYOK ÉRTÉKELÉSE ... - 64 -

4.2. METEOROLÓGIAI ADATOK KIÉRTÉKELÉSE ... - 72 -

4.3. MEGEREDÉSI VIZSGÁLATOK ... - 76 -

4.3.1. A kezelések hatása a dugványok megeredésére ... *- 78 -*
4.3.2. A sima dugványok és a karódugványok eredésének összehasonlítása ... *- 78 -*

4.4. DENDROMETRIAI MÉRÉSEK ... - 80 -

4.4.1. Az első tenyészidőszak mérési eredményei ... *- 80 -*
4.4.2. A második tenyészidőszak mérési eredményei ... *- 83 -*
4.4.2.1. Magasság és tőátmérő vizsgálatok 2012-ben ... - 83 -
4.4.2.2. Fatömeg vizsgálatok a második tenyészidőszakban ... - 87 -
4.4.3. A harmadik tenyészidőszak méréseinek eredményei ... *- 90 -*
4.4.4. A két tenyészidőszak adatainak összevetése kezelésenként ... *- 95 -*
4.4.5. Növőtérvizsgálat eredményei ... *- 96 -*

4.5. LEVÉLFELÜLETI INDEX VIZSGÁLATA ... - 100 -

4.6. SZÁRAZANYAG-TARTALOM VIZSGÁLAT EREDMÉNYEI ... - 103 -

4.7. TÁPANYAG VIZSGÁLATOK ... - 106 -

4.7.1. Talaj-tápelem vizsgálatok ... *- 106 -*
4.7.2. Tápanyag-ellátottság vizsgálata (2011/2014.) ... *- 119 -*

4.8. TALAJ VÍZGAZDÁLKODÁSÁNAK JELLEMZÉSE ... - 123 -

4.8.1. pF-vizsgálat ... *- 123 -*
4.8.2. Talajvízkút adatok értékelése ... *- 124 -*

4.9. GAZDASÁGOSSÁGI SZÁMÍTÁSOK ... - 129 -

5. ÖSSZEFOGLALÁS ... - 131 -

5.1. KUTATÁS GYAKORLATI HASZNOSULÁSA / KUTATÁS JÖVŐBENI LEHETSÉGES IRÁNYAI ... - 133 -

6. A KUTATÁSOK LEGFONTOSABB EREDMÉNYEIT ÖSSZEFOGLALÓ TÉZISEK ... - 135 -

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS ... - 137 -

KIVONAT ... - 138 -

ABSTRACT ... - 139 -

IRODALOMJEGYZÉK ..... **- 140 -**

ÁBRA- ÉS TÁBLÁZATJEGYZÉK ..... **- 151 -**

MELLÉKLETEK ..... **- 154 -**

1. BEVEZETÉS

1.1. A téma aktualitása

Napjainkban a világ folyamatosan növő energiaigénye, a gazdasági és energiapiaci helyzet, a politikai és társadalmi feszültségek növekedése, a fosszilis energiahordozók készleteinek csökkenése szükségessé tette, hogy globális szinten is kiemelt feladatként kezeljük a megújuló energiahordozók használatát. A politikai döntéshozók közös stratégiákat dolgoztak ki az energiaellátás biztosítására, beleértve a megújuló energiaforrásból, elsősorban biomasszából való energiatermelést (*European Commission, 1996*).

Az energiaellátásban az Európai Unió 2020-ig átlagosan a megújuló energiaforrások 20%-os részarányát kívánja elérni, ezen értve a nap-, víz-, szél és geotermikus energiát, valamint a biomasszát (*Németh, 2011*). Az Országgyűlés a Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve 2010-2020 részeként tűzte ki célul a minimálisan 14,65%-os megújuló energiák részarányát a bruttó végső energiafogyasztásban, melynek több mint 60%-a származik biomasszából (*Vágvölgyi et al., 2014*). Mivel valójában a teljes energiafogyasztásnak csak mintegy 7%-a fedeződik megújuló energiából, így több millió hektáron lenne szükség biomassza termelésére, hogy elérjük a 2020-ra kitűzött célt (*Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2012*).

A biomassza-tüzelésű hőerőművek, apríték tüzelésű berendezések illetve a pellet-előállítás alapanyagigénye következtében a jövőben a szükséges nyersanyagok jelentős részét - az erdőgazdálkodásból származó fakihozatal mellett - az energetikai célú fatermesztésnek kell előállítania (*Leibhard, 2009*).

Az energetikai faültetvények olyan telepített célültetvények, melyek elsődleges célja a gyors és nagy mennyiségű dendromassza-termelés és az energetikai felhasználás (*Dobos et al., 2006*). Hazánkban ez idáig több mint 4000 ha energetikai célú fás szárú ültetvény került telepítésre. Mivel szinte minden tekintetben újszerűnek ítélhetjük meg ezt a termesztés technológiát, így rengeteg kutatás indult útjára (*Heil et al., 2010*).

Az energetikai ültetvényeken többnyire két fafajjal találkozhatunk rendszeresen: az északi országokban a fehér fűzzel és fajtáival, míg Közép-, Dél- és Kelet-Európában - így Magyarországon is - a fekete nyárból levezetett nemes nyár fajtákkal, melyek nagyobb növedéket produkálnak, így gyakrabban alkalmazzák (*Kovács et al., 2011*).

A feltételezések szerint Magyarországon a fás növények nagyobb mennyiségű biomassza produkciójának limitáló faktora a talaj tápanyag-ellátottsága, illetve a csapadék (*Dobos et al., 2006*). A rövid vágásfordulójú faültetvények tápanyag-utánpótlás igénye

termőhelytől függően jelentős eltéréseket mutathat. Ez abból adódik, hogy 2-3 évente nagy mennyiségű fatömeg - ásványi anyagokkal együtt - kerül kitermelésre az adott területről, így a felvett tápelemeket a kívánt hozam elérése érdekében pótolni kell (*Marosvölgyi, 2010*). A tápanyag-utánpótlásnak számos módja ismert, ezek alkalmazása elsősorban a termőhelyi adottságoktól, a növényfajoktól és a termesztéstechnológiától függnek.

1.2. A kutatás célkitűzései

Hosszú távú kutatásunkban vizsgáljuk egy energetikai célú faültetvények létesítésének technológiai lépéseit, megmaradási eredményességét, hozamát, tápanyag-ellátottságát, majd a szükséges tápanyag-utánpótlás technológiai lépéseit, illetve hatását a talajra és a növényzetre. Célunk, hogy a kutatási eredmények felhasználásával, elemzésével meghatározzuk a gyakorlatban alkalmazható természetes anyagokkal történő tápanyag-utánpótlás technológiáját, és felmérjük a hozamra gyakorolt hatását.

A kutatási célkitűzések megfogalmazását követően az alábbi hipotéziseket fogalmaztam meg:

H1: Az alkalmazott nemesnyár és fűz klónok eltérő termőhelyi igényekkel és tűrőképességgel rendelkeznek és eltérő növekedésűek. Hazánkban várhatóan a déli származású, új nemesnyár klónok hozama lesz magasabb.

H2: Az ültetvényekben alkalmazott klónok gyors növekedésük mellett nagy mennyiségű tápanyagot építenek be a biomasszájukba, ezért tápanyag-utánpótlás esetén többletnövedékkel reagálnak.

H3: Az intenzív növekedés nagy levélfelület-képzéssel párosul, melynek mértéke összefügg a biomassza hozamokkal.

H4: A fatömeg szoros számszerűsíthető összefüggésben van a magassággal, tőátmérővel és mellmagassági átmérővel, így függvények készíthetőek.

H5: Az egyes faegyedek növekedése rövid időn belül reagál a megváltozott növőtérre: nagyobb növőtér esetén az egyedek biomassza hozama szignifikánsan magasabb lesz.

H6: A tápanyag-utánpótlással bevitt többlet tápanyagoknak hatása van az ültetvények gazdaságosságára az elérhető biomassza többletnek köszönhetően.

H7: Kísérletünk alapján gyakorlati módszertani előírást tudunk megfogalmazni a fászárú energetikai ültetvények tápanyag-utánpótlási technológiájára.

Amennyiben a fent vázolt célok teljesülnek, a hipotézisek bizonyítást vagy cáfolatot nyernek, dolgozatom bővítheti a fás szárú energetikai ültetvények és azok tápanyag-utánpótlásának témakörében ez idáig szerzett ismereteket, tapasztalatokat.

2. TÉMA SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉSE

2.1. A megújuló energiaforrások jelentősége

Az országok gazdasági stabilitása erősen függ az energiaellátásuktól, mely a csökkenő tartalékok miatt egyre bizonytalanabb, valamint kihat az egész társadalomra. Ezért szükséges környezetvédelmi és gazdasági szempontból is, hogy minél nagyobb mértékben felváltsuk a fosszilis energiahordozók hasznosítását megújuló energiaforrásból származó energiára (*Barkóczy, 2009*).

Mint Európai Uniós tagállam, Magyarországra is kötelező az a célkitűzés, mely szerint 2020-ig növelni kell a megújuló energiaforrásokból előállított energia arányát. Hazánk 13%-ot vállalt kezdetben, azonban a jóváhagyott *Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve 2010-2020* szerint a magyar kormány egy még ambiciózusabb célt határozott meg, 14,65%-ot, továbbá a megújuló energiaforrások felhasználását 186,3 PJ/év mértékben határozta meg. A 2010-re kitűzött 3,6%-os növekedést már 2007-ben elértük, elsősorban a biomassza felhasználás növelésével (*Geist – Havas, 2011*).

A felhasznált megújuló energiák megoszlását az *1. táblázat* mutatja be. Ebből a biomassza 130,8 PJ-t tesz ki, mely az összes megújuló energiaforrások 70%-a (*Vágvölgyi, 2013*).

Megújuló energia felhasználása	Mértékegység	2001	2008	2020
Bioüzemanyag	PJ	0	6.9	19.6
Vízenergia	PJ	0.67	0.75	0.9
Szélenergia	PJ	0	0.74	6.2
Napenergia (napelem és napkolleltor)	PJ	0.06	0.16	1.7
Geotermikus energia	PJ	3.6	3.6	11.4
Biomassza	PJ	30.6	50	130.8
Biogáz és biometán	PJ	0.13	0.91	12.6
Hulladék megújuló energia része	PJ	n.a.	1.94	3.3
Összesen	PJ	n.a.	65	186.3
Összesen (bioüzemanyag nélkül)	PJ	n.a.	58.1	166.7

1. táblázat: A megújuló energia felhasználása Magyarországon 2008-2020-ra vonatkoztatva (n.a. – nincs adat) (Vágvölgyi, 2013. alapján)

Az átfogó nemzetgazdasági célkitűzések elérésének biztosításához kiemelt kormányzati törekvésként jelenik meg az *Új Széchenyi Terv* (2011) Zöldgazdaság-fejlesztési Programjában a mező- és erdőgazdasági eredetű megújuló energiaforrások hatékony felhasználásának növelése, a hazai energiaellátás biztonságának fokozása és forrásainak diverzifikálása. Ezen felül fontos szempont a mezőgazdasági termelés jövedelmezősége érdekében a fenntartható

fejlődés, illetve a fosszilis energiaforrások kiváltása a környezet- és természetvédelem nézőpontjainak figyelembevételével.
Hazánk adottságainak szem előtt tartásával a megújuló energiaforrásokon belül meghatározó lehet a biomassza szerepe. A potenciális alapanyag-kör relatív széles, az alábbi fontosabb kategóriákra bontható:

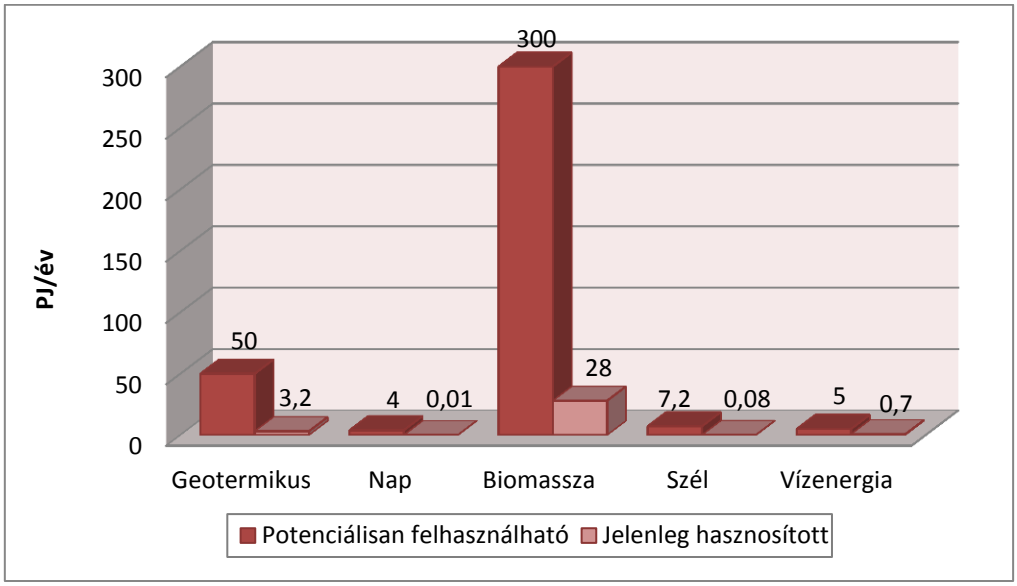
- erdészeti forrású biomassza;
- célirányosan termelt energianövények (lágy és fás szárú energiaültetvények);
- mezőgazdasági melléktermékek és hulladékok;
- egyéb melléktermékek és hulladékok.

Nemzetközi szinten már számos példát találunk energetikai célú faültetvények létesítésére (Svédország, Németország, Nagy-Britannia, Horvátország, Szerbia, Montenegró, Finnország). Hazánkban 2003-2004-ben egy év alatt mintegy 50%-kal növekedett a dendromassza alapú energiatermelés alapanyag igénye, beleértve a lakossági és ipari energiatermelés nyersanyag igényét (*Barkóczy-Ivelics, 2008*).
Az energetikai célú rövid vágásfordulójú faültetvényen megtermelt biomassza megújuló illetve megújítható energiahordozó. Előnye, hogy hatására az élőhely értéke javul, csökkennek a káros anyag emissziók, csökkentheti a föld klímájában várhatóan bekövetkező változásokat, csökkenthető az országok importfüggősége, az ország területén viszonylag egyenletes eloszlást mutat, elhelyezhető optimális szállítási távolságon belül, munkalehetőséget teremt, valamint hozzájárul az EU unió biomassza akciótervének megvalósulásához.
A technológiai ismeretek hiányában a közvélemény az ültetvények olyan hátrányait tarja számon, mint a faanyag biológiai tulajdonságai miatt szezonálisan áll rendelkezésre, változó nedvességtartalma miatt nehezebb a hatékony felhasználása, a fosszilis energiahordozókhoz képest nagyobb mennyiséget kell kezelni és begyűjteni az alacsonyabb energiasűrűség miatt *(Barkóczy-Ivelics, 2008).*

2.2. A biomassza-hasznosítás helyzete Magyarországon

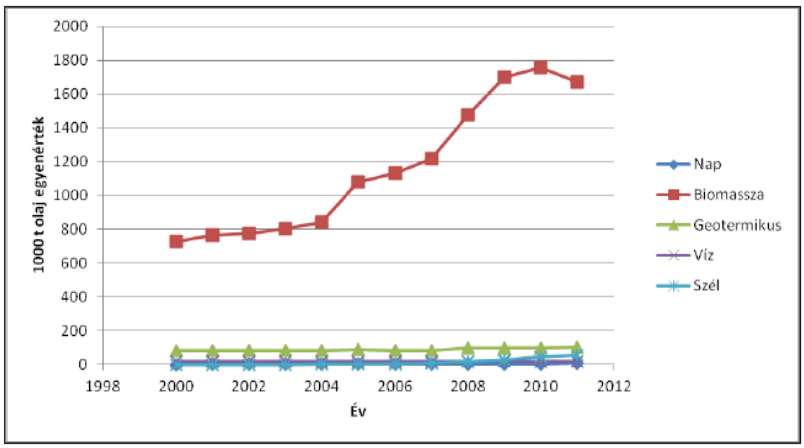
Ma Magyarországon a megújuló energiaforrások részaránya az összes energiafelhasználásban megközelítette a 10%-ot (*URL 1.*). Az energiapolitika ennek a megháromszorozását tűzte ki célul 2020-ra. Hazánk földrajzi fekvésénél fogva, természeti adottságainak köszönhetően a megújuló energiaforrásokat tekintve kedvező helyzetben van. A

különféle megújuló energiaforrások hasznosításának lehetőségei függnek a forrás mennyiségétől, a rendelkezésre állás gyakoriságától (*1. ábra*), a tárolhatóságtól és a hasznosítás gazdaságossági feltételeitől (*Barkóczy, 2009*).



1. ábra: Potenciálisan felhasználható, valamint ténylegesen hasznosított megújuló energiaformák Magyarországon (elméleti lehetőség) (Barkóczy, 2009. alapján)

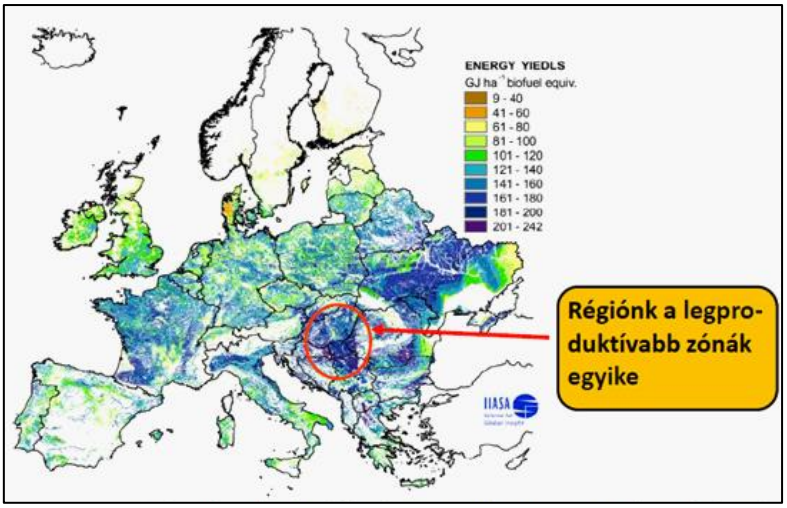
Hazánk az elmúlt években kiemelkedő növekedést ért el biomassza termelés tekintetében (*2. ábra*). A megújuló energiatermelés növekedési üteme számunkra nagy fontosságú, azonban az Európai Unióhoz képest jóval elmarad, mondhatni stagnál. Az energiahatékonysági programoknak köszönhetően várhatóan 2030-ra további jelentős növekedés mutatkozik majd a megújulók tekintetében, így az ország primerenergia-felhasználása nem haladja majd meg 1150 PJ/év szintet (*Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2012*).



2. ábra: A megújuló energiahordozók elsődleges termelésének alakulása Magyarországon, 2000-2011 (Vágvölgyi, 2013)

Agrárpolitikai cél, hogy az új zöldenergia iparág kiépítése egyértelműen pozitív hatású legyen a mezőgazdaságra, illetve a vidékre vonatkozóan. Vagyis az elérhető haszon jelentős hányada ne vándoroljon ki a mezőgazdasági/erdőgazdálkodási szektorból, a vidéki szereplőknél maradjon (*Új Széchenyi Terv, 2011*). Ezért a 2011. január 6-án elfogadott Nemzeti Cselekvési Terv szerint a kormány a rendelkezésére álló eszközökkel nemcsak az alapanyag-termelést, hanem azok termelők által történő elsődleges feldolgozását, a helyben történő felhasználást is ösztönözni kívánja. Emellett kiemelten fontos a helyi, lokális megoldások terjesztése, fejlesztése. A helyi, költségtakarékos, optimalizált megoldások alkalmazásával, a környezetbarát energiahordozók vidéki térségekben való elterjesztésével és a helyben történő feldolgozással elősegíthető a felhasználás növelése és az energiafüggőség csökkentése (*Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Terve, 2011).*

Napjainkban az energiagazdálkodás kérdésében jelentős hangsúly kerül a nagy léptékű kombinált alapanyagú (pl. fa+szén) tüzelés kiváltására tisztán megújuló energiaforrásokból. Ezen belül kapnak fontos helyet a második generációs (élelmezésben nem hasznosított) energetikai rendeltetésű ültetvényekről származó lágy- és fás szárú alapanyagok.
Hazánk biomassza alapú zöldenergia termelési potenciálja kiemelkedőnek számít európai összehasonlításban, melyet a *3. ábra* szemléltet. (*Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2012*).



3. ábra: Második generációs energianövények potenciális energiahozamai Európában (Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2012)

A növekvő megújuló energia igény kielégítéséhez 2020-ig becslések szerint évi 7,8 – 8 millió tonna biomassza szükséges. Ennek előteremtéséhez a jelenlegi erdőállományok mellett új erdőtelepítésekre, illetve az ezekből kikerülő tűzifára, apadékra, mezőgazdasági

melléktermékekre, lágyszárú energetikai kultúrákra és fás szárú energiaültetvényekre kell támaszkodni (*Új Széchenyi Terv, 2011*). Ennek a mennyiségnek a jelentős része Magyarország állami- és magánerdőiben rendelkezésre áll (*2. táblázat*), mivel hazánkban az összes megújuló energiafelhasználás 72,5%-át a tűzifa jelenti (*Barkóczy, 2009*). Jelenleg évente 2,5-3 millió tonna erdei fát hasznosítunk erőművi és lakossági energiatermelésre (*URL 2.*).

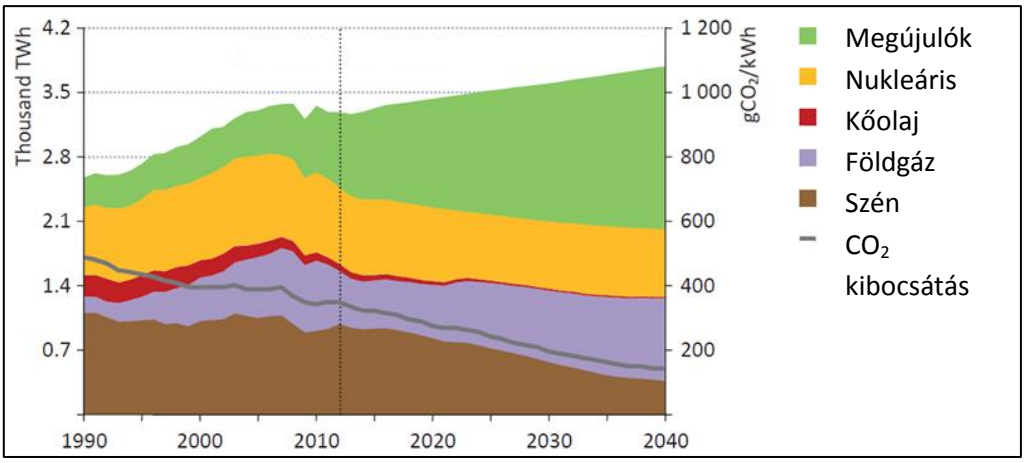
	Hazai nyersanyag mennyisége (2013.)	Importált nyersanyag mennyisége (2013.)
Fa alapú biomassza közvetlen energia-előállítási célú felhasználása (fakitermelés)	3,5 M m^3 tűzifa, 5 000 t pellet,2 000 t brikett	78 000 m^3 tűzifa, 15 000 t pellet, egyéb tömörítvények
Fa alapú biomassza közvetett felhasználása (hulladék, melléktermék)	65 000 m^3 energetikai célú faipari hulladék	240 000 m^3 energetikai célú faipari hulladék
Rövid vágásfordulójú energiaültetvények	3 398 m^3 nyár és fűz	
Összes energiatartalom	656,3 ktoe	89,5 ktoe

2. táblázat: Fa alapú biomasszából származó energia (ktoe=kilotonna olajegyenérték) (Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, 2014)

2013-ban a fa alapú biomasszából kapott teljes energiamennyiség megközelítőleg 750 ktoe volt, melynek hozzávetőlegesen 12%-a származott importált nyersanyagból. A teljes hazai primer energia felhasználás több mint 7%-át a megújuló energiaforrások fedezik, melyből 3,6%-ot a fa alapú biomassza tesz ki *(Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, 2014).*

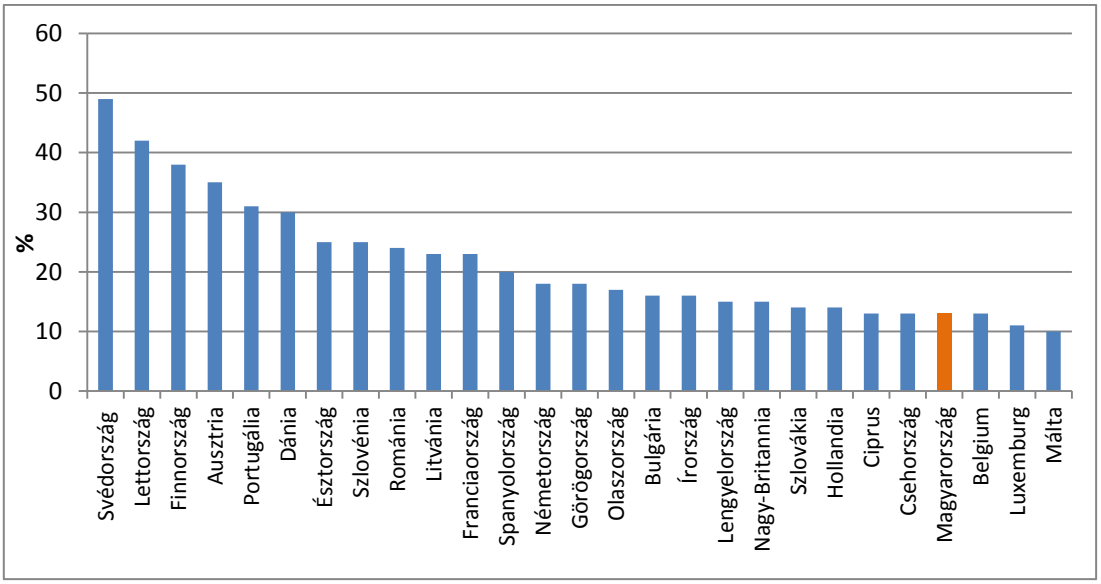
2.3. Az Európai Unió törekvései a megújuló energiahasznosítás kapcsán

Az Európai Unió a közelmúltban megfogalmazta és egyre növekvő mértékben hirdette a megújuló energiaforrások használatának előtérbe helyezésére törekvő stratégiáját (*Barkóczy, 2009*). Az EU átlagára nézve cél a bruttó végső energiafelhasználáson belül 20%-os, és ezen belül a közlekedésben 10%-os megújuló energia részarány elérése 2020-ra (*URL 3.*).



4. ábra: Az Európai Unió villamosenergia-termelésének forrásai és az ehhez kapcsolódó CO_2 kibocsátás (URL 4.)

A jelenlegi energia felhasználás (*4. ábra*) elemzése alapján az Európai Tanács 2007-ben igen nagyratörő energia- és éghajlat-politikai célkitűzéseket hirdetett meg: 2020-ig az üvegházhatású gázok emissziójának 20%-os csökkentését, a megújuló energiaforrások alkalmazásának 20%-ra való emelését, valamint az energiahatékonyság 20%-os javítását (*Nemzeti Fejlesztési Minisztérium, 2012*). 2010-es adatok alapján az EU a megújuló energiahordozók alkalmazásából 12,4%-ot teljesített (*URL 5.*). Prognózisok szerint az Európai Unió túl fogja teljesíteni célkitűzését, valamint - ahogy azt az *5. ábra* is szemlélteti - Magyarország is némiképp túllépi majd vállalását (*URL 6.*).



5. ábra: Az Európai Unió tagállamaiban minimum teljesítendő megújuló energia célok 2020-ra, 2008-as EU előírások szerint (Vágvölgyi, 2013. alapján)

2.4. Nemzetközi tendenciák a megújuló energia hasznosítás terén

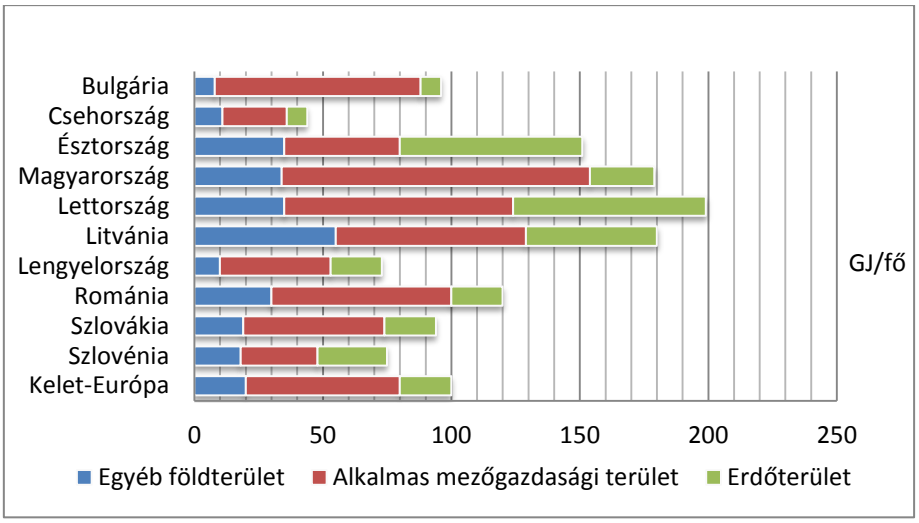
A világon ma már számos országot megemlíthetünk a rövid vágásfordulójú energetikai faültetvények létesítésével kapcsolatban. Európában elsősorban nyár, fűz, akác, nyír és éger fajokkal, fajtákkal folytatnak intenzív kísérleteket, így pl. Magyarországon, Nagy-Britanniában, Horvátországban, Olaszországban, Belgiumban, Finnországban, Szerbiában és Montenegróban. Európán kívül elsősorban az Amerikai Egyesült Államok, Mexikó, Ausztrália, Új-Zéland és néhány ázsiai ország kísérletezik fás szárú energetikai ültetvények üzemeltetésével. Ezekben az országokban a termesztett fajok között megjelenik az eukaliptusz, valamint egyéb trópusi fajok is (*Ivelics, 2006*).

Napjainkban már számos ország szenved a környezeti és gazdasági problémák erősödésétől és ébred rá a bioenergia fontosságára. A fosszilis tüzelő anyagok egy lehetséges alternatívája a biomassza, melynek jelentősége folyamatosan növekszik. A fejlett országokban a biomassza jövőbeli szerepe erős gyarapodást mutat, az utóbbi évtizedben már Kelet-Európában, Észak- és Közép-Ázsiában is megnőtt a politikai érdekeltség a megújítható energiaforrások iránt. Ennek oka a Kiotói egyezmény célkitűzéseinek teljesítése, az energiafüggőség csökkentése, a területfejlesztés és munkahelyteremtés lehetősége, valamint a versenyképesség javítása.

A lényeges kérdés az, hogy van-e lehetőség olyan mennyiségű biomassza előállítására, melynek észrevehető hatása van az energiafelhasználásra, továbbá, ez milyen biomasszával lehetséges eredményesen?

Az erdőgazdálkodás egy speciális területe érintett az ültetvényes fatermesztésben, melynek egyik fő célja a hektáronkénti fás biomassza termelés maximalizálása. Rendkívül termékeny, gyors növekedésű fajokat termesztenek, rövid vágásfordulójú monokultúrákban. Az ültetvények betakarítására először 2-3 év után kerül sor, majd 15 éves korig, 2-3 évente.

Az alábbi ábra 10 Kelet- és Közép-Európai ország bioenergia teljesítő képességének értékelését mutatja be. A potenciál 1/5-e erdőterület, 3/5-e elsődleges mezőgazdasági terület és további 1/5-e egyéb földterület (*Fischer, 2005*).



6. ábra: Potenciális bioenergia termelés Európában (Fischer, 2005)

Olaszországban javarészt a farmerek körében terjedt el a rövid vágásfordulójú erdők létesítése, amely elsősorban nemesnyár klónokkal valósul meg, és egy újfajta aratást tesz lehetővé. Az Európai Unió azzal a céllal ad támogatást ezekre az ültetvényekre, hogy bioenergia termeléssel segítsék a fosszilis tüzelőanyagok kiváltását (*Terjéki, 2014*).

2.5. Fás szárú energetikai ültetvények fogalma, csoportosítása

Nemcsak a köztudatban, hanem szakmai körökben is sok félreértést okoz az energiaerdő és az energetikai faültetvények fogalmainak helytelen használata.

Az *energiaerdő* fogalom az erdőgazdálkodási művelési ágba tartozó, de speciális céllal létesített és üzemeltetett erdőt rejti magában. Az ilyen erdő a hagyományos erdők átminősítésével, vagy energiafa-termesztés céljára történő telepítéssel jön létre. Az energiaerdőre érvényesek az *Erdőtörvény* előírásai, telepítésükkor a legnagyobb hozamok elérése céljából a gyorsan növő, sarjaztatható fafajokat kell előnyben részesíteni. Az ily módon megtermelhető dendromassza mennyisége lényegesen magasabb lehet az adott termőhelyen, mint a hagyományos erdőgazdálkodási módon előállított fa esetében. Az energiaerdőben kizárólag energetikai felhasználásra szánt faanyag – tűzifa és fa apríték – termelése folyik (*Borovics et al., 2013*).

Az *energetikai faültetvények* a mezőgazdasági művelési ágba sorolandó, energetikai felhasználású faanyag termesztésére létesített célültetvények, melyeken viszonylag gyorsan és nagy mennyiségű dendromassza termeszthető, kimondottan energiatermelés céljára. Az energetikai faültetvényre nem érvényesek az *Erdőtörvény* előírásai. Sík- vagy dombvidéken,

nagyüzemi körülmények között, a gépi betakarításra alkalmas terepviszonyok mellett létesítik. Az ilyen faültetvények jó termőképességű területeken létesülnek, olyan területen, amelyen mezőgazdasági tevékenység folyt, vagy folyhatna (*Kardos, 2012*).

Az energetikai faültetvények jog általi definiálásával, szabályozásával a *71/2007. (IV. 14.) Kormányrendelet a fás szárú energetikai ültetvényekről* rendelkezik. Eszerint fás szárú energetikai faültetvény „a külön jogszabályban meghatározott fajú, illetve fajtájú fás szárú növényekkel létesített, biológiai energiahordozó termesztését szolgáló növényi kultúra, amelynek területe az 1500 m^2-t meghaladja."

Termelési üzemmód szerint két változatot különböztetünk meg:

- *Sarjaztatásos* üzemmód esetén nagy tőszámmal (8-15 ezer db/ha) telepítenek. A kitermelést 3-5 évente végzik, a folyamat 4-5 alkalommal ismételhető. Vágásfordulója a jogszabályban foglaltak alapján nem haladhatja meg az 5 évet.
- *Hengeres* üzemmódnál a telepítési tőszám fele az előzőekben leírtaknak, a vágásforduló hosszabb (8-15 év), de a 15 évet nem haladhatja meg (*71/2007. (IV. 14.) Korm. rendelet*).

A két bemutatott technológia közül állami támogatást csak a jövedelmezőbb sarjaztatásos módozat esetében lehetett korábban igényelni (*Szajkó, 2009*), 2016 tavaszán viszont éppen a hengeres faültetvények EU-s támogatásának kiírása várható.

Csoportosíthatjuk az energetikai faültetvényeket a vágásforduló hossza szerint is:

- mini (1-5 év)
- midi (5-10 év)
- rövid (10-15 év)
- közepes (15-20 év)
- hosszú (20-25 év) (*Ivelics, 2006*).

Az energetikai ültetvényekben különféle energianövények termeszthetőek. Ezeknek pontos összefoglalását a *3. táblázat* mutatja be. A táblázat olyan fajokat is tartalmaz, amelyek EU szabályozás szerint alkalmazhatóak, azonban a jelenlegi magyar jogszabály nem engedélyezi azokat.

<table>
<tr><td colspan="8">Energianövények</td></tr>
<tr><td colspan="6">Fás szárúak</td><td colspan="2">Lágyszárúak</td></tr>
<tr><td>Energiaerdő</td><td colspan="5">Faültetvények</td><td>Egynyári</td><td>Évelő</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Fa-alakúak</td><td colspan="4">Fa-alakúak</td><td colspan="2">Cserjefélék</td><td>Kender</td><td>Nád</td></tr>
<tr><td>Nyárfélék</td><td>Fűzfélék</td><td>Akác</td><td>Egyéb</td><td>Fűzfélék</td><td>Egyéb</td><td>Tritikálé</td><td>Energiafű</td></tr>
<tr><td>Nyárfajok</td><td>Fűz fajok</td><td>Akác</td><td>Bálványfa</td><td>Fűz fajok</td><td>Gyalog-akác</td><td>Repce</td><td>Kínai nád</td></tr>
<tr><td>Nyár klónok</td><td>Fűz klónok</td><td>Akác fajták</td><td>Császárfa és egyéb</td><td>Fűz klónok</td><td>Egyéb</td><td>Egyéb</td><td>Egyéb</td></tr>
</table>

3. táblázat: Az energianövények csoportosítása (Ivelics, 2005)

2.6. Fás szárú energetikai ültetvények hazai alkalmazása

2.6.1. Agrárpolitikai és társadalmi célok

Agrárpolitikai cél elsősorban a rosszabb minőségű területeken való eredményes gazdálkodás biztosítása, a biztonságos élelmiszerellátás, energetikai hasznosítás sorrendjének alapszabályként történő figyelembevételével; hiszen a jó minőségű termőföldön megvan a potenciál az egészséges élelmiszeralapanyag-előállításra, a kevésbé termékeny földterületek pedig kiváló lehetőséget teremtenek az alternatív energianövény-termesztésre. Az energiatermelésbe ezért elsősorban a más módon gazdaságosan nem hasznosítható homokos, belvizes és árterületeket, rekultivációra kijelölt területeket, utak melletti védősávokat stb. vonnak be, fás szárú, gyorsan növő energiaültetvények telepítésével.

A különféle fás szárú energianövények a „hagyományos” élelmiszernövényekhez képest sokszor szélesebb tolerancia-spektrummal rendelkeznek, és bizonyos feltételek teljesülése mellett a kedvezőtlenebb termőhelyi adottságú területeken is rentábilis gazdálkodást biztosíthatnak, pozitív gazdasági, társadalmi és energetikai hatásokat eredményezve (*Szabó, 2012*). A siker kulcsa a termőhelyi és piaci adottságokhoz optimális kultúra megválasztása.

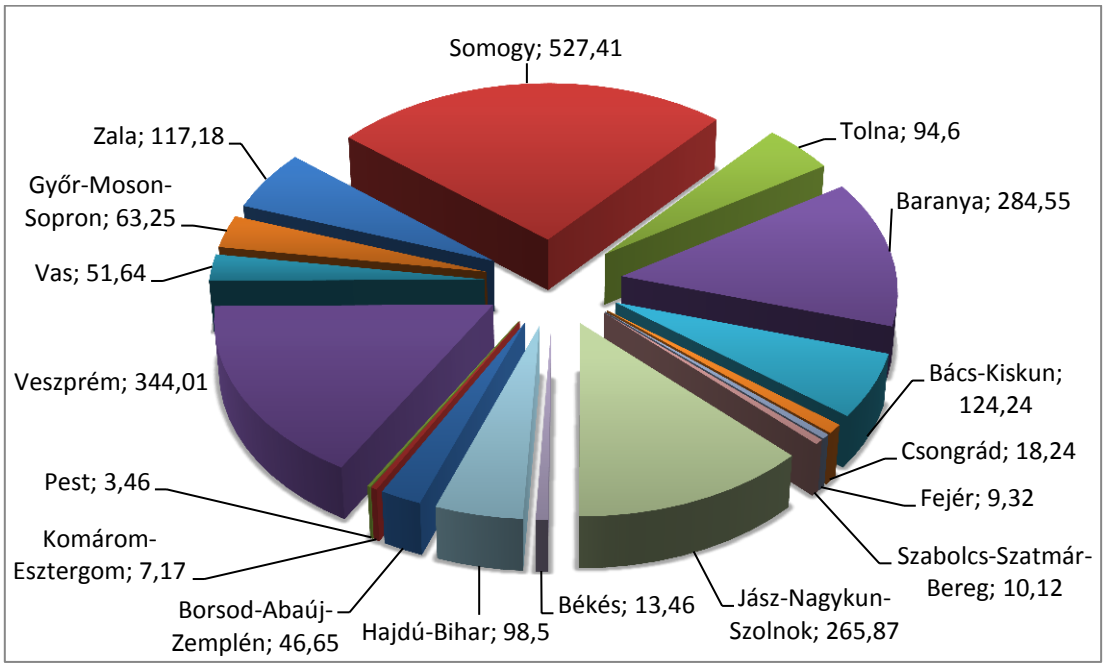
A fás szárú energiaültetvények telepítése bővíti az energetikai biomassza kínálatot, mely növeli az erdészeti forrású biomassza választékot. Az új kultúrák lehetőséget teremthetnek az ésszerű, termőhelyi feltételeknek jobban megfelelő terület-használatra (*Magyarország megújuló energia hasznosítási cselekvési terve, 2011*).

Az ilyen típusú ültetvények további előnyei, hogy a megfelelő növőtérrel telepített faegyedek korai fahozama lényegesen meghaladja a hagyományos fatermesztés hozamait, az ültetvény a felhasználási hely közelében létesíthető, így csökken a szállítás költsége, a mezőgazdasági termelésből átmenetileg kivont területek jól hasznosíthatóak. Növeli a foglalkoztatottságot, a

privát tőke és munkaerő energiatermelésben történő hasznosítását teszi lehetővé. A helyi (lakóházi, közösségi) energiaellátást olcsóbbá teheti, csökkenti a fosszilis energiahordozók felhasználásának mértékét. Az ültetvények a termesztési szakaszban növelik a terület biológiai értékét, a mikro- és makrofauna élőhelyéül szolgálhat (*Marosvölgyi, 1990*).
Fontos tehát megjegyezni, hogy az energetikai faültetvények nem jelentenek konkurenciát az erdőgazdálkodás faanyag melléktermékeinek piaca számára, hanem szélesebb felhasználói háttér kialakulását teszik lehetővé (*Marosvölgyi, 1999*).

A ’90-es évek közepétől több hazai kutatóintézet és egyetem is ültetvények telepítésébe kezdett, üzemi kísérletek beállítása céljából. Még nagyobb léptékű volt a telepítés az erőművek közelében, hiszen azok tüzelőanyag igénye komoly bevételi forrást jelentett a fapiacon. Az ültetvények jogi szabályozásában, definíciójában, elnevezésében, termesztési feltételeiben ekkor még sok bizonytalanság mutatkozott (*Bai, 2002*).
2006-ban még csak 300 ha-on folyt fás szárú energianövény termesztés Magyarországon. A 2007-es év fordulata - mikor is jogszabályi változások történtek - lehetővé tette, hogy a rövid vágásfordulójú energiaültetvények mezőgazdasági területen való termesztése állami támogatásra jogosult legyen. Ezen változtatásnak köszönhetően a Mezőgazdasági és Vidékfejlesztési Hivatal nyilvántartása szerint 2010 szeptemberéig 6456 hektárra nőtt a tervezett fás szárú energiaültetvények területe (*Gockler, 2010*).
A faanyag iránti igény növekedésének következtében az ’50-es évben megindultak a nemesítési munkálatok, főként nemesnyárakkal. Az energetikai faültetvények telepítése a *71/2007. (IV. 14.)* -es Kormányrendeletnek köszönhetően ma már szabályozott keretek között történik, melyeket a NÉBIH Megyei Kormányhivatalok Erdészeti Igazgatóságai felügyelnek. A rendelet megjelenésétől már azt is célzottabban kezdték vizsgálni, hogy melyek a legalkalmasabb technológiai eszközök az ültetvények telepítésére, ápolására, betakarítására. Napjainkban, hazánkban megközelítőleg 4000 ha-nál is nagyobb területen találhatóak rövid vágásfordulójú fás szárú energetikai ültetvények, hengeres ültetvények pedig mintegy 7000 ha területet borítanak (utóbbiak nem szántó művelési ágban létesültek). Ezek a számok a közeljövőben jelentősen növekedhetnek a zöldítési program jóvoltából, amennyiben a rövid vágásfordulójú energetikai faültetvények is bevonásra kerülnek az alkalmazható kultúrák közé. Becslések szerint ezzel akár 60-80.000 ha-ra is emelkedhetne az energiaültetvények területe Magyarországon (*Kovács et al., 2014*).

Az engedélyezett fás szárú ültetvények területének megoszlása jelentős eltéréseket mutat hazánkban, ezeket a *7. ábra* szemlélteti. Összterületét tekintve a legnagyobb ültetvényeket Somogy, Veszprém és Baranya megyében telepítik. Ezen megyékben a különböző nyárfajok, míg Tolna, Bács- Kiskun és Hajdú-Bihar megyében a fűz, Zala és Jász-Nagykun-Szolnok megyében pedig az akác dominál. Az engedélyezett fás szárú energetikai ültetvények szinte teljesen mértékben rövid vágásfordulójú, sarjaztatásos technológiával tervezettek (*Németh, 2011*).



7. ábra: Fás szárú energetikai faültetvények területet megyék szerinti megoszlása hektárban, 2012 (Vágvölgyi, 2013 alapján saját szerkesztés)

2.6.2. Az energiaültetvények gazdasági haszna

A fás szárú energiaültetvények mezőgazdasági kultúrákhoz viszonyítva közepes időtávlatban (5-15 év) olyan mértékű bevételt jelenthetnek a termelőknek, ami hozzájárul a magyar GDP 3-4%-át adó mező- és erdőgazdálkodási szektorok további erősödéséhez (*URL 7.*).

Közvetlen gazdasági hasznuk abban rejlik, hogy a már rendelkezésre álló nagy hozamú fajtákkal és hatékony technológiákkal 1.000 Ft/GJ körüli áron elő lehet állítani az eltüzelésre alkalmas fás biomasszát. Összehasonlításként, 2008-ban a kőszén ára 800-1.000 Ft/GJ, a földgázé ~2.400 Ft/GJ, a tartályos gázé pedig ~5.000 Ft/GJ volt (*URL 8.*). Gazdálkodók elbeszélése alapján, napjainkban a nem megújuló energiák árának nemzetközi összefogással való csökkentése nem kedvező a megújuló energiahordozók számára.

Közvetett gazdasági hasznot olyan esetben érnénk el, ha a hazai munkaerővel és főként hazai alapanyagokból évi 180-200 milliárd forint termelési értéket lehetne előállítani az élelmiszertermelésbe nem bevont 1 millió hektár mezőgazdasági területen. Ebből az összegből körülbelül 50 milliárd forint bevétele származna az államnak adók és járulékok formájában, továbbá évente átlagosan 40 ezer munkavállalót lehetne állandóan, vagy időszakosan foglalkoztatni. Ezzel jelentősen csökkenne a munkanélküliség hazánkban, mely további állami költségek csökkentéséhez járulna hozzá, mivel a segélyezésre fordított kiadások az értéktermelésre helyeződnének át (*URL 9.*).

2.6.3. Alkalmazott fajok, termőhelyi tényezők

Energetikai célú faültetvényeket – az erdőtelepítések ökológiai kritériumaihoz hasonlóan – jó termőhelyeken ajánlatos telepíteni. Ezen területeken többnyire mezőgazdasági tevékenységet folytattak, azonban az egyes mezőgazdasági termékek iránti kereslet csökkenésével, illetve a biztonságos termelés kockázatának növekedésével (időszakos elöntések, árvízkárok, aszályok, stb.) a hasznosítás egy új formájaként a dendromassza termelést kezdték alkalmazni (*Rédei, 2014*). Számos esetben a mezőgazdasági termelés számára kedvezőtlenebb termőhelyek a fatermesztésre sokkal jobban alkalmazhatóak.

A hazai fás szárú energetikai ültetényekre jellemző, hogy a telepítés nagy tőszámmal (8-15 ezer db/ha) történik, a vágás 2-4 évente, 5-6 alkalommal kerül ismétlésre (*Németh, 2011*).

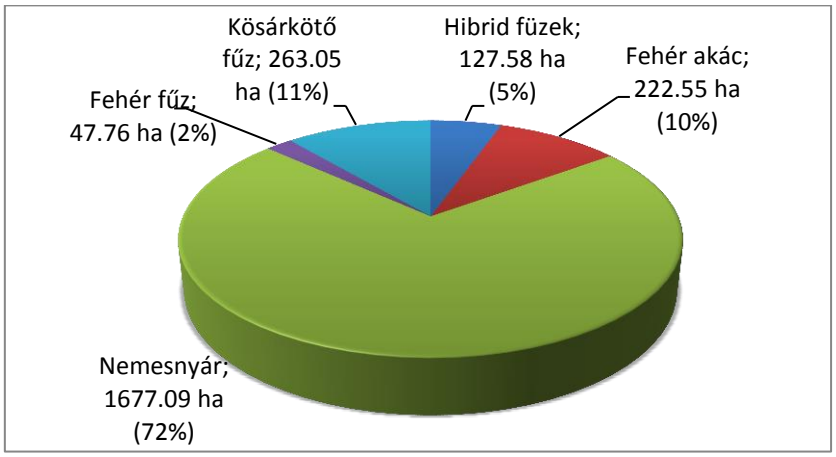
Az energetikai faültetvények esetén alkalmazott fafajokkal szemben fontos elvárás, hogy azok gyors fiatalkori növekedést és kiváló sarjadzó képességet mutassanak. Ezeken túlmenően legyenek ellenállóak a károsítókkal szemben, faanyaguk jó tüzeléstechnikai tulajdonságokkal bírjon, valamint feleljenek meg a környezet- és természetvédelmi szempontoknak (*Rédei et al., 2009*).

A szaporítóanyagok piacán a magyar nemesítések mellett a magas hozamok reményében megjelentek külföldről behozott fajták (olasz nemesnyár, svéd és lengyel fűz). Azonban hazai szakirodalmak (*Borovics, 2009*) is figyelmeztetnek, hogy ezek a fajták a hazai körülmények között nem minden esetben hozzák meg a várt eredményt (*URL 10.*). Az Erdészeti Tudományos Intézet, felismerve a téma fontosságát, olyan faenergetikai klónokat nemesített, amelyek már versenyképesebbek az import klónokkal szemben (*Marosvölgyi, 2010*).

Az alkalmazható fajok rendeletben szabályozottak. Fás szárú energetikai ültetvény telepítéséhez csak engedéllyel rendelkező termelő által előállított, minősítésnek alávetett

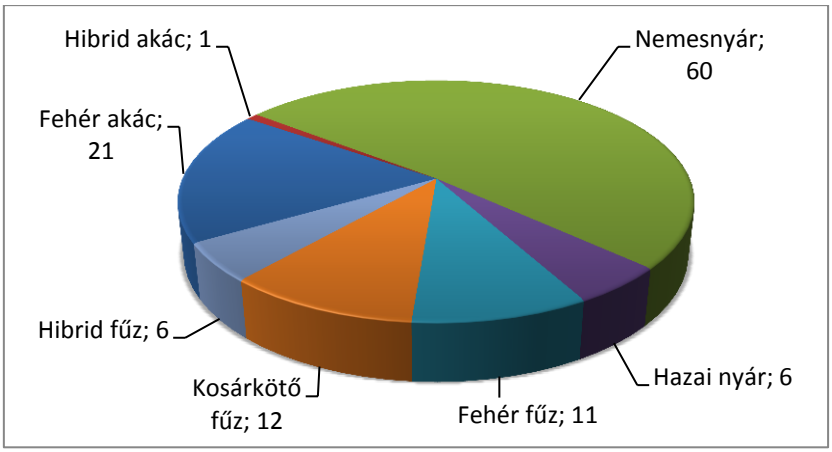
szaporítóanyag használható fel, valamint a *45/2007. (VI. 11.)* FVM rendelet (a fás szárú energetikai ültetvények telepítésének engedélyezése, telepítése, művelése és megszüntetése részletes szabályairól, valamint ezen eljárások igazgatási szolgáltatási díjáról) kimondja, hogy sarjaztatásos típusú fás szárú energetikai ültetvények csakis fekete nyár, fehér nyár, rezgő nyár, szürke nyár, fehér fűz, kosárkötő fűz és fehér akác fajokból, illetve a belőlük levezethető fajtákból létesíthetőek (*Szajkó, 2009*). Ezek mellett kísérleti jelleggel létesültek már zöldjuhar, bálványfa, ezüstfa, pusztaszil, kínai császárfa ültetvények is (*Kardos, 2012*).

A NÉBIH Erdészeti Igazgatóságának adatai alapján az energetikai faültetvények területe Magyarországon 2338,03 ha volt 2012-ben (*URL 11.*). A *71/2007 (IV.14)* Kormányrendelet szerint az ilyen faültetvények létesítésének és a telepítés befejezésének is bejelentési kötelezettsége van, azonban néhány gazdálkodó elmulasztja bejelenteni azt, így a tényleges terület adatok hazánkban ennél jóval magasabbak lehetnek. Az ültetvények által elfoglalt terület fafaj megoszlását a *8. ábra* mutatja be. A fajok megnevezése alatt az általuk elfoglalt, hektárban mért terület nagysága látható.



8. ábra: Az energetikai ültetvények fafaj megoszlása Magyarországon, 2012 (URL 11. alapján)

Hazánkban összesen 117 erdészeti és energetikai, illetve kizárólag energetikai céllal bejelentett nyár, fűz és akác fajtát tartanak számon (*URL 11.*). A nyilvántartott fajok fajtaszám szerinti megoszlását szemlélteti a *9. ábra*.



9. ábra: Magyarországon nyilvántartott nyár, fűz, és akác fajták száma (db) (URL 11. alapján)

Az akác, a fűz és a nyárak termőhelyi igényük alapján elkülönülnek egymástól (*10. ábra*). A jogszabály alapján, az energetikai felhasználásra potenciális fűz fajták választékát a fehér fűz *(Salix alba)* és kosárkötő fűz *(Salix viminalis)* fajták, valamint utóbbinak egyéb fűz fajokkal keresztezett hibridjei alkotják. A mész- és melegkedvelő fehér fűz a jó vízellátottságú, laza öntéstalajokat részesíti előnyben, a tartós elárasztást is jól tűri, amennyiben a víz oxigénben gazdag. A tartós aszályt csak abban az esetben viseli el, ha gyökere eléri a talajvizet.

A szintén vízigényes és mészkedvelő kosárkötő fűz, az időszakosan vízzel borított, tápanyagban gazdag, hordaléktalajokon érzi jól magát. Energetikai célból való telepítése legalább időszakos vízhatású termőhelyen javasolt. „Az ország hidrológiai adottságában bekövetkezett kedvezőtlen változás miatt hullámtéren kívül nagyobb, összefüggő fűz termesztésére alkalmas terület alig található.” (*Rédei et al., 2009*).

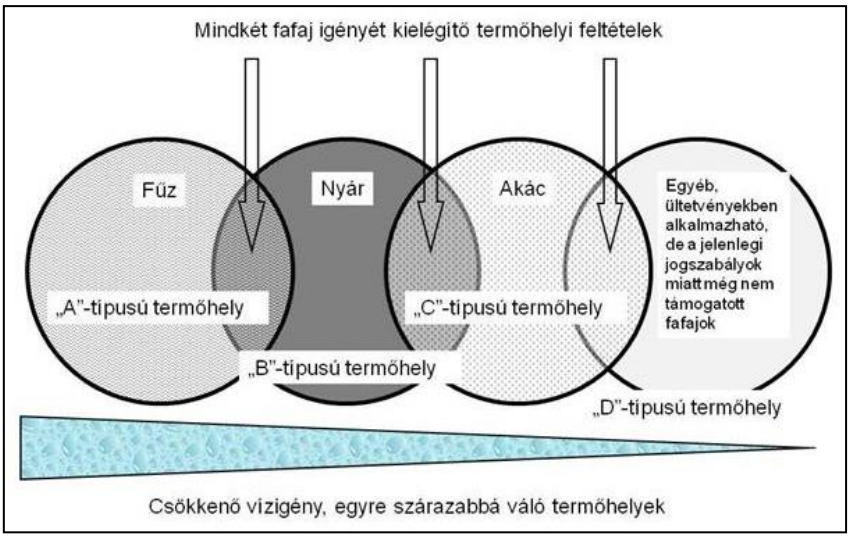
A biomassza nyerés céljából telepített fás szárú növények közül, megfelelő talajadottságok mellett, a füzek produktuma bizonyult a legmagasabbnak, illetve az eddigi tapasztalatok alapján ezek élettartama mondható a leghosszabbnak (*URL 12.*).

Kedvezőtlenebb tulajdonságokkal rendelkező termőhelyen rövid vágásfordulójú faültetvény létesítésére a fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) az egyik legígéretesebb fafaj. Az akác a leggyengébb és legszárazabb termőhelyeket is jól tűri, főként az erodált talajú hegy- és dombvidéki területeket kedveli (*Bárány – Csiha, 2007; Kovács et al., 2014*). Jó újuló képességekkel rendelkezik, mind tuskó és tősarjról. A száraz, többletvíztől mentes, alacsony szerves anyag tartalmú területeken érdemes ezzel a fajjal tervezni a telepítést, magas fényigénye miatt kiemelten fontos a megfelelő telepítési hálózat kialakítása (*Csiha et al.*,

2011). Kísérletben 6667 törzs/ha állománysűrűség mellett, 3-7 éves kor között 2,9–9,7 at/ha/év átlagnövedék elérésére képes számos termőhelyen (*Rédei et al., 2011*). Egyéb ültetvényeken alkalmazható fafajok képesek az akácnál szélsőségesebb körülményeket is elviselni, de ezek telepítési támogatását a *72/2007. (VII.27.) FVM rendelet* az Európai Mezőgazdasági Vidékfejlesztési Alapból a rövid vágásfordulójú fás szárú energiaültetvények telepítéséhez nyújtott támogatás igénybevételének részletes feltételeiről jelenleg még nem engedélyezi.

A nyárak fény-, meleg-, talajlevegő- és vízigényes fafajok, jó vízellátottságú, vastagabb termőrétegű talajokon várható nagyobb hozamuk. Nyártermesztésre az időszakos vízhatású területek a legmegfelelőbbek, ez kb. 150-200 cm mélyen elhelyezkedő tavaszi talajvizet vagy felszíni hozzáfolyást jelent. Az ennél vizesebb területek a nyár számára jó termőhelyeknek bizonyulnak, de a pangó vizet nem kedvelik, ilyenkor gondoskodni kell a fokozott ápolásról a megfelelő levegőzöttség biztosítása miatt. Szárazabb termőhelyen a mélyebb termőréteg nyújt segítséget a nyári aszályos időszakok elviseléséhez, ugyanez mondható el a megfelelő tápanyag-ellátottságról és a gondos ápolásról is. A talajok magas só- és – bizonyos körülmények között – mész-tartalma kizárhatja a termelésből a nyárakat (*URL 13.*). A magyarországi fajtakészletet jelenleg 23 nyárfajta alkotja. Ezek tulajdonképpen lefedik a nyárfatermesztés szempontjából potenciális termőhelyek teljes sorát (*Bárány, 2011*). 2013-as NÉBIH adatok szerint a közelmúltban nemesnyárral telepített energetikai ültetvények esetében a legnagyobb arányban olasz klónokkal (‘AF2’, ‘Monviso’) valósult meg a kivitelezés *(Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, 2013)*.

A fentiekből látható, hogy telepítés előtt fontos a terület gondos kiválasztása és részletes talajvizsgálatok elvégzése. A fafajok kiválasztását befolyásolja még az a korlátozás is, mely szerint védett és Natura 2000 területeken akác nem telepíthető, ezen esetben más fajták alkalmazása szükséges (*URL 14.*).



10. ábra: Az egyes fafajok eltérő ökológiai igényei (Kovács et al., 2010)

Léteznek olyan termőhelyek, amelyek csak néhány fafaj számára megfelelőek, és olyanok is, amelyek egyáltalán nem alkalmasak ültetvények telepítésére. Ilyenek a szikesek, a lápok, vagy a felszínig erősen köves-kavicsos váztalajok. Ültetvények telepítésére szintén nem alkalmasak a felszíntől 50 cm-en belül talajhibás talajok is.
Sok termőhely ugyan lehetőséget hordoz ültetvények létrehozására, de gyenge víz- és tápanyag-gazdálkodásuk miatt csak csekély hozamra lehet számítani. Ilyenek a futóhomok, karbonátos és vékony humuszkarbonátos talajok, valamint a ranker és erubáz talajok is *(Kovács et al., 2010).*

Azonos termőhelyi adottságok mellett a hozamot a növények genetikai adottságai határozzák meg. Ebben jelentős szerepe van a származási helynek, illetve annak ökológiai adottságainak. *Mátyás (2002)* kutatásai szerint az északról délre hozott származások vegetációs ideje rövidebb, mint a délről északra telepítetteké. A keletről nyugatra történő telepítés növedék kiesést, rosszabb törzsalakot és a gombafertőzések növekedését eredményezi. A nyugatról keletre hozott szaporítóanyagok a szárazságra érzékenyek, ami hazánk egyre szárazodó klímája miatt egyértelmű hátrányt jelent. A délről északra telepítés intenzívebb növekedést, nagyobb koronát illetve levélméretet, erőteljesebb ágfeltisztulást, viszont rosszabb törzsalakot és fagyérzékenységet eredményez. A fentiekből megállapítható, hogy fatömeg-produktum tekintetében a legkedvezőbb a délebbi származások telepítése.

Az Erdészeti Tudományos Intézet a különböző fajtákat eltérő típusú termőhelyeken is kipróbálja úgy, hogy a fajtának megfelelő technológiát is kikísérletezik. Az Intézet fél évszázada foglalkozik a nyárfajták nemesítésével és már több, mint 800 külföldi fajtával is

kísérleteztek hazánkban. A Kárpát-medence speciális termőhelyi mivoltából adódóan azonban ezekből csak egy - két tucat állta meg a helyét és 6-7 fajta, ami ténylegesen elterjedt (*URL 15.*).

2.6.4. Fás szárú energetikai ültetvények jogi és támogatási háttere

A rövid vágásfordulójú fás szárú energiaültetvényeknek korábban még nem volt sem hagyománya, sem szabályozási rendszere hazánkban. A létesítéshez és fenntartáshoz szükséges jogszabályi háttér 2007-ben született meg. Ekkor készültek a fás szárú energetikai ültetvényekkel kapcsolatos szabályok, mint a *71/2007. (IV. 14.)* Kormányrendelet, melyben általános rendelkezésekkel meghatározták a legfontosabb alapfogalmakat (*Németh, 2011*).

Fás szárú energiaültetvényt csak engedély birtokában szabad telepíteni, az engedélyezési folyamatot a *45/2007. (VI. 11.)* FVM rendelet írja le. A kérelemhez először pontos telepítési tervet kell készíteni, melyben fel kell tüntetni a kívánt fafajt, fajtát, a szaporítóanyag származását, illetve pontosan le kell írni az alkalmazásra kerülő technológiát (egyedszám, sor- és tőtávolság, telepítési és ápolási megoldások, betakarítás gyakorisága, módszere). A kérelemhez pontos területi térképet is csatolni kell, majd a dokumentumokat a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatalhoz kell benyújtani, amely érintettség esetén a természetvédelmi hatóságok szakvéleményét is kikéri. A megbízott körzeti erdőfelügyelő végül a termőhelyi és természetvédelmi szempontok alapján hoz döntést. A telepítés befejezését, vagy az ültetvény megszűnését szintén jelenteni kell, a jogszabályban lefektetett módon. A használatról munkanaplót kell vezetni (*Szajkó, 2009*).

A *45/2007. (VI. 11.)* FVM rendelet szerint a fás szárú energetikai ültetvényekben kizárólag az erdészeti szaporítóanyagokról szóló *110/2003. (X. 21.)* FVM rendelet az erdészeti szaporítóanyagokról előírásainak megfelelő, engedéllyel rendelkező termelő által előállított, minősített szaporítóanyagot lehet használni. A származásra vonatkozó nyilatkozatot nyár és fűz fajok esetében a fajtatulajdonos, akác esetében az Erdészeti Tudományos Intézet adja ki (*Németh, 2011*).

Már esett szó arról, hogy fás szárú energetikai ültetvényekben csak rendeletben meghatározott alapfajok alkalmazhatóak. Ezek a *45/2007. (VI. 11.)* FVM rendelet 1. számú melléklete alapján a következők:

- Fehér nyár *(Populus alba)*
- Fekete nyár *(Populus nigra)*
- Szürke nyár *(Populus × canescens)*

- Rezgőnyár *(Populus tremula)*
- Kosárkötő fűz *(Salix viminalis)*
- Fehér akác *(Robinia pseudoacacia)*
- Mézgás éger *(Alnus glutinosa)*
- Magas kőris *(Fraxinus excelsior)*
- Keskenylevelű kőris *(Fraxinus angustifolia)*
- Vörös tölgy *(Quercus rubra)*
- Fekete dió *(Juglans nigra)*
- Korai juhar *(Acer platanoides).*

Az energianövények termesztéséhez igénybe vehető támogatások célja az volt, hogy hozzájáruljanak a megújuló energiaforrások széleskörű elterjedéséhez és foglalkoztatási lehetőséget biztosítsanak. Fás szárú energiaültetvény esetén a telepítési támogatásokat az Európai Mezőgazdasági Vidékfejlesztési Alapból nyerték, a támogatás napjainkban nem igényelhető. A támogatás igénybevételének részletes feltételeit a *72/2007 (VII. 27.)* FVM rendelet és annak módosításai szabályozzák (*Németh, 2011*).
A sarjaztatásos típusú energiaültetvényekre *területalapú támogatás* igényelhető, emellett az Európai Unió Európai Mezőgazdasági Vidékfejlesztési Alapjából biztosított *telepítési támogatás*ok is ösztönzően hatottak (*Szajkó, 2009*). Az energetikai célból telepített növények termesztéséhez a *33/2007. (IV. 26.)* FVM rendelet alapján a területalapú támogatás mellett kiegészítő támogatás is igényelhető volt. A támogatás igénybevételének feltételeit a *134/2007. (XI. 13.)* FVM rendelet módosította. A beruházást a támogatási határozat kézhezvételétől számított 12 hónapon belül be kell fejezni, az ültetvényt fenn kell tartani legalább a telepítéstől számított 5 évig és az ültetvény hozamát a telepítéstől számított öt naptári éven belül be kell takarítani. Továbbá a 15 millió forint vagy azt meghaladó támogatási igényű kérelem esetén üzleti terv készítése kötelező. A *72/2007. (VII. 27.)* FVM rendelet kimondja, hogy a legkisebb támogatható parcella nagysága 1 ha, illetve kifizetési kérelem csak olyan táblákra nyújtható be, ahol a telepítés május 15-ig megvalósult. A támogatás nem terjed ki védett természeti, illetve NATURA 2000 területen történő telepítésre, illetve olyan területre, ahol fás szárú, vagy évelő, lágy szárú energiaültetvény, vagy ültetvény-, illetve erdőtelepítési támogatást igényeltek a kérelem benyújtását megelőző 5 éven belül az Európai Mezőgazdasági Vidékfejlesztési Alap (EMVA), az Agrár Vidékfejlesztési Operatív Program (AVOP), vagy a Nemzeti Vidékfejlesztési Terv (NVT) finanszírozásában (*URL 16.*).

Telepítési támogatás

Ezen támogatás lényeges eleme, hogy csak egyszeri, vissza nem térítendő, EU keretből finanszírozott összegre vonatkozik, melynek mértéke fafajonként eltérő. A támogatás nem csak fás szárú, hanem lágyszárú növényekre is igénybe vehető.

Korábban, ez a vissza nem térítendő telepítési támogatás a telepítési beruházás összes elszámolható kiadásának a 40%-a lehetett, de nem léphette túl akác esetén a 160.000 Ft/ha, egyéb fafajok esetén a 200.000 Ft/ha összeget. Napjainkban már, fajtától függetlenül, rövid vágásfordulójú sarjaztatásos ültetvényre nem kérhető telepítési támogatás. A közeljövőben várhatóan nemesnyár és akác hengeres ültetvényre kérhető majd ez a támogatási mód.

Az igénylő megyék közül Baranya megye volt a legaktívabb, lágy- és fás szárú ültetvényekre számos igénylést nyújtottak be. Velük ellentétben Tolna, Somogy és Fejér megyében csak fás szárúakra, Békésben és Komárom-Esztergomban pedig csak lágyszárúakra kértek támogatást.

Az ütetvény-telepítési szándékot tekintve, területileg több régió is kirajzolódott. Az egyik, a Dél-Dunántúlon tervezett és megvalósult ültetvények csoportja, itt túlnyomó részben a pécsi Pannonpower erőmű jelenti felvásárló piacot (*Szajkó, 2009*). A másik nagy felvásárló az észak-dunántúli régióban a Bakonyi Erőmű Zrt. Ezeken túl a közelmúltban több településen is átadásra kerültek biomassza erőművek, például Pannonhalmán, Tiszaújvárosban, vagy Szabadegyházán, Visontán illetve tervezés alatt állnak többet között Salgótarjánban és Kaposváron is (*URL 17.*).

Területalapú (SAPS) támogatások

A támogatáshoz elsősorban a terület művelési ágának megfelelő használatát kell biztosítani. Ez a támogatás évente ismétlődő, adott összegű kifizetést jelent, Európai Uniós forrásból (*Szajkó, 2009*). A támogatás mértékét a Vidékfejlesztési Minisztérium rendelete határozza meg, a támogatás 1 hektárnál kisebb területre nem igényelhető, ezen belül egy parcella támogatható mérete nem lehet kisebb 0,25 hektárnál. Adott terület után területalapú támogatásra a gazda csak akkor lehet jogosult, ha az adott területe már 2003. június 30-án is megfelelő mezőgazdasági állapotban volt (*URL 18.*). Támogatás erdő művelési ágban lévő területre nem igényelhető (*Szajkó, 2009*).

2.6.5. Az ültetvények jövedelmezősége

Az energetikai faültetvények tervezésénél minden esetben szükségesek gazdasági számítások (*4. táblázat*), hogy a meglévő adottságokhoz azt a technológiát és pénzügyi

megoldást tudjuk kiválasztani, amellyel maximális nyereség érhető el. Az energetikai faültetvények kialakítása során nagyon sok változó tényezővel kell számolni, tehát sok alternatív megoldás létezik. Ezek bonyolultsága, illetve a megfelelő pénzügyi megoldások megkeresése miatt az ültetvények jövedelmezőségének kiszámítása komoly gazdasági kalkulációkat igényel.

Az energetikai faültetvényekkel kapcsolatosan - rövid múltukra való tekintettel - nincsenek olyan hosszútávra visszavezethető tapasztalatok, mint a hagyományos erdőgazdálkodás terén. A jövedelmező gazdasági tevékenységhez szükséges, hogy pontos adatokkal rendelkezzük a beruházási, fenntartási, üzemeltetési költségekről, a várható bevételekről, megtérülési időről, stb. Ehhez kapcsolódik még az a tény is, hogy az energetikai faültetvényekben különböző hozamok várhatóak az évek múlásával, valamint a termesztés-technológia is több tényezőtől függ, így ez szintén különböző eredmények kialakulásához vezet. Ezek alapján elmondható, hogy már a szimplán naturális értékek felmérése, becslése is igen bonyolult feladat (*Barkóczy, 2009*).

	1. év	2. év	3. év	4. év	5. év	6. év	7. év	8. év	9. év	10. év
telepítés	350 000									
ápolás	100 000	30 000	50 000	30 000	50 000	30 000	50 000	30 000	50 000	30 000
aratás		80 000		80 000		80 000		80 000		80 000
szállítás		30 000		30 000		30 000		30 000		30 000
hozam (at)		**14**		**22**		**22**		**22**		**20**

összes hozam 10 év alatt	100 atrotonna
összes nettó költség 10 év alatt	1 350 100 Ft
nettó fajlagos önköltség	13 501 Ft/atrotonna
bruttó fajlagos önköltség	17 146 Ft/atrotonna

4. táblázat: 1 ha-os ültetvény költségei, 2012-es árak alapján, Ft/ha mértékegységben kifejezve (URL 19.)

A számításokat tovább nehezíti, hogy a gazdasági oldalon is hasonlóképp több megoldás elképzelhető. Nem mindegy, hogy örökölt saját tulajdonú, megvásárolt vagy bérelt területen termelünk. Szintén lényeges elem, hogy az invesztálás saját erőből valósul meg, vagy hitelből. Az ökonómiai számításokra az ültetvényekkel való gazdálkodás, a munkák elvégzésének minősége, választott módja is hatással van (*Babos, 1962*).

Csipkés és Nagy (2010) kutatásukban az akác, a nyár és a fűz fajokat vizsgálták szántóföldi körülmények között, 12 éves időszakra vetítve. Kísérleti eredményeik alapján megállapították, hogy a három kultúra közül a fűz volt a leginkább versenyképes, ami a

viszonylag magas hozamértéknek tudható be. A fedezeti hozzájárulás alapján is a fűz volt a legjobb értékeket produkáló. Ezt követte az akác alacsonyabb fedezeti hozzájárulás értékkel, amely fele akkora jövedelmet biztosít. Legrosszabbnak a nyár bizonyult, mert a 12 éves intervallumot vizsgálva veszteségesnek tekinthető ez az ültetvény.

Egy másik kutatás szerint a nyár fafaj produkálta a legmagasabb hozamot, így vált a legjövedelmezőbbé, melyet a fűz, majd az akác fafajok követtek. A vizsgálatok alapján szembeötlő különbség látszik az igen jó minőségű és a kedvezőtlen termőhelyen elért nettó jelenérték adatok között (*Gonczlik et al., 2005*).

A különbségeket látva *Barkóczy (2009)* szerint a számításokat egy döntéstámogató programmal célszerű elvégezni, amely kifejezetten az energianövények és az energetikai faültetvények termesztésének tervezésére és kezelésére készült.

2.7. A rövid vágásfordulójú energetikai faültetvények technológiai sajátosságai

Ahogy az már ismertetésre került, a rövid vágásfordulójú energetikai ültetvények esetében gyors növekedésű, nagy biomassza-produkcióra szelektált klónokat alkalmaznak, ahol a végső választék maga a faapríték, így az ültetvények telepítési, ápolási és betakarítási technológiái különböznek a hagyományos, az erdőgazdálkodásban már megszokottaktól (*Czupy et al., 2012*).

A 3 ha-nál kisebb területű ültetvények esetén az ültetést megelőző talaj-előkészítéskor tarlóhántás, kötött/tömörödött talajnál mélylazítás, vagy mélyszántás és magágy készítés elvégzése javasolt. A dugvány vagy a csemeték kiültetése kézi erővel, ékásóval, illetve kisebb teljesítményű dugványozó vagy ültetőgéppel történhet. A sorközművelésnek több lehetséges technológiája ismert; a mechanikai gyomirtás tárcsázással vagy gyomfésűvel, a vegyszeres gyomirtás permetezőgéppel végezhető el. A betakarítás motorfűrésszel vagy körfűrészlappal felszerelt motoros kaszával történik, az aprításhoz pedig mobil aprítógép használandó.

A 3–20 hektáros ültetvényeken a talaj-előkészítést követően a telepítés szintén dugvánnyal vagy csemetével történik, melyet kézi erő, vagy univerzális traktorral üzemeltetett munkagép végez el. Sorközművelésre mechanikai (tárcsázás) ill. vegyszeres (permetezőgép) gyomirtás használható. A betakarítás döntő-aprító géppel, vagy bálázó géppel történik.

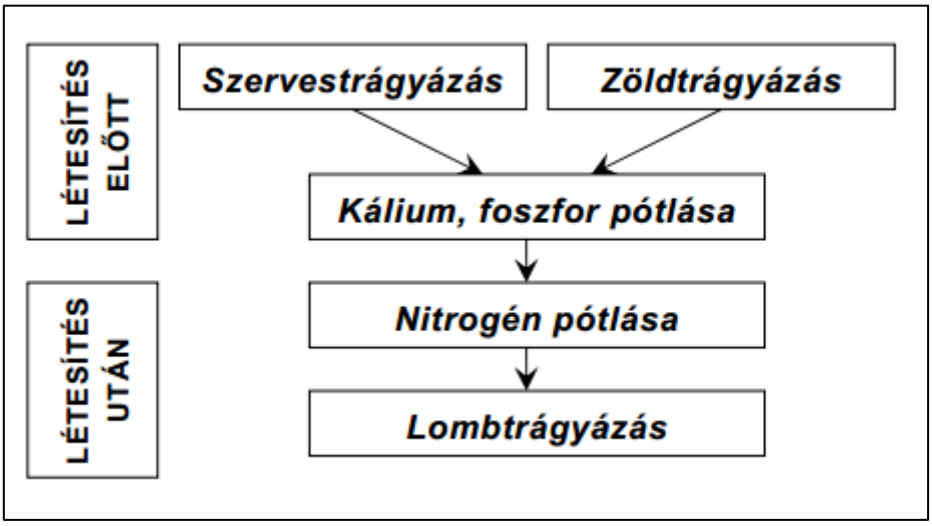
A 20 ha-nál nagyobb területeken a talaj-előkészítés, telepítés és sorközművelés művelete nem, csupán a betakarítás módja különbözik az előzőekben leírtaktól. Erre a célra nagy teljesítményű magajáró döntő-aprító gépek ajánlhatóak.

A leírt technológiától való eltérést indokolhatja a terület kialakítása (hosszúság-szélesség aránya), vagy a termőhelyi adottságok (talajféleség, erős gyomosodás a területen) (*Czupy et al., 2014*).

2.8. Tápanyag-utánpótlási eljárások

Energetikai faültetvények létesítése elsősorban olyan termőhelyeken valósul meg, melyek mezőgazdasági hasznosításra már kevésbé alkalmasak. Megvalósításuk intenzív termesztéstechnológiát igényel, mely hozzájárul az elsődleges cél, azaz a minél nagyobb mértékű dendromassza-termelés eléréséhez. A gyors növekedés, és a nagy produktum előállítása során fokozott mértékben hasznosítják a talaj tápanyagkészletét, így nélkülözhetetlen a megfelelő tápanyag-utánpótlás, melynek feladata a talaj termő-képességének fenntartása. Becslések szerint a növénytáplálás a növények mennyiségi és minőségi termelésének sikerében 50-60%-ban játszik szerepet (*Buzás*, 1983).

Ilyen intenzív fatermesztés esetén 2-5 évente jelentős mennyiségű biomasszát (8-12 tonna szerves anyag/ha/év) hordunk le a területről. A felvett tápanyag jelentős mennyisége visszakerül a talajba, ugyanakkor a faanyagban raktározódott elemeket eltávolítjuk, így azok pótlása szükségessé válik. A tápanyag-utánpótlás az ültetvény létesítése előtt és az üzemeltetés közben is megvalósulhat, javasolt lépéseit a *11. ábra* mutatja be.



11. ábra: Tápanyag-utánpótlás javasolt lépései (Barkóczy-Ivelics, 2008)

A faültetvények üzemelése közben nitrogén, foszfor és kálium hatóanyagú **műtrágyákat** juttathatunk ki a területre. Fontos, hogy a műtrágya rövid időn belül megfelelő mennyiségű csapadékot kapjon, így a lemosódás révén könnyen bejut a gyökérzettel átszőtt

talajrétegbe. A hosszú ideig tartó UV sugárzás csökkenti a tápanyag hasznosulását. A nitrogén hatóanyagot érdemes folyékony formában, a fák tövéhez kijuttatni, ezzel a megoldással nem csak kevesebb hatóanyag kijuttatása is elegendő, hanem elkerüljük azt is, hogy a levelek felületén megtapadva a növényi szövetek megégését okozza. A vegetációs időszakban történő tápanyag-utánpótlást célszerű akkor elvégezni, amikor már a gyomkonkurenciát visszaszorítottuk (*Barkóczy-Ivelics, 2008*). Egy francia kutatás szerint műtrágyázott területen 92 kg/ha nitrogén, 15 kg/ha foszfor és 87 kg/ha kálium lehet az ültetvény éves tápanyag felvételének mennyisége, így 74,7 – 88,8 atro t/ha biomassza válik letermelhetővé (10 éves állomány esetén). A kutatás szerint a felvett tápanyag 60-80%-a jut vissza a talajba a lombhullással (*Berthelot, 2000*).

Egy másik népszerű tápanyag-utánpótlási módszer az ültetvényekben a **szennyvíz** vagy **szennyvíziszap** alkalmazása. *Dimitriou* és *Rosenquist (2011)* szerint, ha a rendelkezésre álló szennyvíz és szennyvíziszap mennyiséget rövid vágásfordulójú energetikai faültetvényben használnák fel, akkor nagyságrendileg 6000 PJ megújuló energiát tudnának előállítani évente Európában. Azonban véleményük szerint egy gazdaságosabb földhasználati stratégia - pl. foszforban gazdagabb anyagok - használata racionálisabbnak és biológiailag indokoltabbnak tűnik.

Egy rövid vágásfordulójú fűz ültetvényben végzett kísérlet során megállapították, hogy szennyvíz alkalmazása mellett növekedett a hajtások átlagos száma és jelentős növekedés mutatkozott az ültetvény fahozamában és a száraz tömegében (*Holm – Heinsoo, 2013*).

Egy három éven át folyó litván kutatásban tápanyag-utánpótlás céljából szennyvíziszapot (10 t/ha), **fahamut** (6 t/ha) és NPK műtrágyát (12:5:14 arányban; 100 kg/ha) alkalmaztak rövid vágásfordulójú nemesnyár ültetvényben. A kísérlet végén az átlagos biomassza hozam 1,57 – 10,67 t/ha között mozgott, kezeléstől és a fajtáktól függően. A legmagasabb hozamot a műtrágyázott területek mutatták, majd ezt a szennyvíziszappal kezelt eredmények követték (*Lazdiņa et al., 2014*).

2.8.1. A fahamu és szerves trágya, mint természetes eredetű tápanyag-utánpótló anyagok

2.8.1.1. A fahamu, mint természetes eredetű tápanyag-utánpótló anyag

A fatüzeléssel és a mezőgazdasági termények betakarításával jelentős mennyiségű tápanyagot vonunk ki ökoszisztémáinkból. A fenntartható gazdálkodás szellemében a

hamuban található értékes tápanyagokat kívánatos visszajuttatni a természetes elemkörforgalmakba a gazdálkodás során.

Kémiai tulajdonságainak köszönhetően a kezeletlen faanyag elégetése után fennmaradó fahamu alkalmas savanyú kémhatású talajok melioratív kezelésére.

A biomassza égetés során az éghető alkotórészek – szén, hidrogén és hidrogénvegyületek – elégnek, ellentétben a nem éghető anyagokkal, mineralizálódott alkotóelemekkel, melyek visszamaradnak a hamuban. Az égés minőségétől és a nehézfém csapadéktól függően változik a hamu károsanyag-tartalma (*Augusto et al., 2008*).

A fahamu tulajdonságait több tényező határozza meg, többek között a faj, az elégetett növényi részek (fa, kéreg, levél), talaj és éghajlati feltételek, az égetés, a begyűjtés és a tárolás körülményei és esetleges tüzelőanyag kombinációk (*Etiégni - Campbell, 1991; Someshwar, 1996*). Ennek köszönhetően a fahamu tulajdonságairól rendelkezésre álló adatok rendkívül változatosak (*Knapp - Insam, 2011*).

A papíripari hulladék elégésekor keletkező fahamu összetétele nagyban eltér a fa égésekor keletkező hamutól (*Campbell, 1990; Muse - Mitchell, 1995*), illetve a közutak mentén álló fák hamujának szennyezőanyag koncentrációja magasabb, mint az erdei fáké (*Zimmermann et al., 2010*). Az eltérő növényi részekből származó hamu összetétele szintén eltérő. Az ágak, a kéreg, levelek és a gyökerek hamujának tápelem-koncentrációja magasabb, mint a törzsé. (*Hakkila, 1989; Werkelin et al., 2005*). *Sano et al. (2013)* magasabb Na-, Al- és Si-koncentrációt tapasztaltak a kéregből származó hamuban, azonban a K mennyisége a törzsből kapott hamuban volt több.

Az égés során keletkező fahamu mennyisége és összetétele nagyban függ a fafajtól. *Hakkila (1989)* két kategóriába sorolta a fákat: keményfák és puhafák; és megállapította, hogy nagy különbség van ezek hamujának elemösszetételében. Általánosságban, a keményfák fahamuja általában több káliumot és foszfort tartalmaz, viszont kalcium- és szilíciumtartalma alacsonyabb (*Füzesi, 2014*).

A fahamu fő összetevői: a kalcium, a kálium és a magnézium vegyületei (*5. táblázat*). A kalcium mennyisége 800-1100 ppm körül mozog, a kálium 200-1000 ppm, a magnézium pedig 100-200 ppm között várható (*Szendrey,1981*).

A többi elem koncentrációja 50 ppm alatt van a fa anyagában, ezért nyomelemeknek nevezzük őket. A 12 legfontosabb nyomelem a bárium, az alumínium, a vas, a cink, a réz, a titán, az ólom, a nikkel, a vanádium, a kobalt, az ezüst és a molibdén. A mikroelemek feldúsulását a faanyagban a környezet, beleértve a környezetszennyezés is befolyásolja (*Németh, 1997*). Ezen

elemek vízoldható állapotban vannak, ezért könnyen felvehetőek a növényzet számára (*Liebhard, 2009*).

A fahamu kémhatása erősen lúgos, pH-értéke 10-13 közötti, a termőföldre kiszórva azonban lúgossága nagyon gyorsan mérséklődik, így mértékkel alkalmazva, nem kell tartani a talaj ellúgosodásától (*Csiha et al., 2007*).

Elemek	A fahamuban található mennyiség (%)
Kalcium (Ca)	21,17 - 36,58
Kálium (K)	0,97 - 16,24
Magnézium (Mg)	0,34 - 9,09
Kén (S)	0,40 - 1,80
Foszfor (P)	0,08 - 1,56
Mangán (Mn)	0,14 - 4,04
Cink (Zn)	0,04 - 0,36
Vas (Fe)	0,01 - 0,58
Alumínium (Al)	<0,03 - 0,68
Nátrium (Na)	<0,06 - 2,30
Szilícium (Si)	0,11 - 0,24
Bór (B)	0,007 - 0,08
Réz (Cu)	<0,002 – 0,07

5. táblázat: A fahamu átlagos elemi összetétele (Misra et al., 1993)

Komponens	Összetétel (%)
SiO_2	31,8
Al_2O_3	28
Fe_2O_3	2,34
CaO	10,53
MgO	9,32
K_2O	10,38
Na_2O	6,5

6. táblázat: A fahamu átlagos kémiai összetétele (URL 20.)

A fahamu mennyisége és elemi összetétele szempontjából kulcsfontosságú az égési hőmérséklet szerepe. *Etiegni és Campbell (1991)* megfigyelték, hogy amennyiben az égési hőmérséklet 500°C-ról 1400°C-ra emelkedik, a hamu mennyisége 45%-kal csökken.

A fahamu alkalmazásának egyik jelentős előnye a savsemlegesítő kapacitása, mely a Ca-, Mg-, K-hidroxid és - az égési hőmérséklettől függően megmaradó - -karbonát-tartalmának köszönhető (*6. táblázat*) (*Vance, 1996*).

A fahamu talaj pH-ra gyakorolt hatását befolyásolhatja a hamu formája is. A granulált hamuból a kálium és kalcium több éven keresztül, lassan szabadul fel, viszont a kezeletlen hamu kálium és nátrium tartalmát gyorsan elveszítheti (*Steenari et al., 1998*).

Eriksson és munkatársai (1998) a talaj felső rétegében egyre csökkenő pH értékeket mutattak ki, melynek esetleges oka a hamunak a mésznél nagyobb reakciókészsége lehet. A fahamu alkalmazását követő reakciók megnövelik a szerves réteg kémhatását és kationcserélő képességét, a talajoldat a protonokat az ásványi talajba szállítja, ahol a viszonylag magas Ca-, Mg-, és K-tartalom mellett is a talajoldat pH-jának kezdeti csökkenését válthatja ki.

A talajok kémhatása befolyásolja a növények életfolyamatait és a talajban található szervezetek tevékenységét. Az erősen elsavanyodott talajokból fontos tápelemek lúgozódtak, mosódtak ki. Ezen túl a savanyodással a nehézfémek mobilizálódhatnak, és bekerülhetnek a talajoldatba, talajvízbe, valamint a táplálékláncba (*Heil, 2000*). A pH növekedésével megnövekszik a talaj biológiai aktivitása, minek következtében fokozódik a mineralizáció és a nitrifikáció, azonban ez a talajszén, nitrogén és más tápanyagainak veszteségét idézheti elő. Ennek ellenére ez a folyamat pozitívan is hathat, ha a szerves rétegre korlátozódik és a növények számára felvehető ásványi nitrogén és egyéb tápanyagok felvételét biztosítja (*Meiwes, 1995*).

A kémhatás növekedésének előnyös hatása a szennyező anyagok immobilizációja, melynek hatására csökken kimosódásuk a talajból a befogadó vizekbe (*Williams et al., 1996*).

Lényeges belátni, hogy a fahamu felhasználásával csökken a biomassza erőművekben keletkező hulladék mennyisége, minimalizálva ezzel a környezeti veszélyeket. A mezőgazdaságban alkalmazott nagy energia igényű műtrágyák kiváltása nagy előnyökkel járhat a környezet számára.

A fahamu hatásairól a legtöbb kutatást ez idáig Skandináviában végezték (*Hytönen et al., 1995; Dimitriou et al., 2006*), de már vannak eredmények Németországból, Svájcból és a balti államokból is (*Rumpf et al., 2001; Zimmermann-Frey, 2002; Mandre et al., 2006).*
Ezek alapján, amennyiben a C/N arány több mint 30, ott alacsony vagy közepes a nitrogén mennyisége. Ilyen esetben a fahamu alkalmazása csökkenti a növekedést, de abban az esetben, ha a N tartalom kedvezőbb - C/N kevesebb, mint 30 - ott a területre kijuttatott hamu a növekedésre pozitívan hatott. Ez a hatás különösen fiatalabb erdőkben érzékelhető, mivel azon fák jobban reagálnak a hiányzó tápelemek pótlására (*Oravec, 2007*).

A fahamu növényekre gyakorolt hatásának elemzése céljából a talajvizsgálatok mellett elengedhetetlen a növényvizsgálatok elvégzése is. A növényvizsgálatokkal lehetőség van a talaj tápanyag-szolgáltató képességének meghatározására, a kiadott tápanyag hatásainak

megállapítására, a tesztnövény tápláltsági állapota és produktivitása közötti kölcsönhatás tanulmányozása, valamint az esetleges tápelem-hiány meghatározására (*Sárdi, 2011*).
Egy közönséges lucfenyő (*Picea abies*) állományban végzett kísérletben a fahamuval kezelt terület fáinak, tűleveinek magasabb volt a koncentrációja P, K, és Ca elemek tekintetében a kontroll területekhez képest, viszont ez az eredmény csak öt év mutatkozott.
Vöröslevelű juhar (*Acer rubrum*) csemeték esetében a levelekben megnövekedett K és Na koncentráció volt kimutatható a hamuval való tápanyag-utánpótlás során (*Park et al.,* 2004).

A fahamu a nem mezőgazdasági eredetű, nem veszélyes hulladékokhoz sorolandó, így mezőgazdasági területen történő hasznosítása engedélyhez kötött. A hivatkozó kormányrendelet alapján az engedélyezési kérelmet az illetékes megyei kormányhivatal Növény- és Talajvédelmi Igazgatóságához kell benyújtani.

2.8.1.2. A szerves trágya, mint természetes eredetű tápanyag-utánpótló anyag

A szerves trágya a tápanyag-utánpótlás legkedvezőbb formája. A talajok szervestrágyázásának szerepe az elmúlt pár évtizedben jelentősen megváltozott; korábban elsősorban az eltávolított tápelemek utánpótlását szolgálta. A mikroszervezetek ásványosító tevékenységének köszönhetően tápelem forrásként szolgált a növények számára, mennyiségétől a terméshozamok mértékének alakulása függött. Napjainkban a trágyázás elsősorban a talaj kedvező fizikai állapotának, morzsás szerkezetének, víztartó képességének, adszorpciós képességének fenntartását szolgálja. Sajnos a hazai állatállomány számának jelentős csökkenése miatt a gyakorlatban igen nehéz megfelelő szerves trágyához jutni az ültetvények tápanyag-utánpótlása érdekében (kb. 1.500 Ft/t a szarvasmarha trágya piaci ára, melyre még rájön a rakodás, szállítás, kijuttatás költsége).

Az istállótrágya valamennyi szerves anyag közül a legteljesebb értékű trágyaanyag. Hatása a talajra és a termelt növényekre egyaránt kiterjed, ennek következtében a talajszerkezet javul, a termésmennyiség fokozódik, a termelés biztonságosabbá válik.
Mivel az istállótrágya a talaj mikroszervezeteit is táplálja, hatására olyan biológiai viszonyok alakulnak ki, amelyek a talajba juttatott műtrágyák hasznosulását is fokozzák.
A friss trágya mezőgazdasági felhasználásra még nem alkalmas, mert sok el nem bomlott szerves anyagot tartalmaz, amely a talajéletet inkább hátráltatná, mint fokozná. Ezért a friss istállótrágyát kazlakba összerakva néhány hónapig érlelni kell. Ezalatt benne baktériumos bomlási folyamat megy végbe, amíg a trágya többé-kevésbé egynemű, nem kellemetlen szagú

anyaggá érik. Kötött talajon 2-3 évenként, homoktalajon 1-2 évenként célszerű trágyázni (*URL 21.*).

Ültetvények esetében célszerű legalább a telepítés előtt alkalmazni. A szakirodalom szerint alkalmanként 20-30 t/ha szerves trágya kijuttatása javasolt. Teljes kijuttatása ősszel ajánlott, mélyszántással célszerű a talajba juttatni (*Barkóczy-Ivelics, 2008*). Sajnos az istállótrágya egyre nehezebben szerezhető be (*URL 21.*).

A trágyakijuttatás során alapvető követelmény, hogy a nitrát kimosódás a lehető legkisebb legyen. A trágyázást pontos adagban és egyenletesen kell végezni, kerülve az átfedéseket, így biztosítható a talaj fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságaira gyakorolt kedvező hatás (*URL 22.*).

A fahamu alkalmazásának szerves trágyával való kiegészítése elengedhetetlen mozzanat az energetikai ültetvények létesítésében, mivel, mint már említésre került, a fahamu nem tartalmaz nitrogént. Az ültetvények fenntarthatóságának biztosításhoz azonban szükség van a nitrogén stabil jelenlétére, melyet a szerves trágya biztosít (*Paris et al., 2015*).

A fahamunak és a szerves trágyának együttes alkalmazása során várhatóan a fahamuból gyorsan feltáródó szervetlen tápanyagok feleslegben lévő része egyből meg is tud kötődni a szerves trágya nagy mennyiségű aktív kötőhelyein, s onnan időben kiegyenlítve, nagyobb arányban hasznosulva juthat végül a talajoldatba, s onnan a növényi gyökerekbe.

A nagyobb pórustérben kedvezőbb feltételeket találnak a talajállatok, így nőhet a mineralizáció sebessége, tehát a szerves anyagokból az elemek ásványi, növények által közvetlenül felvehető állapotba alakulása.

A szerves anyaggal a talajba juttatott tápelemek abszolút mennyiségén felül egyben megnő a talaj adszorpciós képessége is, azaz további tápelem ionok megkötésére is sor kerülhet a talaj szerves anyagához kapcsolódóan. A nagyobb adszorpciós felület pedig nagyobb puffer kapacitást is jelent, vagyis a talaj ellenállóbb lesz a külső behatásokkal szemben. Különösen jelentős lehet ez a hatás olyan homoktalajok esetében, mint a bemutatásra kerülő kísérleti területé. A trágyázással a talajba jutó nagy adszorpciós felületű szerves anyagok ezért jelentősen javítják a homoktalaj tápanyag- és vízgazdálkodását. A talajok adszorpciós komplexeiben történő változás már középtávon, egy-két éven belül nyomon követhető (*Szemerey, 2004*).

2.9. Hozambecslési eljárások

Az energiaültetvények létesítése profitorientált gazdasági tevékenység, mely során a lehető legnagyobb fatermés és ebből adódóan a minél nagyobb haszon elérése a cél. Ezen eredmények alapja a naturáliák meghatározása (*Rédei,2014*).

A rövid vágásfordulójú nyár- és fűzállományok termésbecsléséhez egy mintaterületen végzett pontos adatfelvétel szükséges. A mintaterület minimális nagysága 600-1400 m². Ennek az oka a rövid vágásfordulójú állományokra jellemző különböző ültetési hálózat. A teljes felvétel során egy adott fafaj minden egyes fajtájára kell meghatározni a következőket:

- tőátmérő, 10 cm magasságban
- törzsátmérő, 1,30 m magasságban
- magasság
- a hajtások fajtája (magról kelt vagy tő-, illetve tuskósarj)
- károk (*Liebhard, 2009*).

Az erdészeti gyakorlatban alkalmazott fatömeg számítási függvények nem alkalmasak a rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények hozamának megállapítására. Ezek a táblázatok 5 cm-es mellmagassági átmérőtől tartalmaznak adatokat, illetve fatérfogatot határoznak meg. A szakirodalmakból kiderül, hogy a rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvényeken, ahol a mellmagassági átmérő 5 cm alatti, ott az átmérő függvényében becsülhető a teljesfa tömege (kg/tő). Ebből mintaparcellánkénti felvételezéssel, eredés vizsgálatokkal, regresszió analízissel és statisztikai próbákkal határozható meg legpontosabban az állomány éves hozama (*Ivelics, 2006*).

Az állomány hozambecslésére az irodalomban több módszer is fellelhető. Ezek közül egyik a tömegfüggvény meghatározása. Az eljárásnak nemcsak az ültetvény hozamának becslésekor van jelentősége, hanem az aratás során használt gépek számának megtervezéséhez is segítséget nyújt.

A másik fontos lépés a fa nedvességének meghatározása. Meghatározásához mintát vesznek a frissen aratott anyagból, megmérik annak tömegét, majd ezt összevetik a 105 °C-ra felhevített és kiszárított változatával (*Kardos, 2012*).

Jól alkalmazható, pontos becslést ad a Kopeczky-féle tömeg-egyenes alkalmazása. Ebben az esetben a mintafák teljesfa tömegét mérjük és a mellmagassági körlapra vonatkoztatva megkapjuk a fatömeg egyenest. Erről leolvashatjuk, vagy függvénnyel számíthatjuk az átlagos tömeget, majd a megfelelő törzsszámmal való szorzással és az

eredmények összegzésével megkaphatjuk a faültetvény fás biomassza tömegét, illetve hozamát. A módszer további pozitívuma, hogy a számítások egyszerű táblázatkezelő programban elvégezhetőek (*Ivelics, 2006).*

A gyakorlatban a hektáronkénti fatömeg a kivágott faegyedek tőátmérő, mellmagassági átmérő, magasság és fatömeg mérésével megbecsülhető. Bár *Veperdi (2005)* szerint a tőátmérő kevésbé alkalmas az ilyen célú becslésekre, mivel mérhetősége álló fán nehezebb és a számításokat a terpesz (sarjcsokor) mértéke nagyban torzíthatja, illetve többszörös sarjaztatás esetén nehezen mérhető.

A tömeg, valamint a hozam becslésére számos számítási mód áll rendelkezésre. Megállapítható, hogy a legtöbb esetben a rövid vágásfordulójú energetikai célú faültetvények esetén, a hozam becslésére szolgáló eljárásoknál hatvány függvényeket használnak. A függvény alapja a különböző magasságokon mért átmérő, mint független változó, és a teljesfa tömege, mint függő változó (*Ivelics, 2006*).

Az aktív kutatási folyamatokat bizonyítja, hogy Veperdi 2010-ben publikálta a tőátmérő és a biomassza-tömeg közötti összefüggést leíró függvényét, azonban ez csak az 'AF2'-es nemesnyár klónra, illetve egyes fákra vonatkozik (*Kovács et al., 2010*). Itt a megfelelő összefüggés felírása után a már felvett kerület adatokból a biomassza-tömeg számítása egyszerűen elvégezhető.

2.10. Levélfelületi index

Egy növényállomány párologtató felületéről a levélfelület nagysága alapján kapjuk a legjobb információt. Értékét a talajfelszín méretéhez viszonyítva adhatjuk meg és levélfelületi indexnek (LAI = Leaf Area Index) nevezzük. A levélfelületi index egy biofizikai állapotjelző, értéke szoros kapcsolatban áll a képzett biomassza mennyiségével, a fotoszintézis és a transpiráció mértékével (*Burai, 2007*). Nagysága függ a fejlettségi állapottól, a termesztési módtól, az állománysűrűségtől, a tápanyag-ellátottságtól, a vízellátottságtól stb. A lombkorona szint intercepcióját nagyban befolyásolja a levélfelületi index, mely a növényzet teljes levélfelületének a lefedett területhez viszonyított aránya m^2/m^2-ben kifejezve.

Számításának módja:

$$LAI = \frac{T}{t}$$

- T=levélfelület nagysága (m²)
- t=a növényállomány alatti tenyészterület nagysága (m²) (*URL 23.*).

A levélfelület mérésére számos direkt és indirekt módszer létezik. A terepi mérések az állományban pontszerű adatokat adnak és igen költségesek, így elterjedt módszernek számít a különböző növényi indexek és a LAI között számított regressziós modellek használata (*Burai, 2007*).

A közvetlen módszerek:

A közvetlen módszerek pontosak, de munkaigényesek, ezért azokat korlátozott módon alkalmazzák. Ezek 2 fő lépése a levél begyűjtése és a levélfelület mérése. A begyűjtés történhet zöld lombként a fáról, alomcsapdával, vagy a már lehullott avartakaróból. A levélfelület meghatározása történhet planimetrálással, vagy gravimetriás módszerrel.

A közvetett módszerek:

A közvetett módszerek esetében általában valamilyen kapcsolódó változót figyelnek meg és abból következtetnek a levélfelületre. Ezek általában gyorsabb, könnyebben javítható és automatizálható módszerek, melyekkel lehetőség adódik nagyobb térbeli minták begyűjtésére. Ezen tulajdonságok alapján alkalmazásuk egyre inkább elterjedt. Az alkalmazott módszerek a ferde pont kvadrát és az allometrikus – arányossági összefüggést kereső - technikák, melyek közül utóbbi terjedt el leginkább erdészeti alkalmazásban.

Közvetett érintés nélküli mérések:

Ezek a módszerek az átszűrődő fény mérésén alapulnak, elsősorban az elmúlt 20 évben terjedtek el. Két csoportba sorolhatók, attól függően, hogy a rés frakció megoszlását méri (azon területek aránya, melyeket közvetlenül megvilágított a napfény), vagy a rés eloszlását (a foltok méret szerinti eloszlása) (*URL 24.*). *Jonckheere et al.* (*2004*) arra a következtetésre jutottak, hogy ilyen LAI meghatározáshoz szükséges és ideális eszköz a félgömb alakú kamera és vele a félgömbfotózás. Jelenleg hazánkban az Erdészeti Tudományos Intézet is ilyen módszerrel végzi méréseit.

Műholdas mérési módszerek:

Ezen meghatározás a lombkoronából visszaérkező sugárzást méri, műholdas kapcsolat segítségével. A LAI műholdas alapú becslésére még nincsenek konkrét szabványok, de a kutatások folyamatosan zajlanak és a megjelenítésre is már különféle módszereket dolgoztak ki (*URL 24.*).

Általánosságban a magas, idős és örökzöld tűlevelű fajoknak van a legnagyobb levélfelületi indexe, melyet a keményfás lombhullató, cserje, félcserje és fűfajok követnek. Az erdei fajok LAI értéke általában 5 – 15 közötti, de már 40 – 50 közötti értékeket is megfigyeltek idős lucfenyves – erdeifenyves állományokban a Sziklás-hegységben (*URL 25.*).
A megfigyelések azt sugallják, hogy nemesnyár ültetvényeken is egyszerű és általános kapcsolatokat lehet megbecsülni a fiatal, nagy sűrűségű állományok egyes tulajdonságai és levélfelülete között (*Ceulemans et al., 1993*).

2.11. Talajnedvesség mérése

A talaj nedvességtartalmának tanulmányozása a mezőgazdálkodás fontos feladata, mivel a vízhiány és a túlzott nedvesség is károsan befolyásolhatja a termesztést.
A TDR (Time Domain Reflectometry) egy olyan talajnedvesség-mérési módszer, mely során a műszer a talaj abszolút és relatív nedvességét méri (*URL 26.*). A módszer alapja, hogy egy impulzusgenerátorból nagyfrekvenciás jelet vezetnek a talajban elhelyezett elektródákra, a jel végighalad ezeken, majd egy végtelen nagy ellenállás hatására visszaverődik az elektródák végén. A jel elektródába lépése és visszaverődése közti időből meghatározható a talaj látszólagos dielektromos állandója. Ezen állandó és a talaj térfogat-százalékos nedvességtartalma közt szoros összefüggés van, így a módszer lehetővé teszi a talaj nedvességtartalmának meghatározását. Nagy előnye, hogy a talaj elektrolit- és sótartalma nem befolyásolja a mérést, bár a TDR műszer esetében is elengedhetetlen az előzetes talaj specifikus kalibráció. A módszer jól alkalmazható a talajnedvesség-tartalom térbeli mintázatának in situ mérésére (*Hagyó, 2009*).

3. A KUTATÁS MÓDSZEREI

3.1. Kísérleti terület elhelyezkedése

A kísérleti ültetvény az erdészeti tájbesorolás alapján a Cserhát-vidéken (24.) fekszik, azon belül is az Ipoly-medencében (24d.). A Cserhát-vidék területi megoszlását az alábbi táblázat szemlélteti:

Táj / Tájrészlet neve	Terület	Erdőterület	Erdősültség
24. Cserhát-vidék	256 356,5 ha	78 941,4 ha	30,8%
24a. Nyugati-Cserhát-vidék	40 506,7 ha	14 299,9 ha	35,3%
24b. Középső-Cserhát-vidék	171 270,8 ha	49 862,4 ha	29,1%
24c. Karancs–Medves-vidék	16 045,8 ha	9 905,5 ha	61,7%
24d. Ipoly-medence	28 533,2 ha	4 873,6 ha	17,1%

7. táblázat: A Cserhát-vidék tájrészletei és jellemző területi és erdősültségi adatai (Halász, 2006)

A Cserhát- vidék egy változatos felszínű, tagolt szerkezetű, dombvidék jellegű középhegységi táj. A táj növénytakarója nagy változatosságot mutat, az alacsonyabb dombvidékeket többnyire cseres-tölgyesek borítják, megjelennek gyertyános-tölgyes állományok is, helyenként mészkedvelő erdőkkel.

Benne az Ipoly-medence egy valamikori ártéri síkságból és feldarabolt teraszokból áll. Természetes vegetációját leginkább a ligeterdők és cseres-tölgyesek alkották, napjainkra megnövekedett a kultúrerdők (főként akácosok) területfoglalása.

Mérsékelten hűvös és mérsékelten száraz klíma jellemzi a tájat. Az évi hőmérséklet- és csapadékadatok alapján a klimatikus viszonyok az erdőssztyep és a zárt tölgyes klíma között átmenetet képeznek. A táj erdei változatos – többnyire D-i, illetve É-i – kitettségűek, a sík fekvésű erdők aránya csak az Ipoly-medencében jelentős, ahol az erdők 93%-a 250 m tszfm. alatt található.

Talajtípus	TVLEN	VÁLT	SZIV	IDŐSZ	ÁLLV	FELSZ	VIZB	Összesen
FV	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6
RA	99,8	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4
PBE	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0
ABE	99,3	0,1	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0	13,9
BFÖLD	99,6	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	44,0
RBE	96,4	0,1	0,3	3,0	0,2	0,0	0,0	14,5
KMBE	99,7	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	3,7
EGYÉB	SZV, KV, LHÖ, SÖTE, SBE, PGBE, KBE, CBE, R,							10,9
Összesen	**96,4**	**0,1**	**0,4**	**1,8**	**0,7**	**0,6**	**0,0**	**100,0**

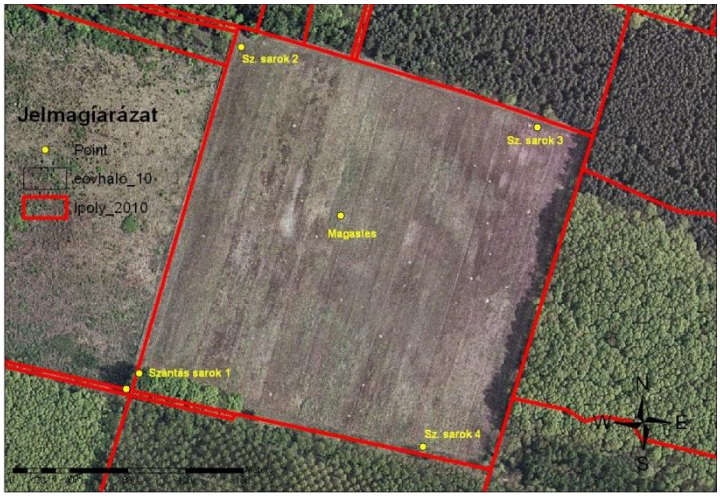
8. táblázat: A táj talajainak megoszlása hidrológiai kategóriák szerint (%) (Halász, 2006)

Az Ipoly-medence kétharmadának esetében az erdők rozsdabarna erdőtalajon állnak, amelyek 12%-a időszakos vízhatású.

Erdőművelési szempontból ezen a területen többnyire a kultúrerdők (akácosok, nemesnyárasok és erdeifenyvesek) jellemzőek, az őshonos fafajok állományai közül pedig az égeresek, hazai nyárasok, kocsányos tölgyesek és cseresek (*Halász, 2006*).

3.2. A kísérleti ültetvény kialakítása

A kutatási program gyakorlati megvalósítását üzemi kísérleti területen végeztük el (*12. ábra*). Ehhez 2011 májusában 5 ha-os kísérleti ültetvényt létesítettünk az Ipoly Erdő Zrt. Kelet-Cserháti Erdészetének területén, a Dejtári (külső) Csemetekertben (48°02'01.8"N, 19°12'12.6"E).



12. ábra: Kísérleti területlégi fotója, Dejtár

Az ültetvény telepítéséhez 2011 tavaszán jelöltük ki a kísérleti parcellákat. Az energetikai célú faültetvényt a gyakorlatban alkalmazott és leginkább bevált technológia alapján kívántuk megvalósítani, így a kísérlet során 60 parcellát alakítottunk ki, 4 különböző tápanyag-utánpótló kezelésben, kezelésenként - más kísérletekhez hasonlóan (*Fortier et al., 2010*) - véletlen blokk elrendezésben, a kezeléseken belül háromszoros ismétlésben, melyet a *13. ábra* szemléltet.

A kísérletben 3 nemesnyár fajtát alkalmaztunk (‘AF2’, ‘Monviso’ és ‘Pannonia’), amelyek ma hazánkban a leggyakrabban alkalmazott és legnagyobb biomassza hozamot adó energetikai ültetvényekre szelektált fajták (*Vágvölgyi, 2013*), valamint a hazai ‘Dékány’ fehér fűz fajtát.

Az irodalmak rövid vágásfordulójú energetikai ültetvény esetében 5000-20000 db/ha sűrűséget javasolnak (*Dickmann, 2006*), így esetünkben az ültetés a parcellák többségében hagyományos, 25-30 cm nagyságú dugványokkal 3 x 0,5 m-es hálózatban történt (6660 db/ha), más parcellákban pedig 3 m-es karódugványokkal 3 x 1 m-es hálózatban telepítettünk (3330 db/ha).

Az ültetvény tápanyag-utánpótlása – előzetes termőhelyfeltárás után – 5 t/ha fahamuval és 40 t/ha szerves trágya kiegészítéssel valósult meg. A két anyag keverékéből készült tápanyag-utánpótló szer összetétele előzetes mérések alapján megfelel a vonatkozó törvényi előírásoknak, kijuttatásuk az ültetvény létesítése előtt, betárcsázással történt.

A kísérleti ültetvény vázrajzát az *13. számú ábra* mutatja be, mely szemlélteti a fent említett különböző kezelési blokkokat: kék színnel a fahamu+szerves trágya komplexszel kezelt blokk, lila színnel a szerves trágyával kezelt blokk, sárgával a fahamus, végül pirossal a kontroll terület látható.

FH+SZ 'AF2' 1.	FH+SZ MON 2.	FH+SZ 'AF2' KD 3.	FH+SZ PAN 4.	FH+SZ FŰZ 5.	SZ 'AF2' 6.	SZ MON 7.	SZ 'AF2' KD 8.	SZ PAN 9.	SZ FŰZ 10.
FH+SZ 'AF2' KD 20.	FH+SZ PAN 19.	FH+SZ FŰZ 18.	FH+SZ 'AF2' 17.	FH+SZ MON 16.	SZ 'AF2' KD 15.	SZ PAN 14.	SZ FŰZ 13.	SZ 'AF2' 12.	SZ MON 11.
FH+SZ FŰZ 21.	FH+SZ 'AF2' 22.	FH+SZ MON 23.	FH+SZ 'AF2' KD 24.	FH+SZ PAN 25.	SZ FŰZ 26.	SZ 'AF2' 27.	SZ MON 28.	SZ 'AF2' KD 29.	SZ PAN 30.
FH 'AF2' 40.	FH MON 39.	FH 'AF2' KD 38.	FH PAN 37.	FH FŰZ 36.	K 'AF2' 35.	K MON 34.	K 'AF2' KD 33.	K PAN 32.	K FŰZ 31.
FH 'AF2' KD 41.	FH PAN 42.	FH FŰZ 43.	FH 'AF2' 44.	FH MON 45.	K 'AF2' KD 46.	K PAN 47.	K FŰZ 48.	K 'AF2' 49.	K MON 50.
FH FŰZ 60.	FH 'AF2' 59.	FH MON 58.	FH 'AF2' KD 57.	FH PAN 56.	K FŰZ 55.	K 'AF2' 54.	K MON 53.	K 'AF2' KD 52.	K PAN 51.

13. ábra: Parcellakiosztás

A vázrajzon látható kezelésenkénti elrendezési módszer egy olyan n×n-es táblázat, amelynek soraiban és oszlopaiban n különböző elem szerepel oly módon, hogy ezek mindegyike minden sorban és minden oszlopban pontosan egyszer fordul elő. Ez az elrendezés fontos szerepet játszik olyan kísérletek tervezésénél, amelyekben bizonyos hatások együttes alkalmazásai képezik a vizsgálat tárgyát. Biztosítja az összes lehetséges kombináció kiválasztását és a kísérlet torzító hatásainak kiszűrését (*Sváb, 1981*).
Kísérletünk esetében az ültetvény ilyen módú kialakítása lehetőséget ad a termőhelyi különbségek kiküszöbölésére.

A telepítést követő évben megépült az ültetvényt körülvevő elektromos kerítés is, amely azóta is hatékony védelmet jelent a vadkár ellen.

3.3. Tápanyag-utánpótlás ismertetése

3.3.1. Az alkalmazott fahamu összetétele

A kísérletben alkalmazott fahamut a balassagyarmati Dr. Kenessey Albert Kórház és Rendelőintézet biomassza alapú tüzelőberendezéséből nyertük. A kazánban csupán kezeletlen, tiszta, erdei faanyagot égetnek el, majd a fennmaradó hamut elkülönített tárolóban gyűjtik.

A fahamu kijuttatásának engedélyezéséhez gyakorlati alkalmazás esetén szükség van az anyag pontos elemtartalmának ismeretére. Az eredmények a jelenlegi határértékekkel kerülnek összehasonlításra, így világossá válik, hogy szükséges-e a hamu további kezelése? A *9. táblázat* tartalmazza az alkalmazott hamuban található elemtartalmakat, illetve a jelenleg érvényben lévő határértékeket.

Minta eredete		Elemtartalom a fahamuban	Határérték (*36/2006.* FVM rendelet)
Ca	[%]	24,55	min. 1,0
Mg	[%]	2,06	min. 0,5
Al	[%]	0,83	-
K_2O	[%]	11,77	min. 0,5
P_2O_5	[%]	2,44	min. 0,5
Cr	[mg/kg]	11	max. 100
Ni	[mg/kg]	44	max. 50
Pb	[mg/kg]	34	max. 100
Co	[mg/kg]	2	max. 50
As	[mg/kg]	0	max. 10
Hg	[mg/kg]	0	max. 1
Cd	[mg/kg]	1	max. 2

9. táblázat: A balassagyarmati Dr. Kenessey Albert Kórház és Rendelőintézet biomassza alapú tüzelőberendezésében keletkező fahamu átlagos összetétele

Látható, hogy a rendeletben megfogalmazott határértékeknek az alkalmazni kívánt fahamu megfelel, így kijuttatható.

3.3.2. A fás szárú ültetvényben alkalmazott szerves trágya jellemzői és az elemek növényélettani hatásokra gyakorolt szerepének ismertetése

A kísérleti területen a fahamuval történő ásványi tápanyag-utánpótlás kiegészítéseként a *13. ábrán* már jelzett parcellákban szerves trágya kijuttatására került sor, hektáronként 40 tonna mennyiségben. Az alkalmazandó anyagot egy közeli állattartó telepről, Szécsényből (Mocsár-puszta) vásároltuk. A szerves trágyáknak, mint termésnövelő anyagoknak a kijuttatásával, tápanyagtartalmi vizsgálatával kapcsolatban a *36/2006. (V. 18.)* FVM rendelet a termésnövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról, valamint annak módosítása, a *10/2010. (II. 4.)* FVM rendelet ad útmutatást.

A vizsgálatok eredményeinek értékeléséhez figyelembe kell vennünk, hogy a kombinált kezelés esetében a szerves trágya 40 t/ha mennyiségét 5 t/ha fahamuval kombináltan juttattuk ki.

A két anyag keverékéből készült tápanyag-utánpótló szer összetétele ezek alapján megfelel a vonatkozó törvényi előírásoknak. A szerves anyag tartalom ugyanis ásványi műtrágyánál nem előírás, illetve a Mg és K mennyisége a fahamuval kombináltan szintén teljesíti a törvényi minimum előírásokat.

Az engedély kiadásának törvényi alapját a *2007. évi CXXIX. törvény* a termőföld védelméről biztosítja. Az engedélyezésnél ezen kívül ágazati jogszabályokat is figyelembe kell venni. A Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség munkáját a *347/2006. (XII. 23.)* Korm. rendelet a környezetvédelmi, természetvédelmi, vízügyi hatósági és igazgatási feladatokat ellátó szervek kijelöléséről alapján, míg az ÁNTSZ az *50/2001. (IV.3.)* Korm. rendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól alapján végzi.

A dejtári kísérleti terület homoktalaja humuszban szegény, ezért itt a felvehető *nitrogén* mennyisége a növényi növekedést korlátozó tényező lehet. A tápanyag-utánpótlással megnövelhető a felvehető nitrogén mennyisége a talajban, ami közvetlenül pozitív hatással bírhat a növényzet növekedésére. A kijuttatott fahamu+szerves trágya keverékben mind a nitrogén abszolút mennyisége, mind a C/N arány kedvező, ami várhatóan pozitív hatással lesz az ültetvény kezelt parcelláiban a növények növekedésére.

A kijuttatott *kálium* mennyisége mintegy 310 kg K_2O hektáronként, ami döntően a fahamuból származik. A kálium megfelelő mennyiségének biztosítása segítheti a növények szénhidrát-anyagcseréjét, a keményítő képzését és lebontását. A kísérleti terület igen nagy lombfelülettel rendelkező nyár fajtáinál különösen jelentős szerepe van a szénhidrátok vándorlásának elősegítésében a növény egyéb részei felé. Ezen kívül a növényi fehérjék képzésében is fontos elemként funkciónál.

A *foszfor* mennyisége a kijuttatott szerves trágyában 73 kg P_2O_5 hektáronként, ami nagyságrendileg megfelel a gyakorlatban alkalmazott istállótrágya, illetve szennyvíziszap kezelések foszfortartalmával. A foszfor szükséges a megfelelő idejű éréshez, növekedéshez, gyökérképződéshez, szárszilárdság kialakulásához, betegség-ellenállósághoz. Előnyösen befolyásolja a növények vízgazdálkodását is, ami a dejtári homoktalajon különösen fontos.

*Kalcium*ból hektáronként mintegy 765 kg-ot tartalmaz a kijuttatott fahamu+szerves trágya keverék. Ennek a mennyiségnek mintegy 80%-a a fahamuból származik. A magas kalciumtartalom azért alapvetően fontos a gyors növekedésű növények táplálásában, mert a

Ca^{2+}-ionok felvételét egyes kationok (NH_4^+, K^+, Na^+, Mg^{2+}) gátolják. Emellett az olyan savanyú talajok esetében, mint a kolloidokban szegény dejtári kísérleti terület homoktalaja, az Al^{3+}, Mn^{2+} és Fe^{3+} toxikus mennyiségének növények általi felvételét a kalcium gátolni képes.

*Magnézium*ból 79 kg/ha mennyiséget juttattunk ki. A fahamu mintegy kétszeres mennyiségben tartalmazza ezt a tápelemet, mint a szerves trágya. A növényzet számára szükséges magnézium mennyisége a talaj magnézium tartalma alapján önmagában nem meghatározható, mert ezen tápelem hasznosulását több más tényező is befolyásolja. A dejtári kísérleti terület savanyú homoktalajáról általánosan elmondható, hogy a növényi magnézium-háztartás szempontjából pH-tartománya kedvezőtlen, így a magnéziumnak kombinált trágyázással való kijuttatása várhatóan szintén pozitív hatással lesz a növényi növekedésre *(Buzás, 1983; Ulrich, 1990/91).*

Látható tehát, hogy a növények által legnagyobb mennyiségben igényelt tápelemek szempontjából a fahamu+szerves trágya keverék igen kedvező összetételűnek számít. Hatására az eredetileg tápanyagban szegény humusztalajon a növények növekedése jelentős mértékben felgyorsulhat.

3.4. Vizsgálatba vont fajok/fajták jellemzése

'Pannónia' nyár *(Populus × euramericana* cv. Pannonia, nőivarú*)*

Szülők: *Populus deltoides* S-1-54 (Belgium) × *Populus nigra* Lébény 211. Az Erdészeti Tudományos Intézet sárvári kísérleti állomásán Kopecky Ferenc nyárnemesítőnek köszönhetően létrehozott mesterséges hibrid. Fiatalkori növekedése igen erőteljes, ez az ütem 12-15 éves korban mérséklődik, így 16-18 éves korában véghasználata indokolttá válhat. Egyenes, hengeres törzse villásodásra nem hajlamos. Sima kérge a törzs alján parásodó (már a második évben parásodni kezd), gyengén rozsdavörös színű. Ágai finomak, hegyesszögben állnak a törzshöz. Levelei nagyok (az alsó ágakon feltűnően apróbbak), sötétzöld árnyalatúak, levélalapja enyhén szív alakú. Keskeny koronája hasonlít az óriásnyáréhoz. Kisebb növőtér is elegendő számára, akár egyéb fafajokkal is jól elegyíthető. Lombfakadása április első felére, vagy közepére tehető, lombhullása október közepén várható. Rozsdagombákra (*Melampsora spp.*) nem, a barna levélfoltosodásra (*Marssonina brunnea*) kissé érzékeny. A *Dothichiza populea* okozta kéregfekély és a kései fagyok nem károsítják, legfeljebb fagyzugos, időszakosan átnedvesedő termőhelyen alakulhat ki érzékenység. Termőhelyi plaszticitása jelentős, azonban nagy hozamot csak jó termőhelyen képes produkálni, minőségi

rönktermelésre is alkalmas. Az ültetvényszerű fatermesztés egyik legfontosabb nyárfajtája (*Tóth, 2006*).

‘AF2’ nyár *(Populus × canadensis,* hímivarú, 1994*)*

Szülők: *Populus deltoides* 145-86 (Illinois – USA) × *Populus nigra* 40 (Pienmonte – Italia). Olasz származású klón (ALASIA New Clones). Törzsformája egyenes, hengeres, ágai hegyes szögben csatlakoznak a törzshöz, különösen a korona csúcsához közel dominánsak (*14. ábra*). Lombfakadása április elején kezdődik, leveleit viszonylag későn hullajtja le teljesen. Csúcsrügyei hegyesek. A levéllemez közepesen hullámos, a levélalapnál többnyire 2 mirigy található. Levélnyele közepes hosszúságú, keresztmetszete hosszúkás, színe vöröses (*Macchetta, 2010*).

A talajok fizikai féleségével szembeni igénye alacsony, homoktalajoktól agyagig mindenhol jól nő. Különösen gyors kezdeti növekedése miatt elsősorban energiaültetvények létesítésére alkalmas, 2-5 éves vágásfordulóval. Rozsdagombákkal (*Melampsora spp.*) és barna levélfoltosodással (*Marssonina brunnea*) szembeni ellenállósága kielégítő, *Dothichiza populea* okozta kéregfekéllyel szemben jó ellenálló képességet mutat. Széllel szembeni tűrőképessége szintén magas.

14. ábra: 2 hónapos ‘AF2’ karódugvány (saját fotó)

Felhasználása széleskörű, kiterjed a biomassza energia, papíripar, forgácslap, pellet előállításra. Az igen mély termőréteggel rendelkező réti öntés talajokon, vízhatástól független termőhelyen, ikersoros hálózatban vizsgálták az ‘AF2’ hozam és megeredés adatait. Ennek eredményeként kapták, hogy az új olasz klónok (‘Monviso’, ‘AF2’, ‘AF1’, ‘AF6’) nagyobb

fahozamra képesek, mint a korábban nálunk alkalmazott fajták (‘Koltay’, ‘Beaupre’, ‘Raspalje’, ‘BL-Constanzo’). Az ‘AF2’ és a ‘Monviso’ fajták 2-3-szor nagyobb hozamot produkáltak, mint a többi klón.
Megállapították, hogy az ‘AF2’ nemesnyár fajta esetében a vegetációs időszak első felében szignifikánsan erőteljesebb magassági növekedést mutatott 70 cm-es tőtávolságban, mint az 50 cm-es tőtávolságban. Fűtőértéke a nemesnyár klónok között a legmagasabb (19,84 MJ/kg) (*Ivelics, 2006*).

‘Monviso’ nyár *(Populus × generosa × Populus nigra,* nőivarú, 1991)

Olasz származású klón (ALASIA New Clones). Törzse enyhén csavarodott, sok ágat képez, melyek főleg a korona csúcsánál dominánsak. Lombfakadása mintegy 1,5-2 héttel az ‘AF2’ után kezdődik, leveleit pedig kb. ugyanennyi idővel hamarabb hullajtja le teljesen. Termőhellyel szemben támasztott igénye alacsonyabb, jó növekedést mutat a tápanyagban szegényebb, gyengébb vízellátottságú talajokon is. Szintén gyors kezdeti növekedése miatt főleg fás szárú energiaültetvényekben alkalmazható, 2 vagy 5 éves vágásfordulóval. Károsítókkal szembeni ellenálló képessége általánosan kiváló, csak a nyárkéregtűvel (*Phloeomyzus passerini*) szemben nevezhető közepesnek (*URL 27.*).

‘Dékány’ fehér fűz *(Salix alba* cv. ‘Dékány’)

A fajta magyarországi nemesítésű, szakirodalmi leírása jelenleg elég szűkös, a források leginkább közvetlenül a fajta nemesítőjéhez vezetnek vissza. Az ő ismertetése alapján a fajta jól tűri a szárazságot, vetélytársaival ellentétben fa alakú és gyors növekedésű (*15. ábra*). Már szerepel az engedélyezett fajták listáján, így energiaültetvények létesítésére e fajtával támogatás igényelhető. Fa alakúságának köszönhetően 2, vagy 4-6 éves vágásfordulóval is alkalmazható, utóbbi esetben hengeres fa előállítására (*Kelemen, 2011., szóbeli közlés*).

15. ábra: 2 hónapos fehér fűz 'Dékány' (saját fotó)

3.5. Termőhelyi, talajvizsgálati módszerek

3.5.1. Talajvizsgálat, termőhelyfeltárás

A vizsgált, mintegy 5 ha-os területen, a *16. ábrán* jelzett 2 fúráspontban talajmintákat vettünk. A mintavétel kézi talajfúróval történt, mely bolygatott, de nem kevert mintát eredményez. Elkészítettük a helyszíni leírást, valamint az egyes szintekből, rétegekből laboratóriumi vizsgálatok céljára mintát vettünk.

16. ábra: A két fúráspont elhelyezkedése a kísérleti területen (forrás: Google Earth)

A 2011-es évben - a termőhelyfeltárás mellett - minden parcellából (60 db) külön-külön is vettünk talajmintákat ásónyomnyi (0-20 cm) mélységben, majd mintavételünket 2013-ban megismételtük.

A talajvizsgálatok módszere (a laboratóriumba beszállított talajminták elemzését a Magyar Szabványban rögzítettek szerint végeztük):

- *pH (H_2O)*: elektrometriásan, 1/2,5 talaj/folyadék arány mellett; MSZ-08-0206/2-1978 szabvány szerint;
- *pH (KCl)*: elektrometriásan, 1/2,5 talaj/folyadék arány mellett; MSZ-08-0206/2-1978 szabvány szerint;
- *$CaCO_3$*: Scheibler-féle kalciméterrel; szabvány szerint;
- *y1 hidrolitos aciditás*: Ca-acetát oldattal készített kirázatból, szabvány szerint;
- *y2 kicserélhető aciditás*: KCl oldattal készített kirázatból, szabvány szerint;
- *K_A Arany-féle kötöttségi szám*: MSZ 21470/51-83 szabvány szerint;
- *hy Kuron-féle higroszkóposság*: szabvány szerint (*Bellér*, 1997).

3.5.2. A talaj pórusterének vizsgálata pF-berendezéssel

A különböző szövetű talajokban különböző átmérőjű pórusokat találunk. Ezek eltérő erővel tartják vissza a vizet, azaz a növények gyökerének más-más nagyságú szívóerőt kell kifejteni ahhoz, hogy a pórusokból vizet vegyenek fel. Minél nagyobb a talaj pórustere, annál könnyebben hatolnak át rajta a növényi gyökerek.

A talajok pórusterének meghatározása fontos feladat, mivel jelentős információkkal szolgál a talaj vízgazdálkodásáról, valamint a felvehető vízmennyiségről.

Célunk meghatározni, hogy különböző szívóerők kifejtésekor a talajból mennyi víz távozik el, így jellemezni tudjuk a pórustér átmérő-eloszlását. Ebben segítségünkre szolgálnak a pF-berendezések (*17. ábra*), amelyekben szimulálni lehet ezeket a különböző szívóerőket, azt megegyező nagyságú nyomóerővel helyettesítve.

17. ábra: A pF berendezés, előtte a mintavevő Vér-henger (saját fotó)

A vizsgálatok eredményéül egy pF-görbét kapunk, amelyről leolvasható, hogy a különböző szívóerők hatására mennyi nedvesség marad vissza a talajban, illetve következtetni lehet a pórusok arányára. Minél több egy talajban a kis szívóhatásra eltávolítható víz, annál több benne a nagy átmérőjű pórus, és fordítva, minél több víz marad vissza a talajban nagyobb szívóerő hatására is, annál több a talajban az apró, kapilláris hézag. A nyomóerőt az ekvivalens nyomású vízoszlop centiméterben mért magasságának 10-es alapú logaritmusaként kifejezve adjuk meg. A talaj víztartalmát a teljes talajtérfogat térfogatszázalékában adjuk meg.

A pF-görbén a mért eredmények alapján a talajtérfogatot három fő tartományra osztottuk fel:

1) szilárd talajrészek térfogata és a gravitációs pórustér
2) hasznos pórustér
3) holt pórustér (*Stefanovics, 1992*).

A TDR szonda telepítéséhez egy közel 2,5 méter mély talajszelvényt ástunk (É 48°02,055, K 19°12,243), melyben, 8 talajszintben (0-30 cm, 30-56 cm, 56-78 cm, 78-120 cm, 120-138 cm, 138-153 cm, 153-194 cm, 194-225 cm) Vér-hengerrel bolygatatlan mintavételezést végeztünk, majd elvégeztük a minták pF-vizsgálatát kerámia nyomólapos módszerrel (*17. ábra*).

3.5.3. Tápanyagvizsgálat

A tápelemtartalom meghatározáshoz minden kezelési forma minden egyes parcellájából – azaz mind a 60 parcellából – talaj- és levélmintát vettünk. A talajminták begyűjtésére 2011 és 2013-ban, a növényi mintavételekre 2011, 2013 és 2014-ben került sor.

Talaj-tápelem vizsgálati módszerek:

- *Szén %* meghatározása: száraz égetéses módszerrel, CHNS elemanalizátorral (Elementar Vario EL);
- *Nitrogén %* meghatározása: száraz égetéses módszerrel, CHNS elemanalizátorral (Elementar Vario EL);
- *Kén %* meghatározása: száraz égetéses módszerrel, CHNS elemanalizátorral (Elementar Vario EL);
- *Humusz %* meghatározása: szerves széntartalomból számítással;

- *AL-könnyen oldható foszfortartalom*: ammónium-laktát - ecetsav oldatos kirázatból kolorimetriásan - MSZ-08-0450/0456-1980;
- *AL-könnyen oldható káliumtartalom*: ammónium-laktát - ecetsav oldatos kirázatból lángfotometriásan - MSZ-08-0450/0456-1980;

Növényi (levél) tápelemvizsgálati módszerek:

- *Szén %* meghatározása: száraz égetéses módszerrel, CHNS elemanalizátorral (Elementar Vario EL);
- *Nitrogén %* meghatározása: száraz égetéses módszerrel, CHNS elemanalizátorral (Elementar Vario EL);
- *Foszfor* meghatározása*:* kénsavas feltárással, spektrofotometriás módszerrel;
- *Kálium, kalcium, magnézium és a nyomelemek (mangán, vas, réz, cink)* meghatározása: Tömény salétromsav és hidrogén-peroxidos roncsolással, teflon bombában, ICP-plazmaemissziós spektrofotométerrel mérve, MSZ-EN-ISO-11885/2000 szabvány szerint.

A levágott levélmintákat szárítószekrényben 40 ^{o}C-on szárítottam. A meghatározáshoz apróra, de nem teljesen porfinomságúra darált mintát vettem. A tápelemek meghatározásához teflon edényben nedves roncsolással (HNO_3 és H_2O_2) feltárt mintát használtam.

3.6. Eredés vizsgálat

A 2011. május 5-6-án elvégzett telepítést követően 2011. május 25-26-án került sor az első eredés vizsgálatra. A vizsgálat során parcellánként 2-2 sort, a bal illetve a jobb széltől számolt 4-4. sorok teljes felvételére került sor (*18. ábra*). Az összes darabszám meghatározása mellett az alábbi eredési kategóriákba soroltuk az egyes dugványokat:

- 0. kategória: a dugvány nem mutat megeredést, vagy elhalt
- 1. kategória: a dugványon a rügyek megduzzadtak, de a lomblevelek még kisebbek 2 cm-nél
- 2. kategória: a nyíló lomblevelek 2-5 cm-esek
- 3. kategória: a nyíló lomblevelek 5 cm-nél nagyobbak

Az eredési vizsgálatot mind a 60 parcellában végrehajtottuk.

18. ábra: Terepi eredés vizsgálat a kísérleti területen, Dejtár (saját fotó)

3.7. Dendrometriai mérések

3.7.1. Magasság mérése

A magasság mérését az ültetvény telepítése óta minden évben rendszeresen, a vegetációs időszakok végén elvégeztük. Parcellánként 1-1 kiválasztott átlagos sor összes faegyedének magasságát megmértük. A vizsgálatokat 5 cm-es pontossággal, teleszkópos magasságmérővel hajtottuk végre (*19. ábra*), míg a kivágott egyedek esetén cm pontossággal 20 m-es mérőszalagot alkalmaztunk méréseinkhez.

19. ábra: Magasság mérése a kísérleti területen, Dejtár (saját fotó)

3.7.2. Tömeg mérése

A kivágott fák magasságmérésének elvégzésekor párhuzamosan tömegméréseket is végeztünk. A tömeg méréséhez 25 kg teherbírású, 0,01 kg pontosságú halmérleget

használtunk (*20. ábra*). A kivágott fákat két-, illetve három részre vágva egy méréssel mértük és 0,01 kg pontossággal rögzítettük. A sarjak esetében valamennyi egy tőről származó hajtást egyben mértünk meg. A tömegmérés alkalmával minden egyes parcellából kilenc, átlagos magasságú egyed került kivágásra és mérésre, ezért ezen eredmények átlagával számolhattunk.

A tömegbecsléshez a sarjaztatott üzemmódban szükséges egy külön becslőfüggvény kidolgozása. Mi számításainkhoz a *Vágvölgyi (2013)* által publikált tömeg és tőátmérő (d) összefüggést alkalmaztuk (R^2 = 0,911):

$$Tömeg = 0{,}00001096 * d^3 + 0{,}00083985 * d^2 - 0{,}00286573 * d$$

A tömegbecslésnél figyelembe vettük, hogy a sima dugványok ültetésénél a 3 x 0,5 m-es sor- és tőtáv esetén a hektáronkénti darabszám 6660 db, karódugványok esetében 3330 db. A mintafák tömegéből átlagot képeztünk, majd – előzetes nedvességtartalom vizsgálat alapján – 55% nedvességtartalommal korrigálva a mért tömegeket kaptuk meg a keletkezett biomassza mennyiségét atro tonnára vonatkoztatva. A 0,8 és 0,9-es szorzó tényezők a különböző szaporítóanyag-típusok általunk meghatározott megmaradási arányaira vonatkoznak, erre a darabszám korrigálása miatt volt szükség.

Száraz tömeg (at/ha) =tömeg (t/tő) *6,666*0,8*0,45

Száraz tömeg (at/ha) =tömeg (t/tő) *3,333*0,9*0,45

Egyben megkaptuk az egyes parcellákra vonatkozó szórási adatokat is a mérési eredmények alapján.

20. ábra: Fatömeg mérése a fás szárú energetikai ültetvényben, Dejtár (saját fotó)

3.7.3. *Tőkerület és mellmagassági kerület mérése*

A kerületmérés milliméteres pontossággal, milliméter beosztású mérőszalaggal történt (*21. ábra*). Azon kiválasztott átlagsorokban álló fáknak, melyeknek - az előzőekben már leírt módon - megmértük a magasságát, meghatároztuk a tőkerületét is. A tömegmérések során kivágásra került fák tőkerülete szintén minden alkalommal mérésre került.

2013 márciusában és decemberében a 12 karódugványos parcellában mind a tő-, mind a mellmagassági kerület (1,3 méteres magasságban) mérését minden egyes egyedre elvégeztük.

A mért tőkerület és mellmagassági került adatokat átszámítottuk és tőátmérőként használtuk további elemzéseink során.

21. ábra: Kerületmérés a fás szárú energetikai ültetvényben, Dejtár (saját fotó)

3.7.4. *Karódugványos parcellák növőtér vizsgálata*

A növőtér vizsgálatot 2013. március 25-én kezdtük meg. A mellmagassági kerületet és a tőkerületet minden egyes egyedre megmértük. Parcellánként 4 sorban, azaz a parcella 1/3-ában minden második fát kivágtunk, melyeknek a magasságát lemértük. A kivágott 4 sorból kiválasztottunk egy átlagsort, melynek a tömegmérését és magasságmérését is elvégeztük.
A következő vizsgálatra 2013 decemberében került sor. A kerületméréseket a tavaszi felvételezésnek megfelelően végeztük el, illetve további 4 sor minden második fája került kivágásra. A kivágott sorok közül ismét kiválasztottunk egy átlagsort, melynek kidöntött egyedeire végeztünk tömegmérést és magasságmérést.

3.7.5. Levélfelületi index vizsgálata

A 2011-es és 2013-as lombhullás előtti felvételezéseink alkalmával a kísérleti területen minden parcellából, így minden fafajból egy-egy átlagos magasságú fa összes levelét begyűjtöttük (*22. ábra*).

22. ábra: Levélfelületi index meghatározása terepi kísérletben, Dejtár (saját fotó)

Az adatok feldolgozása során a lombozatot egy A2-es méretű lapra (420 × 594 mm) terítettük ki, úgy hogy minél jobban lefedje azt. A kiterített leveleket lefényképeztük (*23. ábra*), a műveletsort háromszoros ismétlésben végeztük el parcellánként. A dr. Primusz Péter által készített Pixel Counter nevű program segítségével megmértük a képek fekete képpontjainak területét (*24. ábra*), majd tömegarányosítással meghatároztuk az átlagfa, majd 1 hektár levélfelületét, végül a parcellára vonatkozó dimenzió nélküli index értéket.
Az összes vizsgálat esetén a mérési adatokat terepi jegyzőkönyvben rögzítettük.

23-24. ábra: A befényképezett és a kiértékelhető levélminták (saját fotó)

3.7.6. Szárazanyag-tartalom meghatározása

A szárazanyag-tartalom meghatározásához mindkét karódugványos felvételezés (2013. március, december) során vettünk mintákat. Ez azt jelentette, hogy fajtánként 7-7 fából 15-20 centiméteres darabokat vágtunk ki, majd ezek tömegét precíziós mérleggel megmértük. A mintákat szárítószekrénybe helyeztük, ahol 105 °C-on tömegállandósági szárítottuk, így meghatároztuk a szárazanyag-tartalmat.

3.8. Az eredmények statisztikai kiértékelése

A statisztikai értékelést Microsoft Excel® és STATISTICA® 11 programokkal végeztük el. Az elemzés lényege egy általános leíró statisztika elkészítése volt, továbbá, hogy megállapítsuk, van-e szignifikáns eltérés a különböző kezelésű parcellák, vagy a különböző fajták tulajdonságai között.

A vizsgálatokban általános leíró statisztikát, t-próbát és egy utas varianciaanalízist (One-way ANOVA) alkalmaztam, melyet Duncan-próbával pontosítottam, illetve regressziós számításokat végeztem hozamfüggvények készítésére. Ezen statisztikai vizsgálatok a különböző kezelések hatására bekövetkező növekedésbeli eltérések kimutatására, vagyis a kezelések hatékonyságának értékelésére alkalmasak.

3.9. Talajvízkút és TDR szonda adatok regisztrálása

2012 tavaszán a talajvízszint változásának megfigyelésére a 33. parcellában 4 m mély talajvízkutat telepítettünk (*25. ábra*). A talajvíz mélységének regisztrálása automataregisztráló nyomásszondával, 10 percenként történik, leolvasása a felszíntől cm-es pontosságú (*26. ábra*).

25-26. ábra: Telepített 4 m mélységű talajvízkút és adatainak kiolvasása (saját fotó)

A talajvízszint változásának kiértékeléséhez az aktuális hőmérséklet adatokra is szükség van, melyeket a *www.metnet.hu* portálról szereztünk be.
A talajvízszint napi járásának adatai közt a vizsgálat időszakon belül (2012. június 28 – 2014. június 30.) jellegzetes napokat/szakaszokat jelöltünk ki (2012. június 28 – 2012. július 1.; 2012. augusztus 18-24.), melyek „lépcsős", illetve „görbés" lefutásúak. Ezen napokra a Hamon-képlet (*Dingman, 2002*) segítségével kiszámítottuk a napi potenciális evapotranspiráció mértékét:

$$PET = 29{,}8 \cdot D \cdot \frac{e^*}{T + 273{,}2}$$

ahol *PET* a potenciális evapotranspiráció (mm/nap), *D* a nap hossza (h), *e** a telítési páranyomás az adott napi középhőmérsékleten (kPa), *T* pedig a napi középhőmérséklet (°C).
Az *e** telítési páranyomás csupán a hőmérséklettől függ, számításának módja (*Dingman, 2002*):

$$e^* = 0{,}611 \cdot \exp\left(\frac{17{,}3 \cdot T}{T + 237{,}3}\right)$$

A leolvasott és számított értékekből *Móricz et al. (2012)* és *Gribovszki et al. (2010)* alapján végeztük el az elemzést.

A talajnedvesség-mérő szondákat 2012. június 20-án telepítettük, a talajvízkút közelében. Műszer koordinátái: É 48°02,055, K 19°12,243. A szondákat 4 mélységben − 30, 80, 130 és 190 cm – helyeztük el.
A szondák 10 percenként regisztrálták az aktuális talajnedvesség értékeket, melyek FTP kapcsolat segítségével azonnal láthatóvá és feldolgozhatóvá váltak Sopronban.

3.10. Meteorológiai elemzés előkészítése

Eredményeink pontosításához egy meteorológiai adatsorra is szükség volt. Sajnálatos módon, a területen nem állt módunkban helyi meteorológiai mérőállomást felállítani, így a közeli településekről rendelkezésre álló információkat használtuk fel, esetünkben Balassagyarmat és Romhány települések adatait. A meteorológiai elemzéshez egy 30 éves adatsort vizsgáltunk (1971-2000), melyhez Gulyás Krisztina segítségével jutottunk hozzá, valamint további adatainkat a *www.metnet.hu (URL 28.)* oldalról nyertük.

A kinyert eredményekből (havi minimum/maximum hőmérséklet, havi csapadékösszeg) Walter-Lieth féle klímadiagramot készítettem a 2011-2013-as időszakra (*URL 29.*). A diagram elkészítéséhez a minimum és maximum hőmérsékletekből számított átlaghőmérséklet adatokat, illetve a napi csapadékösszegekből számított havi csapadékösszegeket használtam fel.

A Walter-Lieth diagramok kiválóan alkalmasak egy mérőhely átlagos hőmérsékleti és csapadékviszonyainak bemutatására. A vízszintes x-tengelyen a 12 hónapot tüntetjük fel, a bal oldali függőleges y-tengely a hőmérsékleti adatokat jelöli (°C), a jobb oldali pedig a csapadékösszegeket (mm).

A hőmérsékleti és a csapadékgörbe egymáshoz viszonyított helyzete alapján a terület:

- aridus: ha a hőmérsékletgörbe a csapadékgörbe felett halad,
- humidus: ha a csapadékgörbe a hőmérséklet görbe felett halad, és a havi csapadék 100 mm alatti,
- szuperhumidus: ha a havi csapadékmennyiség meghaladja a 100 mm-t (*Ács – Breuer, 2012*).

A diagramok a *www.zivatar.hu* (*URL 29.*) oldal segítségével készültek.

3.11. Gazdaságossági számítások

Bekerülési, megtérülési számításainkat csupán karódugványokra végeztük el, mivel ezek hozamadatai álltak rendelkezésünkre a 2013-as év végén.

Az első évben a szántás és a talaj-előkészítés (tárcsázás) díja összesen 38 000 Ft/ha volt, a kémiai gyomkorlátozás pedig - kijuttatással együtt - összesen 36 000 Ft/ha-ba került. A karódugványok - a már említettek szerint - 3x1 m-es hálózatban lettek telepítve, így 3333 db/ha dugvánnyal számoltunk. 2011-ben a dugványokat 60 Ft/db nettó áron vásároltuk, így kiszámítható, hogy a szaporítóanyag ára 200 000 Ft/ha. Ezen dugványtípus esetében lyukfúrás szükséges az ültetéshez; 1 lyuk fúrása 56 Ft-ba kerül, a munka elvégzésének költsége pedig 80 000 Ft/ha, így az ültetés összes költségének 250 000 Ft/ha-t számoltunk.

A fentieken túl a tápanyag-utánpótlás szükségessége jelentős többlet költséget képez, mely magából az anyagból és annak szállításából adódik össze. Ennek apropóján külön táblázatokat készítettünk az eltérő kezelésformákra. A két tápanyag-utánpótló anyag közül természetesen a szerves trágyának – melyből 40 t/ha került ki a területre – magasabb az ára, ez a szállítással együtt 175 600 Ft/ha. A fahamuhoz számos helyen ingyen hozzá lehet jutni hazánkban, mivel így termelőjének nem kell megfizetnie a magas elszállítási költséget. Ez esetünkben is így

történt, így az 5 t/ha mennyiség esetében csupán a 13 km-es szakaszon való szállítási díjat kellett kifizetnünk, mely 50 000 Ft/ha volt.

A második évben csupán tárcsázás történt, ennek összege 8 000 Ft/ha, illetve megismételtük a kémiai gyomkorlátozást, melynek összege ismételten 36 000 Ft/ha volt.

A harmadik évet, mint az első aratási ciklus végét vizsgáltuk (a gyakorlatban ez nem valósult meg), így ismét 8 000 Ft/ha talaj-előkészítési költséggel, valamint 112 000 Ft/ha betakarítási és 42 000 Ft/ha beszállítási költséggel kalkuláltunk. A növényvédelemre az aratás évében 25 000 Ft/ha-t számoltunk.

Jelenleg az infláció 0% körüli, ezért a 15 éves futamidőre indexálást nem végeztünk.

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

Ahhoz, hogy a dolgozat fő céljának, vagyis a tápanyag-utánpótlási módok hatásainak vizsgálatát megfelelően végrehajthassuk, a kezelések befolyásait értékelhessük, szükség volt az ökológiai körülmények felmérésére, figyelembe vételére is. Ezért került sor a termőhelyi, illetve időjárási adatok, majd ezt követően az előző fejezetben bemutatott mérések eredményeinek kiértékelésére.

4.1. Termőhelyi viszonyok értékelése

1. sz. talajszelvény

Talajszelvény helye: Dejtári külső csemetekert

Talajszelvény GPS koordinátái: 48°02.065 É, illetve 019°12.254 K

Tengerszint feletti magasság (GPS mérés alapján): 138 m

27. ábra: 1. talajszelvény

0 – 25 cm	A_{sz}-szint, barna színű, gyengén humuszos, homokos szerkezetű, laza, gyökerekkel közepesen átszőtt, homok fizikai féleségű szint, lefelé fokozatos átmenettel;
25 – 50 cm	AB-szint, barna színű, gyengén humuszos, homokos szerkezetű, laza, gyökerekkel közepesen átszőtt, homok fizikai féleségű szint, lefelé fokozatos átmenettel;
50 – 80 cm	B-szint, sárgásbarna színű, humuszban szegény, homokos szerkezetű, laza, gyökerekkel gyengén átszőtt, homok fizikai féleségű szint, lefelé fokozatos átmenettel;
85 – 120 cm	C-szint, sárgásbarna színű, humuszmentes, szerkezet nélküli, laza, gyökérmentes, homok fizikai féleségű, vasrozsdákat tartalmaz.

Termőhely-meghatározás módja:	Talajszelvény helyszíni- és laboratóriumi vizsgálata
Tengerszint feletti magasság:	150 m
Fekvés:	Sík (SIK)
Domborzat:	Sík (SIK)
Lejtés:	Sík (SIK)
Klíma:	Kocsánytalan-tölgyes-cseres klíma (KTT-CS)
Hidrológia:	Időszakos vízhatású (IDŐSZ)
Genetikai talajtípus:	Rozsdabarna erdőtalaj (RBE)
Fizikai talajféleség:	homok (H)
Termőréteg teljes vastagsága:	80 cm
Termőréteg redukált vastagsága:	80 cm közepes mélységű (KMÉ)
Humuszforma:	mull
Termőhely minősítése:	Természetközeli erdők termőhelye (TTH)
Alapkőzet:	Homok (H)
Talajvíz mélysége:	120 cm
Erózió foka:	mentes
Talajhiba:	-
Termőhelytípus változat:	*kocsánytalan tölgyes-cseres klímájú, időszakos vízhatású, rozsdabarna erdőtalaj, homok fizikai féleséggel és közepes mélységű termőréteggel*

Talajvizsgálati jegyzőkönyv

s.sz.	**szint**	**Váz**	**pH**		**$CaCO_3$**	**össz. só**	**Fenol.**	**y_1**	**y_2**	**K_A**	**hy**	**Mechanikai összetétel**				**Humusz**	**AL-P mg/100g talaj**	**AL-K mg/100g talaj**
												Dh	**Fh**	**I**	**A**			
	cm	%	H_2O	KCl	%	%	%	%	%		%	%				%		
1.	0-25	0	6,5	5,4	0	-	-	4,89	0	36	2,43	-	-	-	-	1,1	13,0	6,9
2.	25-50	0	6,3	5,1	0	-	-	5,06	0	31	2,11	-	-	-	-	0,7	17,2	4,3
3.	50-80	0	6,7	6,2	0	-	-	0	0	26	0,75	-	-	-	-	0,2	13,8	4,2
4.	80-120	0	7,1	6,4	3	-	-	-	-	24	0,43	-	-	-	-	-	12,5	5,5

10. táblázat: 1. talajszelvény vizsgálati eredményei

1. szelvény

A terület domborzata sík, de a terület É-i irányban enyhén lejt, a két széle között mintegy 1 méteres szintkülönbség alakul ki. Az 1. szelvényt a terület alacsonyabb, északi negyedében jelöltük ki, így kb. a terület felét jellemzi.

A talaj vizes oldatban mért kémhatása a teljes vizsgált mélységben semleges volt ($pH_{(H2O)}$=6,5-7,1). A szelvény felső szintjeiben gyenge kilúgozódást tapasztalhatunk. A KCl-os pH értékek határozottan, 1,1-0,7 egységgel alacsonyabbak, ami gyenge rejtett savanyúságra utal. A talaj kémhatása a tápanyagok feltáródása, a tápanyag-gazdálkodás szempontjából optimális.

A pH-nak megfelelően a felső talajszintekből a kilúgozás hatására a könnyen oldható sók, így a szénsavas mész is lemosódtak, így már csak 80-120 cm mélységben, a talajvíz feletti kapillárisan telített zónában található mindössze 3% mész.

Szóda és összes só nincs jelen a talajszelvényben, szikesedési folyamatoknak nincs jele.

Az Arany-féle kötöttség alapján a talaj fizikai félesége homok. Az ilyen talaj az esővizet gyorsan beereszti, de benne hamar a mélybe szivárog, csak kevés vizet tart vissza. A talajban a 80 cm mélységtől megjelenő rozsdafoltok, valamint a 100-120 cm-től megjelenő glejes foltok egész évben jól jelzik a magas talajvízszintet, melynek szintje az április végi mintavételkor 120 cm volt. Ez igen kedvező a kísérleti fás szárú energiaültetvény szempontjából.

A talaj mintegy 80 cm mélységig tartalmaz humuszt, de csak kis mennyiségben (1,1-0,2%). A talajművelés következtében a korábbi zárt erdőállomány alatt kialakult humusz a felső 50-60 cm-ben eloszlott, szintje egyenletesen alacsony. A tápanyag-ellátottság a humuszos szint vastagsága és a humusztartalom alapján közepes, ezt megerősítik a további tápanyag-vizsgálatok.

A talaj AL-oldható foszfor tartalma az egész szelvényben 12,5-17,2 mg/100 g talaj, ez gyengén közepes foszfor-ellátottságot jelez. Az AL-oldható káliumtartalom 4,2-6,9 mg/100 g talaj, ami viszont alacsony káliumtartalmat jelent.

Talajhibát a termőrétegben nem találtunk.

Ezen genetikai talajtípus *Járó (1963)* szerint bizonyos mértékben kolloidszegénynek mondható, de ezt ellensúlyozza magas humusztartalma. Víztartó képessége kicsi, így vízelvezető képessége igen jónak ítélhető. Tápanyag-ellátottsága a humusztartalomtól függ, ennek mértéke közepes. Így megítélésem szerint energetikai ültetvény létesítésére ez a talajtípus alkalmas és kedvező, viszont gyenge tápanyag-ellátottsága miatt tápanyag-utánpótlás ajánlott.

2. sz. talajszelvény

Talajszelvény helye: Dejtár külső csemetekert

Talajszelvény GPS koordinátái: 48°01.866 É, illetve 019°12.137 K

Tengerszint feletti magasság (GPS mérés alapján): 139 m

28. ábra: 2. talajszelvény

0 – 25 cm	A_{sz}-szint, szürkésbarna színű, közepesen humuszos, homokos szerkezetű, laza, gyökerekkel közepesen átszőtt, homok fizikai féleségű szint, lefelé fokozatos átmenettel;
25 – 60 cm	AB-szint, világos szürkésbarna színű, gyengén humuszos, homokos szerkezetű, laza, gyökerekkel közepesen átszőtt, homok fizikai féleségű szint, lefelé fokozatos átmenettel;
60 – 110 cm	B_1-szint, sárgásbarna színű, humuszmentes, homokos szerkezetű, laza, gyökerekkel gyengén átszőtt, agyagos homok fizikai féleségű szint (kovárványos), lefelé fokozatos átmenettel;
110 – 145 cm	B_2-szint, sötétsárga színű, humuszmentes, homokos szerkezetű, laza, gyökerekkel gyengén átszőtt, homokos vályog fizikai féleségű szint, a felület kb. 10%-án vasrozsdákkal, lefelé fokozatos átmenettel;
145 – 200 cm	C-szint, sötétsárga színű, gyengén humuszos, szerkezet nélküli, laza, gyökerekkel gyéren átszőtt, homokos vályog fizikai féleségű, 50% vasrozsdát tartalmazó szint.

Termőhely-meghatározás módja:	Talajszelvény helyszíni- és laboratóriumi vizsgálata
Tengerszint feletti magasság:	150 m
Fekvés:	Sík (SIK)
Domborzat:	Sík (SIK)
Lejtés:	Sík (SIK)
Klíma:	Kocsánytalan-tölgyes-cseres klíma (KTT-CS)

Hidrológia:	Időszakos vízhatású (IDŐSZ)
Genetikai talajtípus:	Kovárványos barna erdőtalaj (KBE)
Fizikai talajféleség:	homok (H)
Termőréteg teljes vastagsága:	110 cm
Termőréteg redukált vastagsága:	110 cm mély (MÉ)
Humuszforma:	mull
Termőhely minősítése:	Természetközeli erdők termőhelye (TTH)
Alapkőzet:	Homok (H)
Talajvíz mélysége:	180 cm
Erózió foka:	mentes
Talajhiba:	-
Termőhelytípus változat:	*kocsánytalan tölgyes-cseres klímájú, időszakos vízhatású, kovárványos barna erdőtalaj, homok fizikai féleséggel és mély termőréteggel*

Talajvizsgálati jegyzőkönyv

s.sz.	**szint**	**Váz**	**pH**		**$CaCO_3$**	**össz. só**	**Fenol.**	**y_1**	**y_2**	**K_A**	**hy**	**Mechanikai összetétel**				**Humusz**	**AL-P mg/100g talaj**	**AL-K mg/100g talaj**
												Dh	**Fh**	**I**	**A**			
	cm	%	H_2O	KCl	%	%	%	%	%		%	%				%		
1.	0-25	0	5,4	4,3	0	-	-	8,83	1,48	34	2,12	-	-	-	-	1,0	26,3	7,1
2.	25-60	0	7,0	6,5	6	-	-	0	0	29	1,04	-	-	-	-	0,9	19,5	5,7
3.	60-110	0	6,3	4,9	0	-	-	4,13	0	32	1,07	-	-	-	-	0,3	12,9	9,5
4.	110-145	0	6,4	4,8	0	-	-	4,54	0	29	0,87	-	-	-	-	0	15,8	5,3
5.	145-200	0	6,3	5,1	0	-	-	3,28	0	28	0,81	-	-	-	-	0	16,0	5,5

11. táblázat: 2. talajszelvény vizsgálati eredményei

2. szelvény

A 2. szelvényt a terület magasabban fekvő, északi negyedében jelöltük ki, a terület mintegy 1 méterrel magasabb térszintű felét jellemzi.

A talaj vizes oldatban mért kémhatása a feltalajban savanyú ($pH_{(H2O)}$=5,4), a szántott réteg alatt végig semleges ($pH_{(H2O)}$=6,3-7,0). A szelvény felső szintjében kifejezett kilúgozódást tapasztalhatunk, lejjebb – vélhetően a felszínhez közeli talajvízszintnek és a vízmozgást fékező kovárvány hatásnak köszönhetően – ez a kilúgozódás gyengébb. A KCl-os pH értékek határozottan, 1,6-0,5 egységgel alacsonyabbak, ami rejtett savanyúságra, vagyis szintén kifejezett kilúgozásra utal. A talaj kémhatása a tápanyagok feltáródása, a tápanyag-gazdálkodás szempontjából optimális.

A pH-nak megfelelően a felső talajszintből a kilúgozás hatására a könnyen oldható sók, így a szénsavas mész is lemosódtak. A 25-60 cm között megtalálható mész eredhet a vízzel telített kapilláris zóna felszín közeli só-mozgásaiból, másrészt lehet, hogy a korábban csemetekertként üzemelő területen tápanyag-utánpótlást, esetleg meszezést végeztek.

Szóda és összes só nincs jelen a talajszelvényben, szikesedési folyamatoknak nincs jele.

Az Arany-féle kötöttség alapján a talaj fizikai félesége homok, az alsóbb talajszintekben homokos vályog. A 60-110 cm közötti szint fizikai félesége agyagos homok, benne kovárványcsíkok figyelhetők meg. A homokos feltalaj az esővizet gyorsan beereszti, benne hamar a mélybe szivárog, csak kevés vizet tart vissza. A mélybe szivárgást azonban a kovárványcsík kedvezően lassítja, a nedvességet és tápanyagokat ez a szint visszatartja.
A vízgazdálkodási fokot a homok fizikai féleség mellett a kovárványhatás, a mély termőréteg, valamint jelentős mértékben a felszínhez közeli talajvíz szintje határozza meg. A talajban a 110 cm mélységtől megjelenő rozsdafoltok jól jelzik a magas talajvízszintet, melynek szintje az április végi mintavételkor 180 cm volt. Ez igen kedvező a kísérleti fás szárú energiaültetvény szempontjából.

A talaj mintegy 110 cm mélységig tartalmaz humuszt, de csak kis mennyiségben. A talajművelés következtében a korábbi zárt erdőállomány alatt kialakult humusz a felső 50-60 cm-ben eloszlott, szintje egyenletesen alacsony. A tápanyag-ellátottság a humuszos szint

vastagsága és a humusztartalom alapján közepes, ezt megerősítik a további tápanyagvizsgálatok.

A talaj AL-oldható foszfor tartalma az egész szelvényben 12,9-26,3 mg/100 g talaj, ez közepes foszfor-ellátottságot jelez. Az AL-oldható káliumtartalom 5,3-7,1 mg/100 g talaj, ami viszont alacsony káliumtartalmat jelent.

Talajhibát a termőrétegben nem találtunk.

A kovárványos barna erdőtalajok homok fizikai féleséggel és kis humusztartalommal bírnak. Ennek ellenére vízgazdálkodásuk a kovárvány csíkok vízmegtartó képessége miatt jónak mondható (*Járó, 1963*). Ezen csíkok hatása a tápanyag-gazdálkodásra is kedvező, mert nagyobb kolloidtartalmuk több növényi tápanyagot köt meg, valamint a hosszabb ideig tartó ideális nedvességi állapot lehetőséget ad arra, hogy a növények a tápanyagot megfelelően hasznosítsák (*Stefanovits, 1992*). Így megállapítható, hogy ez a talajtípus is alkalmas fás szárú energetikai ültetvény telepítésére.

4.2. Meteorológiai adatok kiértékelése

Dejtár községhez legközelebb - légvonalban 8 km-re - Balassagyarmaton a Springa-dombon üzemelt meteorológiai mérőállomás 2012 szeptemberéig. Azt követően Romhány község adatai váltak elérhetővé (*29. ábra*).

29. ábra: Az ültetvény és a közeli meteorológiai állomások elhelyezkedése (forrás: Google Earth)

Az alábbi táblázat a Balassagyarmaton (2011. január – 2012. szeptember) és Romhányban (2012. október – 2013. december) mért havi átlagos minimális és maximális hőmérsékleti értékeket jeleníti meg °C-ban 2011 és 2013 között.

Hónap	Minimum hőmérséklet (°C)			Maximum hőmérséklet (°C)		
	2011	2012	2013	2011	2012	2013
január	-3,9	-3,9	-4,3	1,1	3,9	1,6
február	-4,1	-9,0	-1,7	2,7	1,5	4,3
március	-0,4	-1,2	-0,8	11,8	14,7	6,7
április	4,8	4,7	4,0	19,6	18,5	17,9
május	7,3	8,6	9,3	23,7	25,0	21,3
június	13,0	13,2	12,4	26,2	27,4	25,3
július	14,2	15,7	11,3	25,4	29,1	29,0
augusztus	13,9	12,9	12,6	28,7	29,9	29,2
szeptember	9,8	8,9	6,6	26,4	24,6	20,1
október	3,2	5,0	3,6	15,8	16,1	17,9
november	-3,2	2,8	2,1	7,5	10,1	10,1
december	-1,2	-5,2	-2,7	3,7	0,7	3,7

12. táblázat: Havi átlagos hőmérsékleti adatok (°C), Balassagyarmat, Romhány (URL 28.)

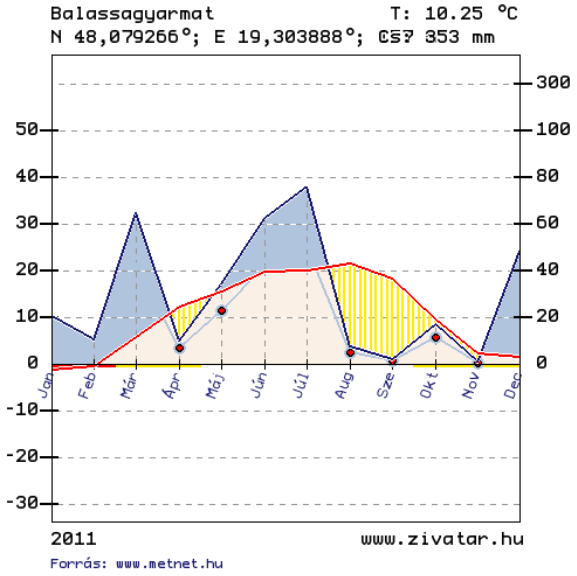
A havi csapadékösszegek kimutatása (Balassagyarmat: 2011. január – 2012. szeptember, Romhány: 2012. október – 2013. december):

Hónap	Havi csapadékösszeg (mm)		
	2011	2012	2013
január	20,5	43,3	76,9
február	10,5	17,7	90,8
március	64,7	0,0	138,8
április	10,0	48,2	36,3
május	34,3	12,1	96,3
június	62,4	73,5	49,5
július	76,0	104,7	3,1
augusztus	7,1	5,1	94,3
szeptember	2,0	44,9	44,7
október	16,6	84,4	50,2
november	0,6	33,8	82,1
december	48,3	51,4	8,3

13. táblázat: Havi átlagos csapadékösszeg adatok (mm), Balassagyarmat, Romhány (URL 28.)

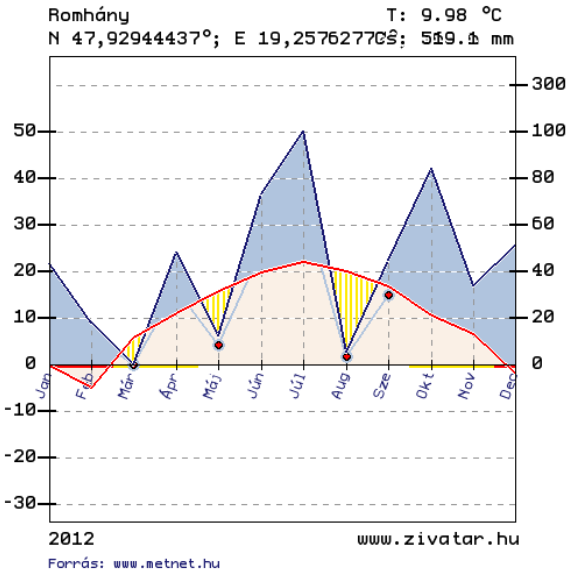
A kapott adatok alapján Walter-Lieth féle klímadiagramot készítettem (*URL 29.*). A diagramon az aszályos, arid időszakot a sárga vonalak, míg az aszályveszélyes időszakot a piros körök szemléltetik.

A *30. ábrán* jól látható, hogy a 2011-es év szokatlanul száraz, aszályos időszak volt, mely nagyban ronthatta volna az újonnan telepített energetikai ültetvény megeredését. Szerencsére ez nem következett be, mivel a 2010-es év többletcsapadékából visszamaradt nedvesség segítette a dugványok megeredését. Sajnálatos módon augusztustól októberig tartó időszak is erőteljesen aszályos volt, ami negatív hatással volt a megfelelő növekedésre.



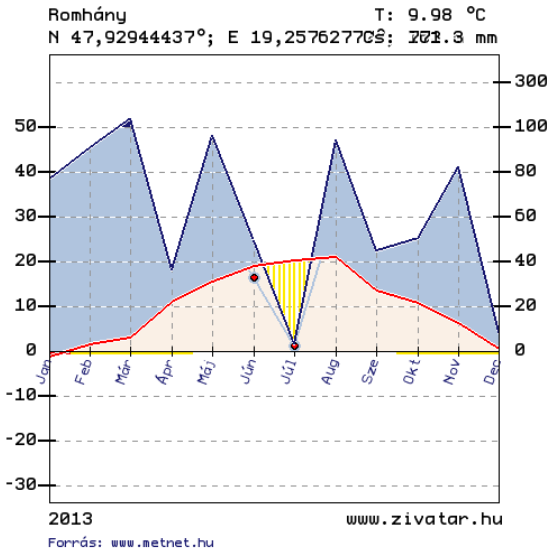
30. ábra: Walter-Lieth féle klímadiagram, Balassagyarmat 2011.

A 30 éves adatsort (1971-2000, nincs ábrázolva) összevetve a 2012-es adatokkal szembetűnő, hogy ezen májusi adatok jóval alacsonyabbak, a klíma jóval szárazabb volt, mint az ezt megelőző években (*31. ábra*). A nagy tavaszi aszálynak tudható be, hogy a 2012 tavaszi pótlások az ültetvényben rendkívül rossz, szinte 0%-os, azaz sikertelen megeredést produkáltak.



31. ábra: Walter-Lieth féle klímadiagram, Romhány 2012.

A 2013-as klímadiagram (*32. ábra*) jól mutatja, hogy ez az év csapadékban bővelkedő volt, mely a növedék adatokon is jól mutatkozik. A nyár - nem megszokott módon - ebben az évben aszályos júliust és csapadékos augusztust hozott.



32. ábra: Walter-Lieth féle klímadiagram, Romhány 2013.

4.3. Megeredési vizsgálatok

Az ültetést csapadékos év előzte meg (918 mm) (*URL 28.*), a talaj nedvességi állapota kedvező volt, így az ültetőgödrökben részben megjelent a víz. Egy olyan aszályos évben, mint 2011, technológiailag sokat számít, hogy milyen csapadékeloszlású volt az előző év, valamint, hogy mennyi nedvességet képes magában tárolni a szaporítóanyag. A rövid dugványok esetében a fajta szárazságtűrése és eredési képessége is nagy szerepet kapott, a karódugványok pedig már vizes rétegeket értek, így azok kiváló megeredésére számítani lehetett. A meteorológiai adatsorokat vizsgálva kitűnik, hogy a 2011-es évben az átlagos minimum hőmérsékletet (4,5 °C) alacsonyabb volt, mint az azt megelőző években (*URL 28.*).

A megmaradásra vonatkozó vizsgálatainkat az előző fejezetben ismertetett módon végeztük el, majd kiszámítottuk az egyes kategóriák százalékos megoszlását (*14. táblázat*).

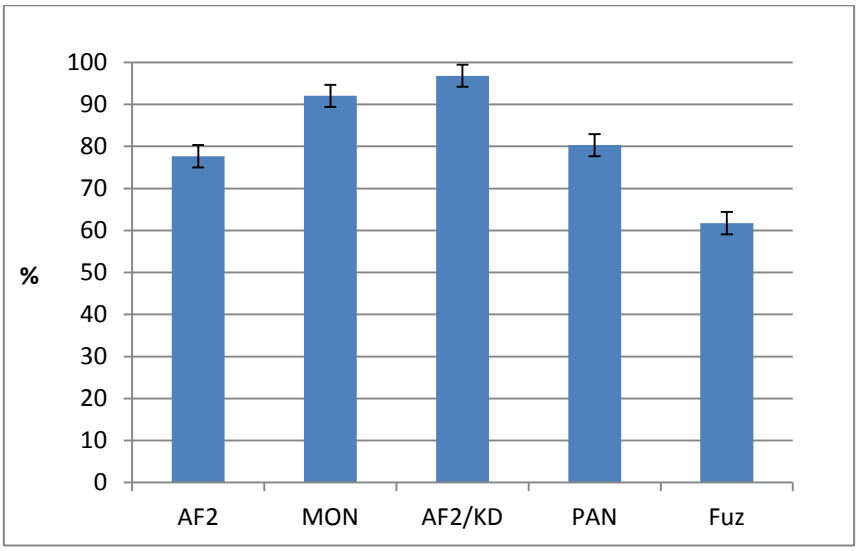
Megeredési kategóriák				Összesen
0	1	2	3	
20,80%	9,40%	15,10%	54,70%	100%

14. táblázat: Eredési kategóriák százalékos eloszlása (0: nincs megeredés, 1: rügyek megduzzadtak, 2: levelek 2-5 cm-esek, 3: levelek 5 cm-nél nagyobbak)

A táblázat jól szemlélteti, hogy a dugványozás után 2 héttel a szaporítóanyag 1/5-e nem indult eredésnek. A dugványok 54%-a már nagyméretű, egészséges leveket hozott (*33. ábra*), 15%-uk csak kisebb leveleket viselt magán és közel 10% volt az, ahol még nem pattant meg a rügy.

33. ábra: Példa a 3. kategóriára, Dejtár (saját fotó)

Az eredési vizsgálatot a fajtákra is elvégeztük, melyet a *34. ábra* szemléltet.



34. ábra: A megmaradás százalékos megoszlása standard hibával a fajták tekintetében

Eszerint az AF2 fajtájú karódugványok mutatták a legjobb megeredési százalékot, őket a 'Monviso' követte. A fűz nem szolgált bíztató eredményekkel és sajnos a későbbi száraz klimatikus viszonyok miatt sem növekedett aránya. A 'Dékány' fűz, mivel magas vízigényű fajta, nem volt képes megbirkózni a terület adottságaival, így csekély számban eredt meg, később el is tűnt a területről. A statisztika eredménye több esetben is szignifikáns különbségeket mutatott, ezeket az *1. számú melléklet* tartalmazza.

A fent említett meteorológiai viszonyok között az 'AF2' és a 'Monviso' volt az életképesebb fajta, bár az irodalmi adatokból és a fajtatulajdonosok leírásaiból tudhatjuk, hogy kedvezőbb körülmények között akár 95-100%-os megmaradást is képesek produkálni (*Paris et al., 2011*).

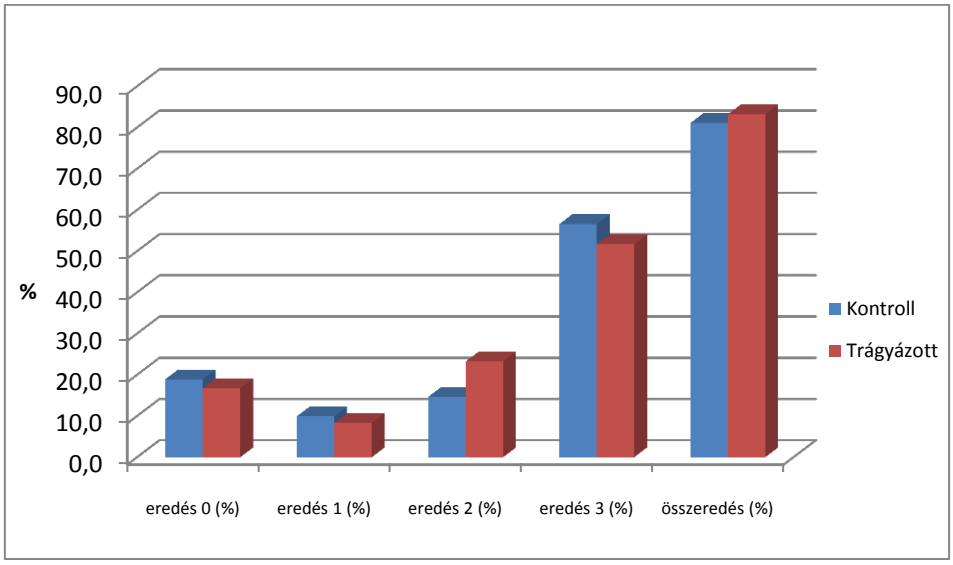
Összevetve más kísérlettel, a 85% körüli eredési eredmények elégedettségre adnak okot (*Dillen et al., 2013*) és mutatják, hogy nem ritka az sem, hogy egy fajta valamilyen okból kifolyólag eltűnik az adott területről (*Al Afas et al., 2008a*). *Kaczmarek et al. (2013)* szerint az eredmények azt mutatják, hogy a gyökerező képesség egyike lehet a főbb tényezőknek a túlélésben. Ezen túl pedig a szaporítóanyag minősége és mérete is nagyban befolyásolja a túlélést és a növekedést.

4.3.1. A kezelések hatása a dugványok megeredésére

A tápanyag-utánpótlás az ültetés előtt 1 héttel került kivitelezésre. A felvételi adatok alapján megvizsgáltuk, hogy a kezeléseknek volt-e valamilyen hatása az ültetvény életének 1. hónapjában a dugványok megeredésére, azonban a kezdeti eredmények még nem mutattak szignifikáns különbséget (*35. ábra*).

A fahamuval és szerves trágyával, röviddel a dugványozás előtt a talajba juttatott többlet tápanyag tehát még nem hasznosult olyan ütemben, hogy az a dugványok megeredésében is látható különbséget okozzon. Ez megfelel a várakozásoknak, hiszen a dugványok megeredésekor elsősorban magában a dugványban tárolt tartalék tápanyagok hasznosulnak először, a termőhelynek kezdetben elsősorban a vízszolgáltató képességén keresztül van nagy befolyása a megeredésre.

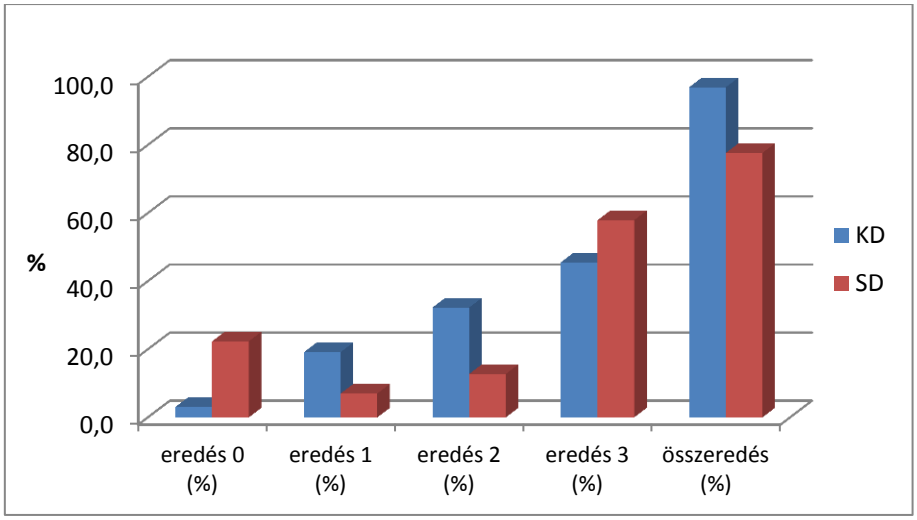
A különböző tápanyag-utánpótló kezelések és az eredés között jelentős összefüggés nem mutatkozott.



35. ábra: A kezelések hatása a dugványok megeredésére (0: nincs megeredés, 1: rügyek megduzzadtak, 2: levelek 2-5 cm-esek, 3: levelek 5 cm-nél nagyobbak)

4.3.2. A sima dugványok és a karódugványok eredésének összehasonlítása

A fajták vizsgálatán kívül a két különböző dugványtípust is értékeltük (*36. ábra*). A rövid dugványok megeredése átlagosan 77,93% volt, ezzel ellentétben a 2 méteres, 'AF2' karódugványok 96,82%-a indult eredésnek a 2. hét végéig. Ez a magas eredési arány - a fajta tulajdonságán kívül - az ültetés eredményes, alapos kivitelezésének is köszönhető.



36. ábra: Karó- és rövid dugványok megmaradásának összehasonlítása az különböző eredési kategóriák vonatkozásában (KD – karódugvány, SD – simadugvány,0: nincs megeredés, 1: rügyek megduzzadtak, 2: levelek 2-5 cm-esek, 3: levelek 5 cm-nél nagyobbak)

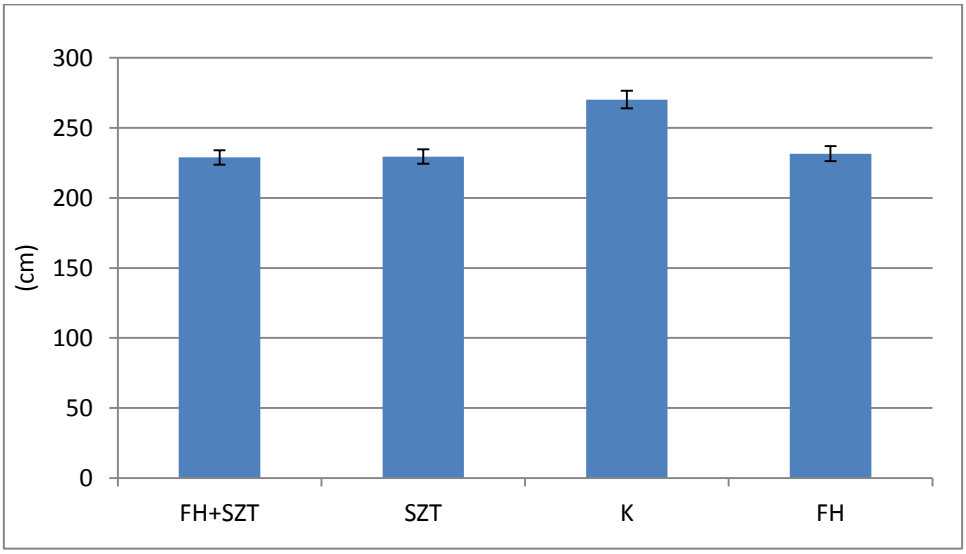
A *36. ábrán* jól látható, hogy a karódugványok megeredése mintegy 20%-kal jobb volt, mint a sima dugványoké. A karódugványok beszerzése természetesen nagyobb költséggel jár, ültetésük munkaerőigénye is jóval nagyobb, de a kezdeti eredmények alapján sokkal kisebb a veszteség telepítésükkor. A továbbiakban a karódugványok nagyobb fatermés hozama is várható, már az ültetvény létesítésének évében is, így később fontos elemzési szempont lesz az, hogy a drágább beszerzési ár ellenére gazdaságosabb-e a sima dugványnál.

4.4. Dendrometriai mérések

4.4.1. Az első tenyészidőszak mérési eredményei

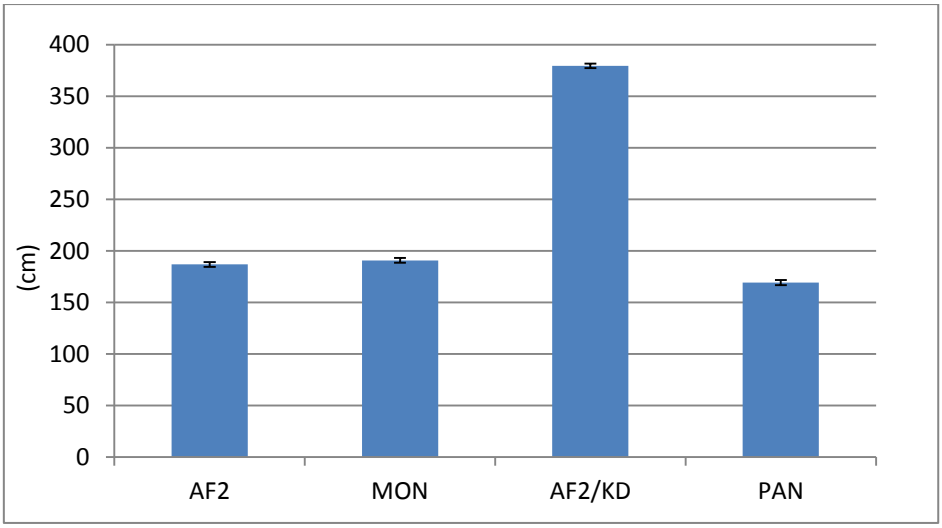
Az első vegetációs periódus végén végzett dendrometriai mérések (magasság- és tőkerület mérésből számított tőátmérő) alapján vizsgáltuk a fajták és a kezelések közötti eltéréseket.

A magasság vizsgálata során (*37. ábra*) a legalacsonyabb átlagot a kombináltan kezelt parcellákon kaptuk, ettől kissé eltérő a szerves trágyával kezelt terület, míg a fahamus parcellákon mindössze 231,58 cm-t mértünk. Ezektől statisztikailag is eltérő eredményeket a kontroll parcellákon mértünk, 270,19 cm-t. Ebből következik, hogy pár hónap, esetünkben közel 4 hónap alatt még nem mutatkozik meg a trágyázás hatása a fák magassági növekedésében. A statisztikai eredményeket a *2. számú melléklet* tartalmazza.



37. ábra: Magassági növekedésmenet vizsgálata a kezelések függvényében, 2011.(FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K:kontroll, FH: fahamu)

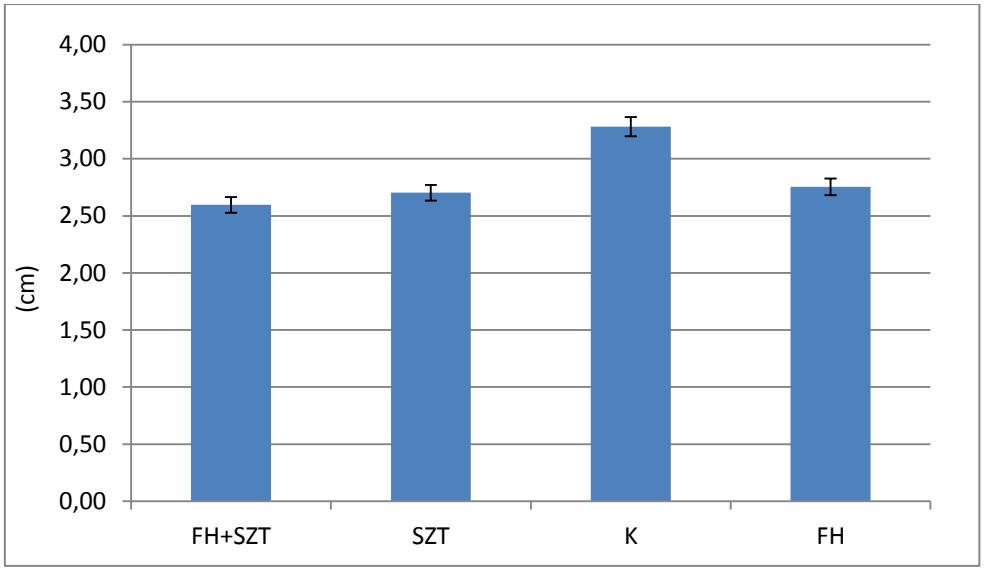
A fajtákat vizsgálva (*38. ábra*) az 'AF2'-es karódugvány 379,32 cm, az 'AF2' rövid dugvány 186,88 cm, a 'Monviso' 190,80 cm, míg a 'Pannónia' átlagosan csupán 169,33 cm volt. A rövid dugványokat tekintve a 'Monviso', illetve az 'AF2' növekedett a legjobban.



38. ábra: Magassági növekedés vizsgálata a fajták függvényében, 2011.

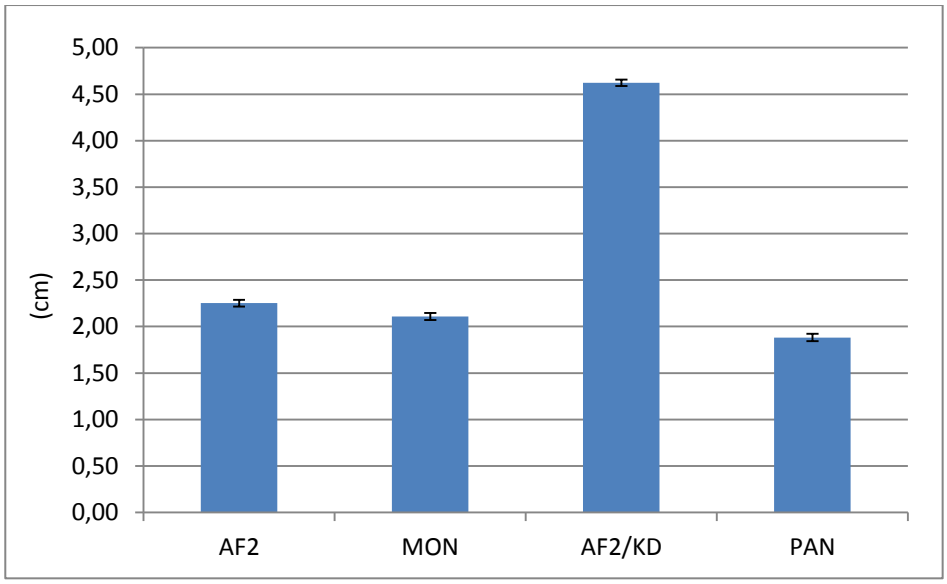
Ezek a fajták hasznosították legjobban a termőhelyi adottságokat. Bár a 'Pannónia' megeredési eredményei jók voltak, a 2011-es év nyári szárazságának negatív hatása ennek növekedésére volt a legnagyobb hatással, alacsonyabb magasság értéke statisztikai különbséget mutat. Magától értetődően a karódugványok eredményei szignifikánsan különböznek a sima dugványokétól (*3. melléklet*), így a kiértékelések során semelyik esetben sem kerülnek összehasonlításra.

A tőkerületből számított tőátmérők esetében (*39. ábra*), a magassági eredményekhez hasonlóan, a kezeletlen parcellákon kaptuk a legnagyobb eredményeket, átlagosan 3,28 cm-t. A kombináltan kezelt területeken csak 2,59 cm, a trágyázott területeken 2,70 cm, fahamus részeken 2,75 cm volt az átlagos tőátmérő. Ezek között a kontroll terület mutat statisztikailag értékelhető eltérést. Ez esetben szintén elmondható, hogy a trágyázásnak ilyen rövid idő alatt még nincs kimutatható hatása a növények biomassza hozamában (*4. melléklet*), azonban az eredmények így is kielégítőek, mivel az irodalomban 1 cm körüli átlagértékek olvashatóak (*Al Afas et al., 2008a*).



39. ábra: Tőátmérő vizsgálat a kezelések függvényében, 2011.(FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

A fajták esetében (*40. ábra*) a 'Pannónia' csupán 1,88 cm, a 'Monviso' 2,11 cm, az 'AF2' 2,25 cm, a karódugvány pedig 4,62 cm tőátmérőjű volt átlagosan. Ezek egymástól mind szignifikánsan eltérő eredmények *(5. melléklet*). A fajták esetében szintén a 'Pannónia' hozta a legkisebb átmérő értékeket, illetve az 'AF2' legnagyobbakat. Ezen adatokból arra következtethetünk, hogy a magasság és a tőátmérő pozitívan korrelál egymással, mely megállapítás megegyezik más hazai szerzők tapasztalataival is (*Vágvölgyi et al., 2014*).



40. ábra: Tőátmérő eredmények vizsgálata a fajták függvényében, 2011.

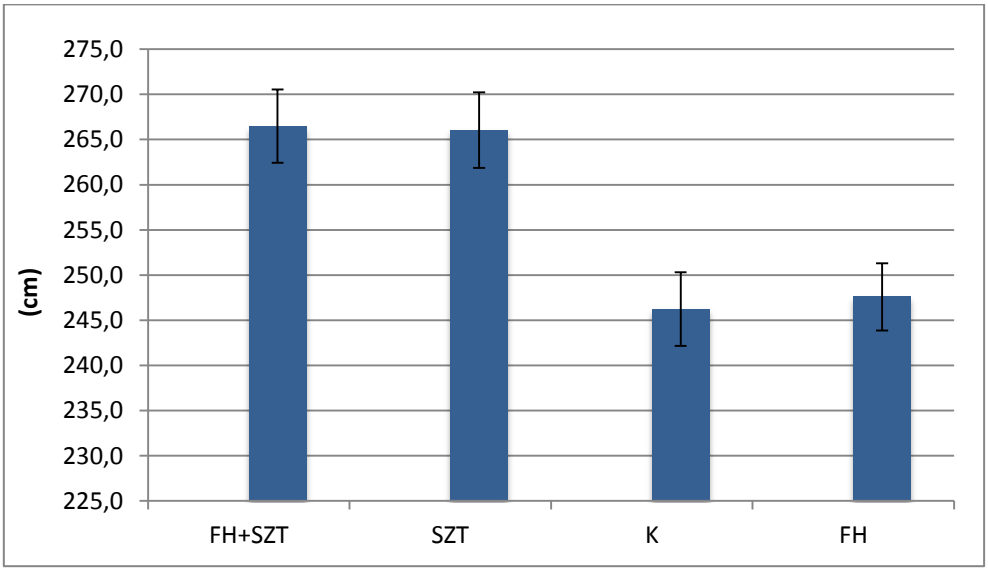
Fatömeg mérésre az első tenyészidőszak végén még nem került sor, mivel ebben az időszakban a hangsúly a megmaradási eredményeken, valamint a magassági növekedésen van.

4.4.2. A második tenyészidőszak mérési eredményei

4.4.2.1. Magasság és tőátmérő vizsgálatok 2012-ben

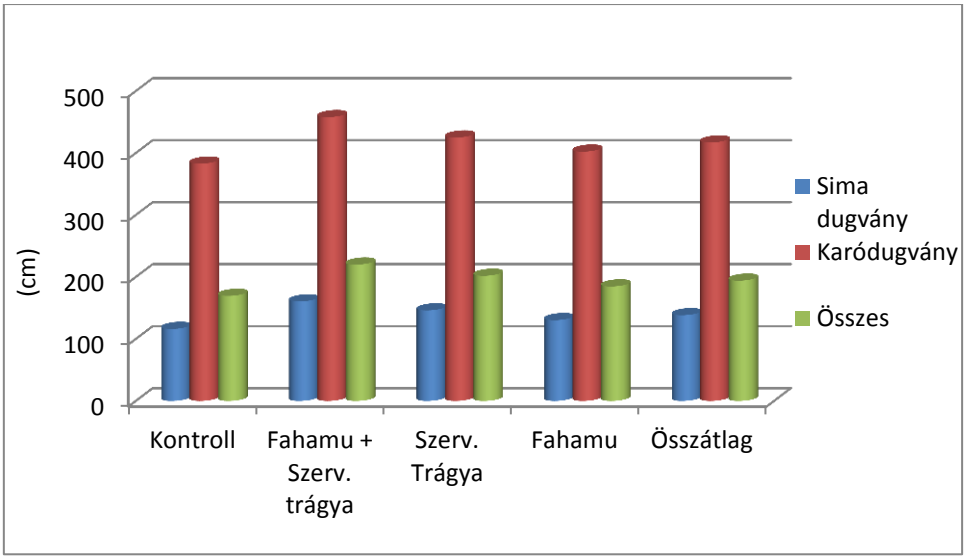
A kísérleti területen 2012-ben a vegetációs idő végén ismét magasság és tőátmérő vizsgálatokat végeztünk.

A magasság és a kezelések tekintetében a trágyázott és az együttesen kezelt parcellák közel azonos eredményt mutattak (266,48 cm és 266,05 cm), ezeket a *41. ábra* szemlélteti. A fahamus parcellák 247,59 cm, a kezeletlen parcellák csak 246,24 cm átlagmagasságot mutattak (*6. melléklet*).



41. ábra: Dugványok magassági növekedése a kezelés függvényében, 2012.(FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

A szaporítóanyag fajtájától függetlenül a magassági növekedés egyértelműen pozitívan korrelál a különböző kezelésekkel (*42. ábra*), így a legnagyobb átlagmagasságot a fahamuval és a szerves trágyával kombináltan kezelt parcellákban mértük.

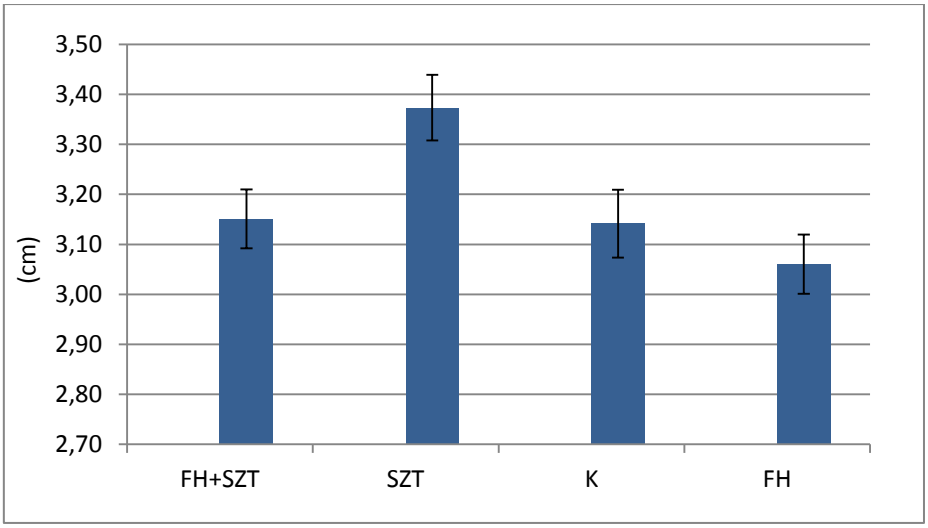


42. ábra: Különböző dugványtípusok magassági növekedése a kezelés függvényében

Karódugványok esetében a legnagyobb kezelésenként mért átlagmagasság 458 cm, simadugványok esetében fajtától függetlenül 161 cm volt.

Ha csupán a normál sima dugványok növekedését nézzük, akkor azt látjuk, hogy a szerves trágyás kezelés a fahamus kezelést mintegy 10%-kal túllépi. Mind a karódugványok, mind a simadugványok esetében a kontroll, kezeletlen parcellák mutatják a leggyengébb magassági növekedést. A kontrollhoz viszonyítva összességében a fahamu + szerves tárgya kezelés átlagosan 30%, a szerves trágya kezelés átlagosan 19%, míg a fahamu 9% többletnövedéket eredményezett.

A számított tőátmérőt vizsgálva megkaptuk, hogy a második évben a szerves trágyával kezelt parcellák kimagasló eredményt, 3,37 cm-t mutattak. A kombinált kezelés 3,15 cm, a kontroll 3,14 cm, a fahamus tápanyag-utánpótlás pedig a legkevesebb, 3,06 cm tőátmérőt eredményezett, az eredményeket a *43. ábra* szemlélteti.

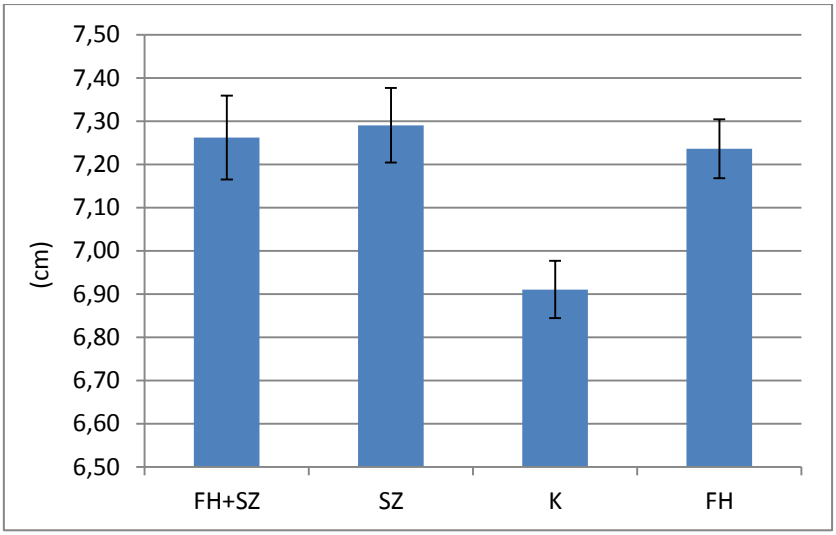


43. ábra: Tőátmérő vizsgálat a kezelések függvényében, 2012.(FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

A második vegetációs időszakban a tőátmérő vizsgálatok alkalmával már a szerves trágya alkalmazása mutatott szignifikánsan eltérő eredményeket (*7. melléklet*). Amint már bemutatásra került, a magasság tekintetében szintén a szerves trágyával, illetve a szerves trágya-fahamu komplexszel kezelt parcellák mutatták a legnagyobb értékeket. Ezekből az eredményekből arra következtetünk, hogy 2 vegetációs időszak elteltével már megmutatkozik a szerves trágyázás pozitív hatása, ám a fahamu hatása még kevésbé érzékelhető. Ebben szerepe lehet annak, hogy a tápanyagban szegény homoktalajon a többletként bevitt tápanyagok hasznosulásában a megfelelő tápelem-arányok is fontos szerepet játszottak. Ezek a nitrogénben szegény fahamu esetében kedvezőtlenebbül alakulnak, vagyis a nitrogén ebben az esetben, mint limitáló tényező korlátozza a többi tápelem felvételét is.

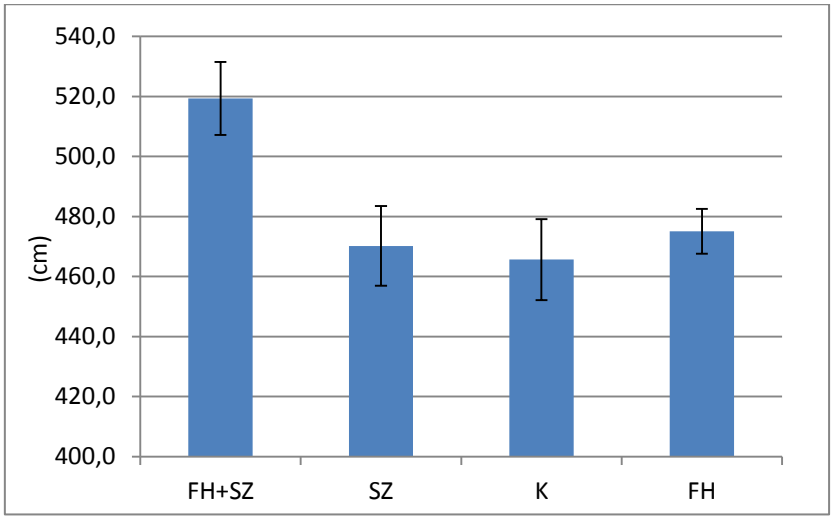
A 2012-ben végzett terepi vizsgálatok során az összes karódugvány magassági és tőkerület adatait, valamint minden karódugványos parcellában az ott található egyedek 1/3-ának tömegét felvettük.

A kerületmérésből származó tőátmérő esetében (*44. ábra*) a legmagasabb eredményt a szerves trágyázott területek hozták, 7,29 cm, a legalacsonyabbat pedig a kezeletlen területek, 6,91 cm. Így jelentős különbséget a kontrollparcellák mutattak a többi, tápanyag-utánpótolt blokkal szemben *(8. melléklet*).



44. ábra: Karódugványok tőátmérője a kezelés függvényében, 2012.(FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

A magasság mérésekor enyhén eltérő eredmények mutatkoztak (*45. ábra*). A legmagasabb eredményt a kombináltan kezelt parcellák adták (519,32 cm), míg a legalacsonyabbat a kontroll parcellák (465,61 cm). A hamuval trágyázott parcellák 475,01 cm, míg a szerves trágyával ellátott blokk 470,19 cm átlagmagasságot mutattak.



45. ábra: Karódugványok magassága a kezelés függvényében, 2012.(FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

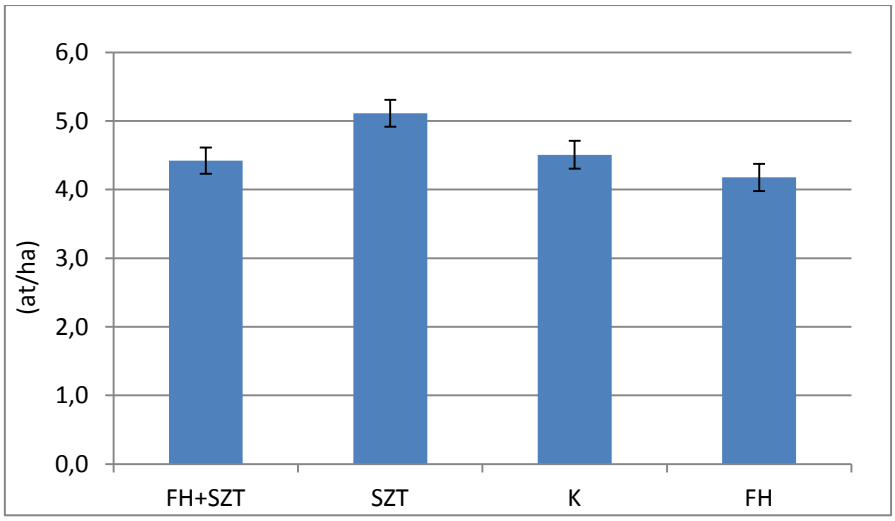
Szignifikáns eltérést a fahamuval és szerves trágyával együttesen kezelt parcellákon számítottunk. A magasság esetében ismét kiemelkedő volt a kombinált trágyázás hatása. A

csupán szerves trágyázott, vagy fahamuval trágyázott területek közel azonos eredményt hoztak, a kontroll parcellák számadatai jóval elmaradtak *(9. melléklet).*

4.4.2.2. Fatömeg vizsgálatok a második tenyészidőszakban

Ebben az évben már az egyes fák tömegét is bevontuk a vizsgálatba (*számítása Vágvölgyi-függvény alapján*). A mérések mind a rövid, mind a karódugványokra kiterjedtek. A legnagyobb nedves tömeget a szerves trágyával kezelt parcellák mutatták (3,25 kg). Ez az eredmény szignifikánsan eltér a kombináltan kezelt terület értékétől (2,74 kg) és a fahamus terület eredményétől, mely a legalacsonyabb, 2,65 kg-ot hozta. A kontroll területek átlagos tömege 2,89 kg. Az eredményeket összevetve az előző alfejezet tőátmérő értékeivel, már számítások nélkül is jól látszik a tőátmérő és a tömeg közti korreláció (*Vágvölgyi et al., 2014*). Szignifikáns különbséget csak a legmagasabb eredmények mutattak. Ebben az esetben is a pozitív trágyahatásra következtetünk (*10. melléklet*).

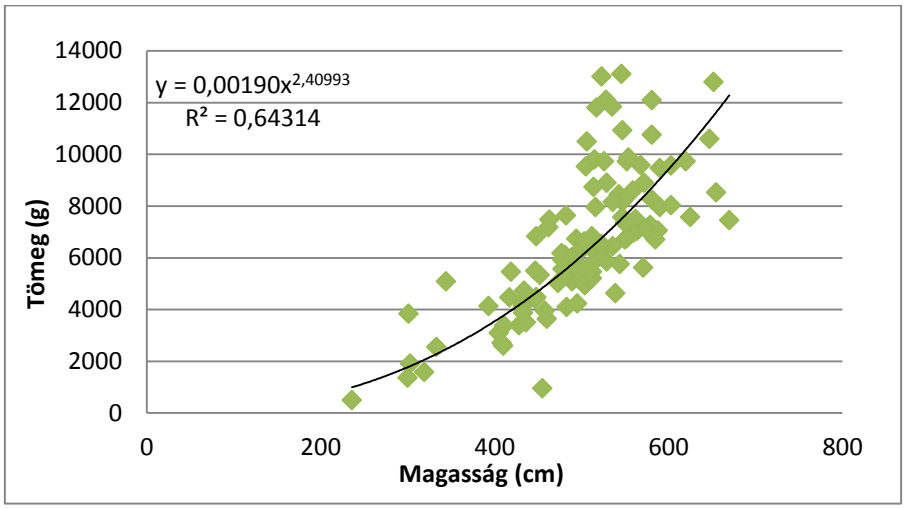
Ezeket az eredményeket – a szárítószekrényben elvégzett nedvességtartalom meghatározása után – átszámítva atrotonna/hektárra a következőket kapjuk (*46. ábra*): szerves trágya: 5,11 at/ha, kontroll: 4,51 at/ha, fahamu és szerves trágya: 4,42 at/ha, fahamu: 4,18 at/ha. A számítások során ezen mérések alapján 45%-os nedvességtartalommal számoltam. Szignifikáns különbséget csak a szerves trágyával kezelt parcellák esetében számoltunk (*11. melléklet*). Méréseink az irodalmi adatoktól (10-14 t/ha) még jelentősen elmaradnak (*Al Afas et al., 2008a*).



46. ábra: 1 hektárra eső száraz tömeg eredmények a kezelések függvényében, 2012.(FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

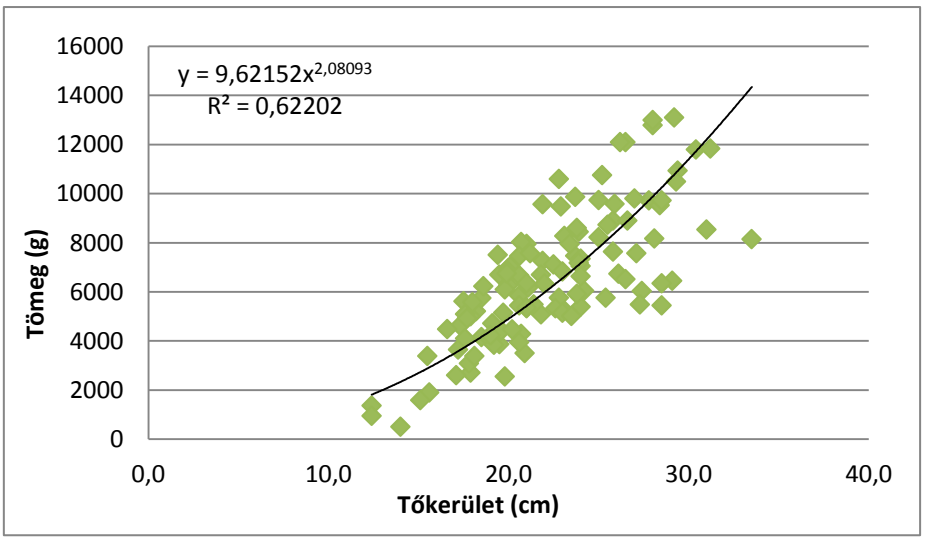
Az előző számításokon túl a második tenyészidőszakban a rendelkezésre álló tőkerület, mellmagassági kerület, illetve magasság értékekből meghatároztuk minden egyes karódugványként ültetetett faegyed fatömegét.

A mellmagassági kerület, tőkerület, illetve magasság és tömeg összefüggéseket hatványkitevős regressziós függvénnyel vizsgáltam. A vizsgálat eredményei a következő diagramokon láthatók:



47. ábra: A magasság és tömeg összefüggése 'AF2' karódugvány esetén

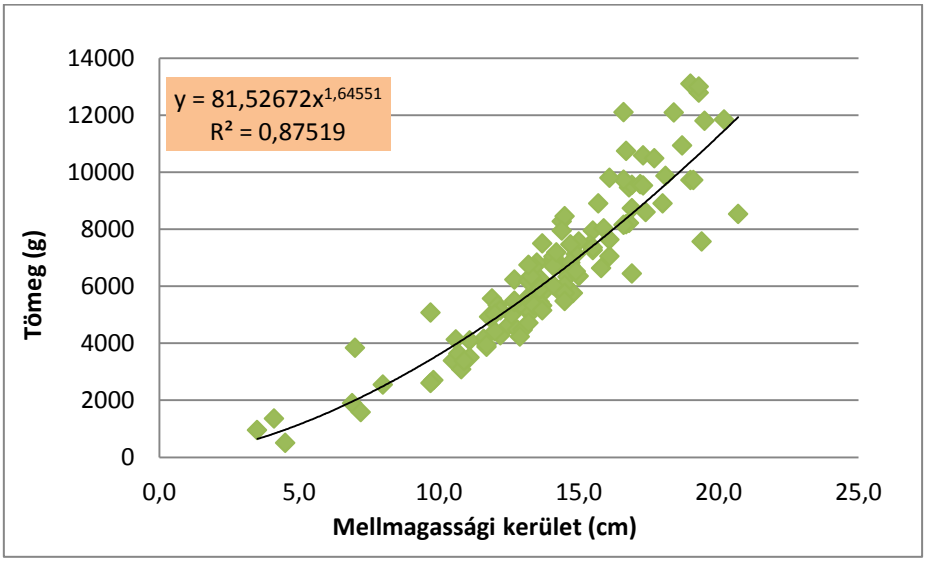
Irodalmi adatok alapján arra lehet következtetni, hogy a magassággal számolt tömeg függvénye adja a legalacsonyabb regressziós értéket (*Vágvölgyi, 2013*), azonban saját eredményeim alapján a magassággal 0,64-es, azaz jobb regressziós értéket kaptam (*47. ábra*), mint a tőkerület esetében (*48. ábra*).



48. ábra: A tőkerület és tömeg összefüggése 'AF2' karódugvány esetén

Az második év tenyészidőszakának adatai a tőkerület-tömeg függvény esetében 0,62-es regressziós együtthatót mutatnak (*48. ábra*). A szakirodalom szerint, a már kisebb méretű fák esetén is megjelenő terpesz - vagy ültetvények estén tősarjcsokor - erősen torzítja az értékeket, vagyis általánosságban elmondható, hogy kevésbé alkalmas függvényesítésre (*Veperdi, 2005*).

Ezért pontosabb eredményeket kapunk a teljesfa tömegének becslésére a mellmagassági átmérő alkalmazása esetén (*49. ábra*).



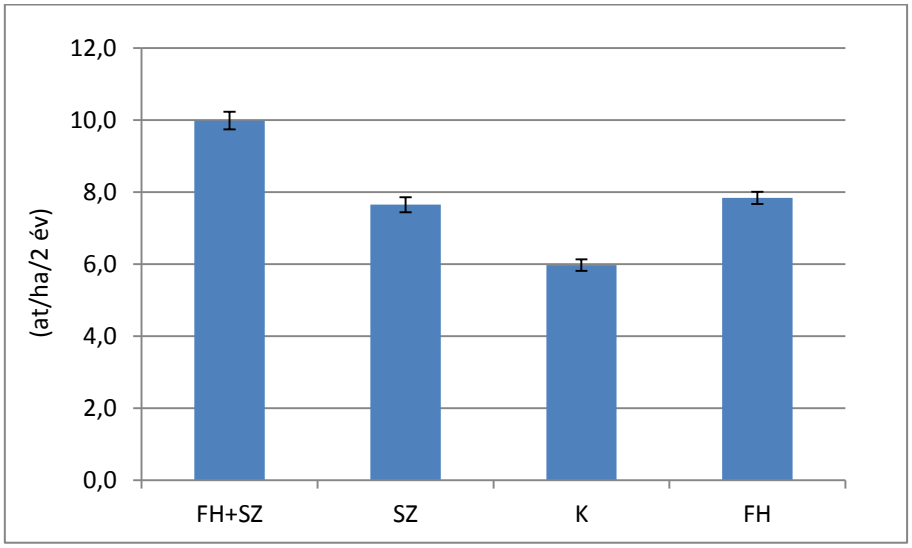
49. ábra: A mellmagassági kerület és tömeg összefüggése 'AF2' karódugvány esetén

A mellmagassági kerülettel számolt tömeg függvénye adta a legjobb regressziós értéket, ami a közel 0,88-as értékével (*49. ábra*) jónak mondható. A hatványkitevős regressziós függvényre a mért pontok viszonylag kis szórással illeszkednek.

Mivel a mellmagassági kerület és tömeg között mutatkozott meg a legszorosabb összefüggés, így tömegszámításaimat természetesen ezen függvény alkalmazásával készítettem el.

A kapott eredmények alapján vizsgáltuk a 2012. évi hozamot, melynek eredményeként megállapítható, hogy a legnagyobb nedves tömeget a kombinált kezelés produkálta (7,40 kg/tő), a legalacsonyabbat pedig a tápanyag-utánpótlásban nem részesülő parcellák (4,42 kg/tő). A trágyázott blokkok közül a fahamus 5,81 kg/tő, a szerves trágyázott 5,66 kg/tő hozamot adott. Ezek összehasonlítását leszámítva mindenhol jelentkezik szignifikáns különbség (*12. melléklet*). Megoszlását tekintve azonos eredményeket kaptunk az 1 hektárra vetített száraz tömeget vizsgálva. A kombinált trágyázás 9,98 at/ha, a fahamus 7,84 at/ha, a

trágyázott 7,64 at/ha, végül a kontroll csupán 5,97 at/ha, az eredményeket az *50. ábra* szemlélteti.



50. ábra: Karódugványok száraz tömege a kezelések függvényében, 2012. (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

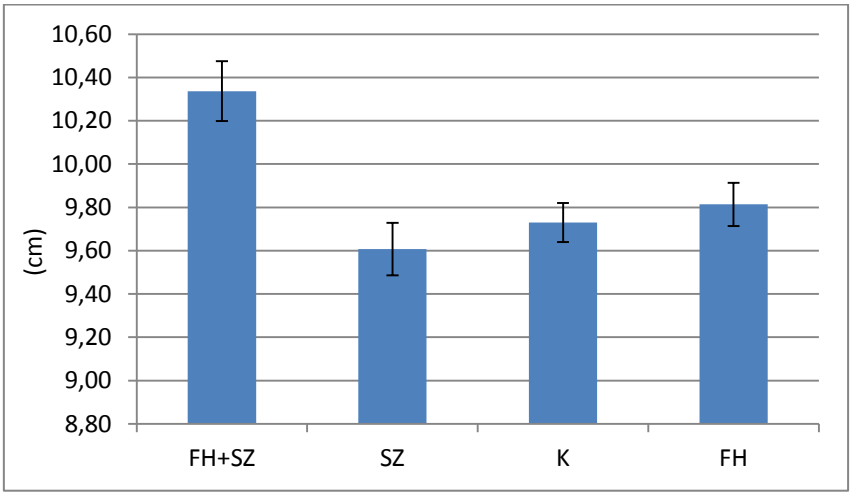
A 2 év alatt elért hozam is a várt eredményeket adta. A kombinált kezelés szignifikánsan meghaladta a szimpla kezeléseket, a legalacsonyabb tömeg eredményeket pedig a kezeletlen terület adta *(13. melléklet*). Jelen esetben is arra következtetünk, hogy a különböző trágyázási módszerek a 2. vegetációs időszak végére már jelezhetően kifejtik hatásukat. Ezen hatások a szerves, illetve a szervetlen trágyázás során is megmutatkoznak, csupán mértékük csekélyebb, mint azok együttes alkalmazásának. A megállapítások az 1 hektárra vetített szárazanyag-tartalomra is érvényesek. Ennek mérésekor esetünkben 55%-os nedvességtartalmat kaptam eredményül, mely termesztéstechnikailag jó eredménynek mutatkozik, azonban más irodalom 50,4-64,8%-os nedvességtartalomról is beszámol (*Fiala – Bacenetti, 2012*).

4.4.3. A harmadik tenyészidőszak méréseinek eredményei

A magassági, tőkerület és fatömeg paramétereket ismét megvizsgáltuk 2013-ban, azaz az ültetvény 3. vegetációs időszakának elteltével. Ebben a tenyészidőszakban már csupán a karódugványokra koncentráltunk, azok többcélú elemzését végeztük el.

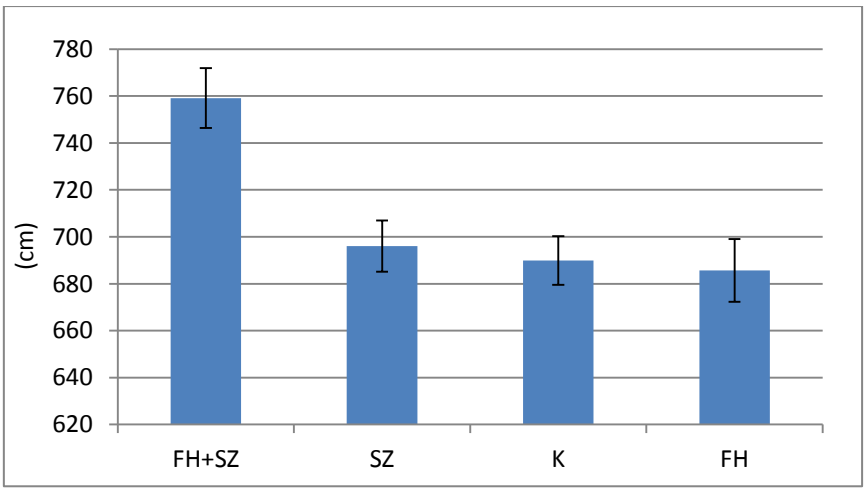
A tőátmérő vizsgálatok esetén (*51. ábra*) a trágyázott területen mértük a legalacsonyabb eredményt (9,61 cm), illetve a kombinát kezelés esetében a legmagasabbat

(10,34 cm), így ez a blokk szignifikánsan különbözik a másik három kezelési formától *(14. melléklet)*.



51. ábra: Karódugványok tőátmérője a kezelések függvényében, 2013. (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

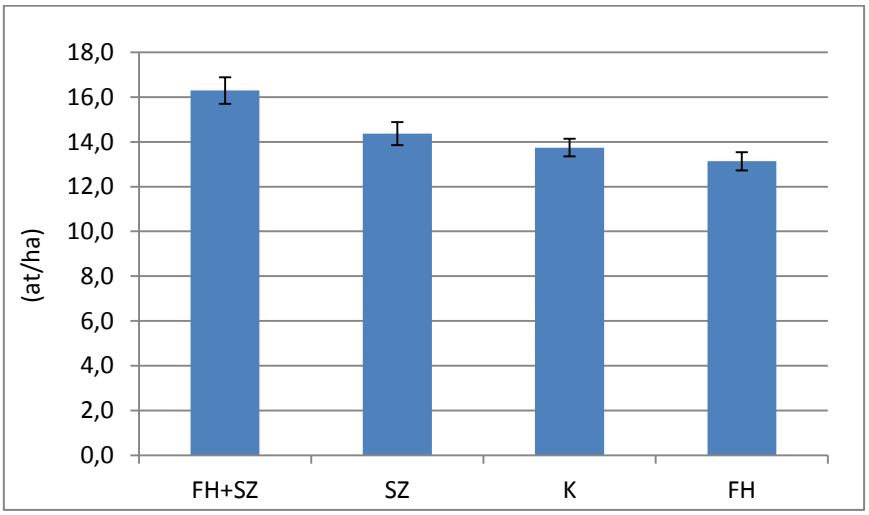
A magasság mérésekor (*52. ábra*) a legkiemelkedőbb és egyben szignifikánsan eltérő értékeket a kombinált kezelés adta, 759,15 cm-t. Ezen kívül a trágyázott parcella 696,07 cm, a kontroll 689,87 cm, a fahamus pedig csupán 685,67 cm értéket mutatott *(15. melléklet)*.



52. ábra: Karódugványok magassága a kezelések függvényében, 2013. (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

Ebben az évben a 3 év alatti hozam is mérésre került. Kimagasló eredményt a fahamu-szerves trágya komplexszel kezelt területek adtak, 12,07 kg/tő mennyiséggel. Ezt a trágyázott terület követte 10,64 kg/tő, majd a kontroll 10,18 kg/tő, végül a fahamus parcellák 9,73 kg/tő mennyiségekkel, melyek közül a kombinált kezelés eredményei bizonyultak szignifikánsan

különbözőnek *(16. melléklet)*. Ezen eredmények száraz tömegre és hektárra vetítve (*53. ábra*): fahamu+szerves trágya: 16,30 at/ha, szerves trágya: 14,37 at/ha, kontroll: 13,74 at/ha, fahamu: 13,13 at/ha *(17. melléklet)*.



53. ábra: Karódugványok száraz tömege a kezelések függvényében, 2013.(FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

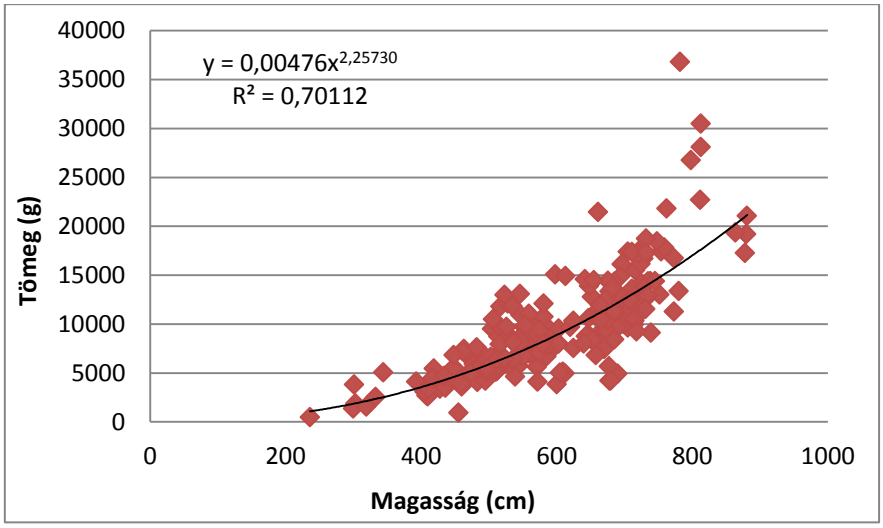
Ezeken az eredményeken is megmutatkozik, ami már a 2. év végén is, hogy a tőátmérő esetében a kombinált trágyahatás következtében szignifikánsan eltérnek az eredmények a kezeletlen blokkok értékeitől. A fahamuval vagy szerves trágyával külön trágyázott parcellák nem mutattak szignifikáns eltéréseket, nem különülnek el jelentősen egymástól. A magasság esetében ismét a kombinált kezelés mutatott szignifikánsan kimagasló értéket, ebben az esetben azonban a legalacsonyabb értéket nem a kezeletlen, hanem a fahamus terület mutatta. Hasonló eredményt kaptunk a 3 év alatt produkált hozam vizsgálatakor is. Legmagasabb hozameredményt és hektárra vetített szárazanyag-tartalmat az együttes tápanyag-utánpótlás adta, a leggyengébbet pedig a fahamu alkalmazása. Ez szintén következhet a nitrogénnel gyengén ellátott talajon a nitrogén limitáló hatásából, minek köszönhetően eredményeink kissé alacsonyabbak az irodalomban található más kísérletekhez képest (*Al Afas et al., 2008a, Al Afas et al., 2008b, Berthelot et al., 2000*).

Az ültetvény átlagos évenkénti hozama 5 atro t/ha/év volt, mely néhol megegyezik az irodalomban leírtakkal (*Johansson – Karačić, 2011*), néhol akár túl is szárnyalja azokat (*Laureysens et al., 2004*; *Walle et al., 2007*).

Az alábbi diagramok (*54-56. ábra*) azt szemléltetik, hogy a tőkerület adatok használatával ismételten egy kisebb regressziós értéket kaptam. A magasság esetében újfent

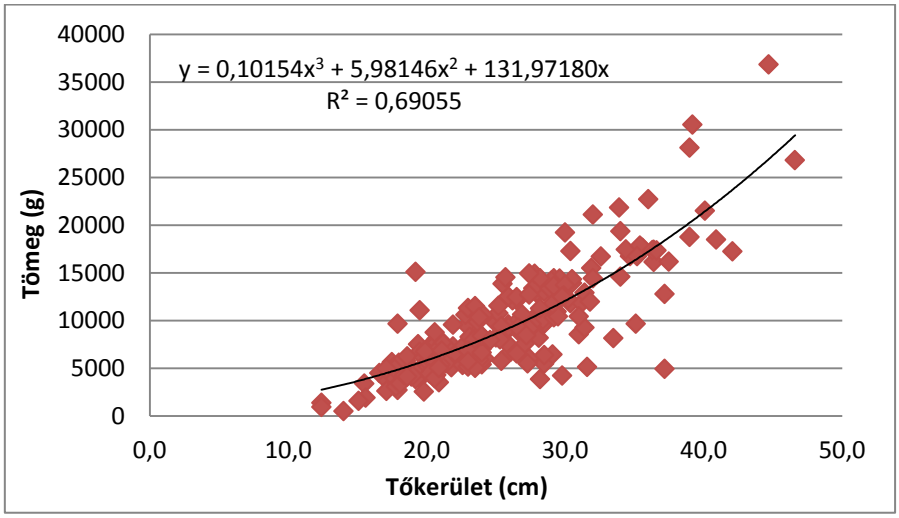
némileg jobb eredményeket értem el, míg a legjobb értéket a mellmagassági kerülettel számolt tömeg függvénye adta.

A magasság-tömeg függvény értékelésénél hatványkitevős regressziós függvényt alkalmaztam (*54. ábra*). A regressziós együttható 0,7-es értéke alacsony, ami azt jelenti, hogy a változók viszonylag kis összefüggést mutatnak egymással.



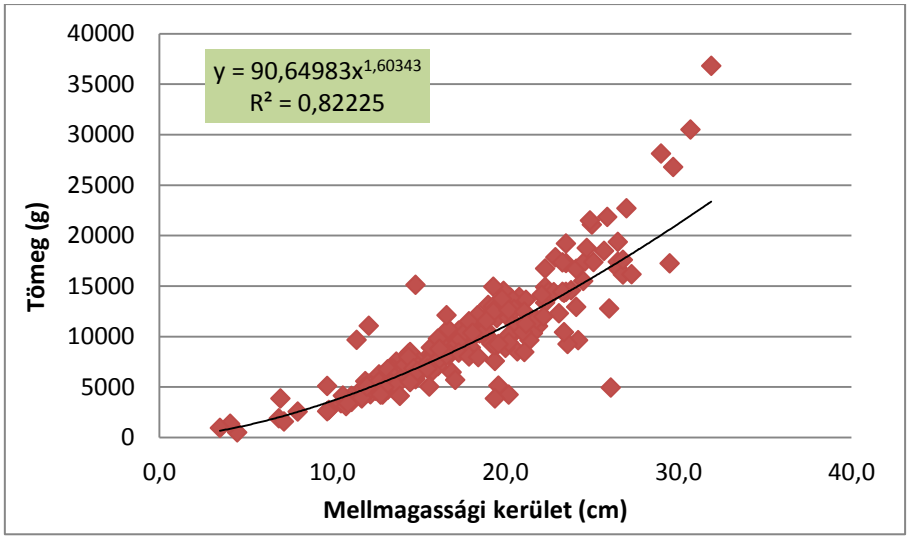
54. ábra: A magasság és tömeg összefüggése 'AF2' karódugvány esetén

A tőkerület és a tömeg esetében a legjobb regressziós értéket harmadfokú polinomiális függvény alkalmazásával kaptam. Azonban ez az érték még így is 0,7 alatt maradt (*55. ábra*).



55. ábra: A tőkerület és tömeg összefüggése 'AF2' karódugvány esetén

Az eredmények az előző évi adatokhoz viszonyítva ugyanarra engedtek következtetni, ennek értelmében a harmadik tenyészidőszak tömeg adatait a mellmagassági kerület-tömeg függvény segítségével számoltam ki, hatvány függvényt alkalmazva (*56. ábra*).



56. ábra: A mellmagassági kerület és tömeg összefüggése 'AF2' karódugvány esetén

A parcellánkénti nedves tömeg számítások eredményeit a *18. melléklet* szemlélteti.

A *19. melléklet* szemlélteti a hozam adatok statisztikai összegzését kezelésenként.

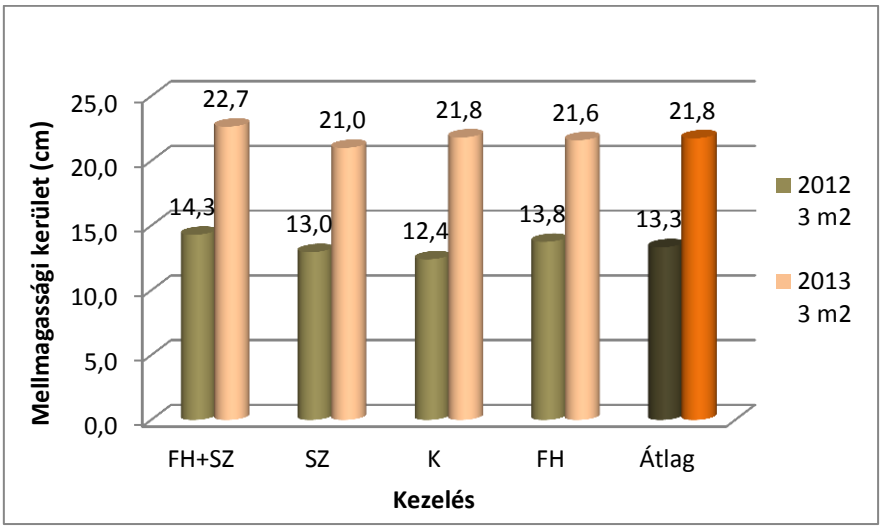
		Négyzet-összegek	Szabadságfok	Szórásnégyzet	F	Sig.
2 éves hozam	Csoportok között	1018,097	3	339,366	41,016	,000
	Csoporton belül	23729,581	2868	8,274		
	Teljes:	24747,679	2871			
3 éves hozam	Csoportok között	401,548	3	133,849	2,670	,046
	Csoporton belül	143372,736	2860	50,130		
	Teljes:	143774,284	2863			

15. táblázat: Egyutas varianciaanalízis táblázata a 2, illetve 3 éves hozamadatok vizsgálatának esetében

A *15. táblázat* szerint a 2011-2013 évek alatti hozam esetén szorosabb összefüggést találhatunk a hozam és a kezelések között. A szignifikancia értéke 0,000 tehát van összefüggés a magyarázandó változók között. Ugyanakkor a 3 éves hozamok esetén ez az érték megközelíti a Sig.=0,05 eredményt. Ha a Sig. értéke eléri, illetve meghaladja a 0,05 értékét, abban az esetben nincs összefüggés a változók között.

4.4.4. A két tenyészidőszak adatainak összevetése kezelésenként

A karódugványok mellmagassági- és tőkerület adataiból kiszámítottam a 3 m^2-es növőtérrel rendelkező fák második és a harmadik tenyészidőszakban mért adatainak átlagát, melyet táblázatos formában az *20. melléklet* tartalmaz. Ennek grafikus változatát jeleníti meg az *57. ábra*.

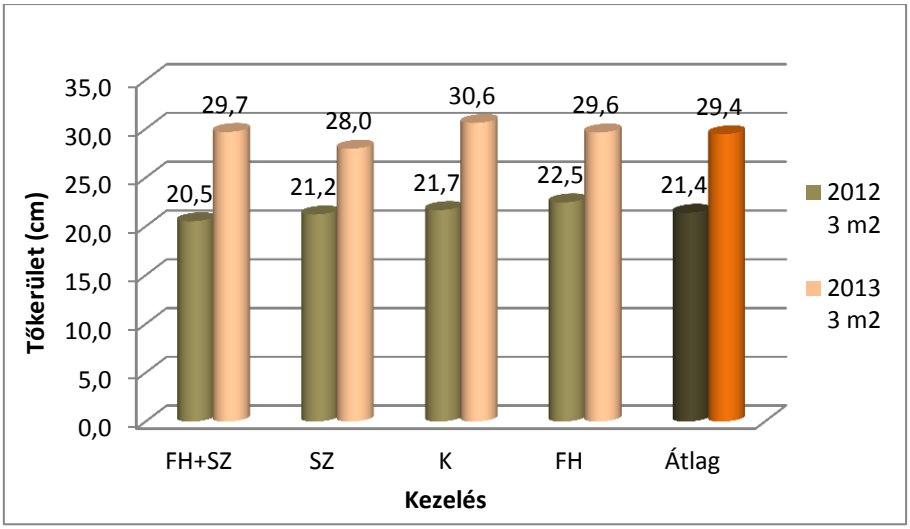


57. ábra: Mellmagassági kerület változása megegyező növőtér esetén (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu

A 2012-ben mért mellmagassági kerület adatok 12,4 cm és 14,3 cm között változtak. Ezek az értékek a következő időszakra 21,0 cm és 22,7 cm közé emelkedtek.

A legmagasabb értéket mindkét időszakban a fahamuval és szerves trágyával együttesen kezelt területek adták. A mellmagassági kerület esetén a legalacsonyabb érték a kontroll területekhez tartozik 2012-ben. A következő évek mérési eredményei alacsonyabb értékeket mutattak a szerves trágyával kezelt területen.

A tőkerület növekedését az *58. ábra* mutatja be. A tőkerület értékei 20,5 cm és 22,5 cm között, míg a következő időszakban 28,0 cm és 30,6 cm között változtak. Az első mérések azt eredményezték, hogy a legmagasabb értékek a fahamuval kezelt területeket jellemzik. A 2013-as évben kiemelkedő értéket a kontroll területek adtak, ehhez közel azonosak a fahamuval illetve a fahamu-szerves trágya komplexszel kezelt területek eredményei.



58. ábra: Tőkerület változása megegyező növőtér esetén (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

4.4.5. Növőtérvizsgálat eredményei

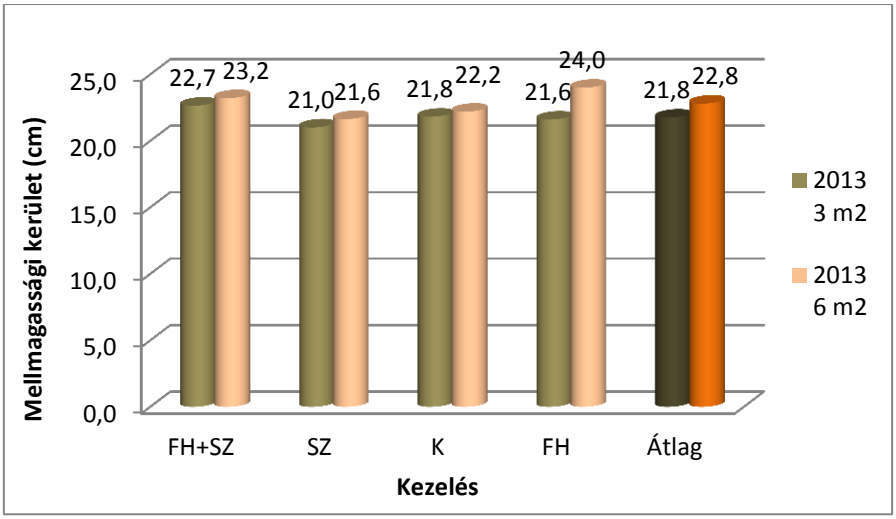
2012 márciusában minden karódugványos parcella 4 sorát kivágtuk, így növelve kétszeresre a fák növőterét. A következőkben az vizsgáltuk, hogy hogyan változott a 3 m^2-es növőtérrel rendelkező fák kerülete. A táblázatos eredményeket a *21. melléklet* tartalmazza.

Megvizsgáltam a tömeg és a növőtér kapcsolatát (*16. táblázat*):

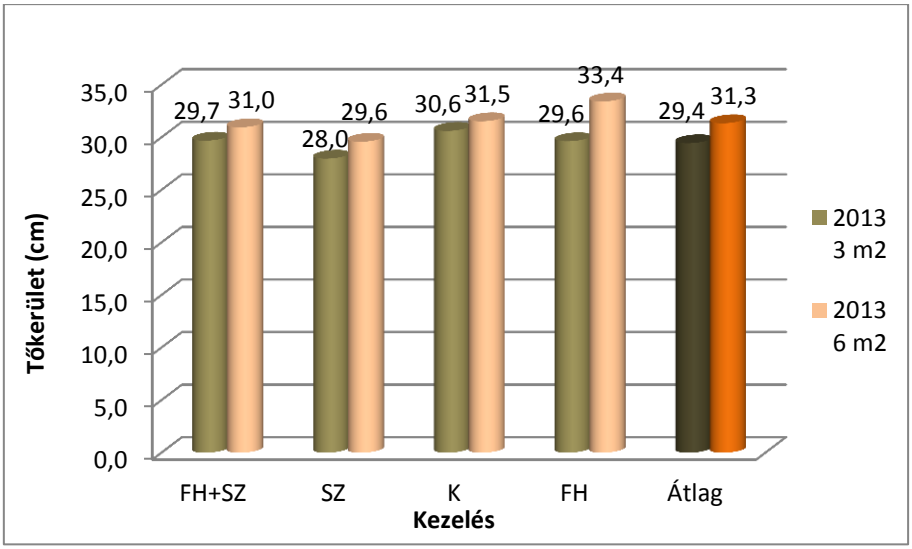
Növőtér (m^2)	Minta-szám	Átlag	Szórás	Szórás hibája	Átlag konfidencia intervalluma 95%-os valószínűséggel		Min.	Max.
					Alsó határ	Felső határ		
3,0	1530	12,9494	4,35039	,11122	12,7313	13,1676	1,27	34,81
6,0	528	14,0213	4,98512	,21695	13,5951	14,4475	1,31	38,56
Total	2058	13,2244	4,54467	,10018	13,0280	13,4209	1,27	38,56

16. táblázat: A növőtér és a tömeg kapcsolatát bemutató egyutas varianciaanalízis táblázata

Az eredmények alapján elmondható, hogy a megnövelt növőtér a tömegre is befolyással bír. A 3 × 1-es ültetési hálózat megnövelése 3 × 2-es hálózatra tömeggyarapodást eredményezett. A grafikus kiértékelésben is jól látszik, hogy minden kezelésben kimutatható a kerület gyarapodása abban az esetben, ha megnöveljük a növőteret (*59-60. ábra*).

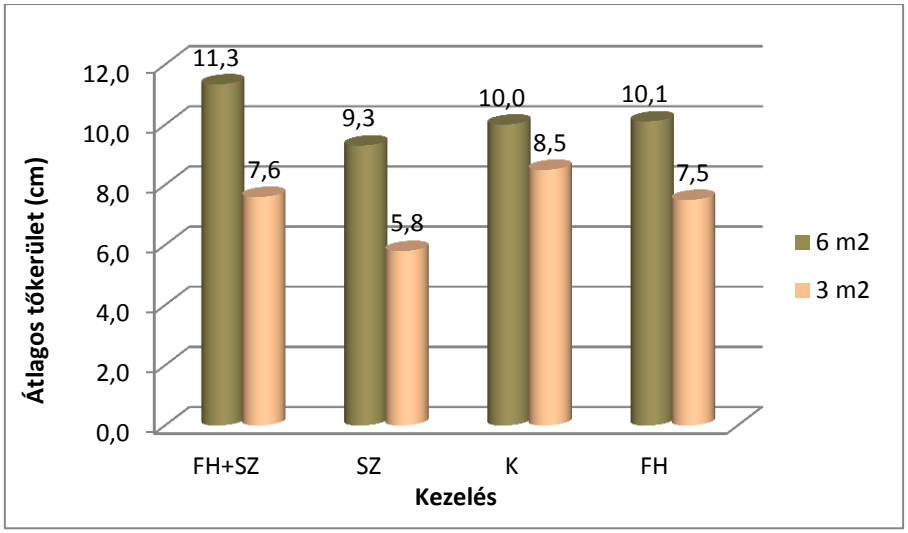


59. ábra: Mellmagassági kerület változása eltérő növőtér esetén (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)



60. ábra: Tőkerület változása eltérő növőtér esetén (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

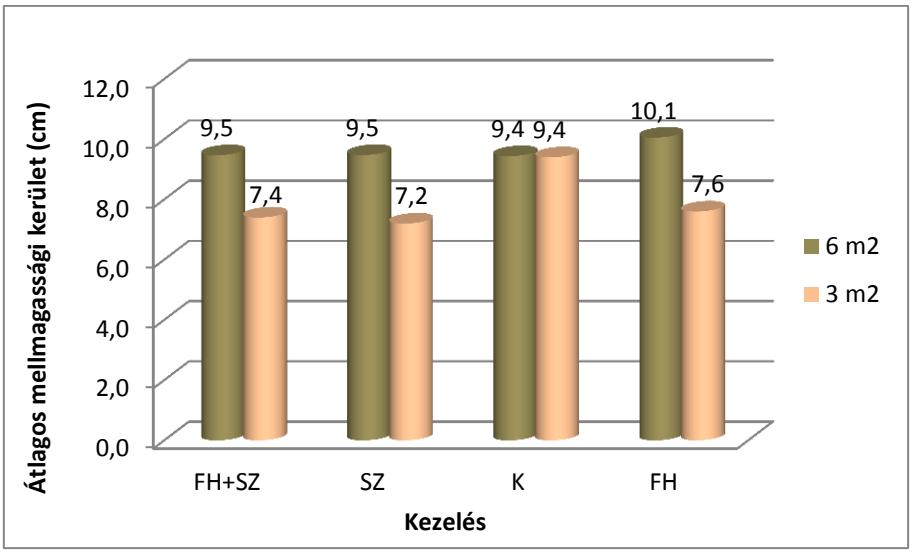
Megvizsgáltam, hogy a 6 m^2-es és 3 m^2-es növőtérrel rendelkező fák esetén mekkora volt az 1 tenyészidőszak alatti kerületgyarapodás. A pontosabb eredmény elérése érdekében a természetes mortalitás által megnövekedett növőtérrel rendelkező egyedeket az adatsor kiértékelésében nem vettem figyelembe.



61. ábra: Tőkerület változása a növőtér függvényében (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

A *61. ábráról* leolvasható, hogy a 6 m^2-es növőtér esetében az 'AF2' karódugványok átlagos tőkerülete egy tenyészidőszak alatt 9,3-11,3 cm-re növekedett. A legintenzívebb növekedést a fahamuval és szerves trágyával együttesen kezelt területek adták, míg a legcsekélyebb növekedés a kontroll területeket jellemzi. Ugyanakkor az eredeti 3 × 1 méteres ültetési hálózat esetén a kontroll területek kerületgyarapodása volt a legkimagaslóbb. A szerves trágyával kezelt területek ebben az esetben alulmaradtak.

A mellmagassági kerület esetében a *62. ábra* mutatja be a változásokat.



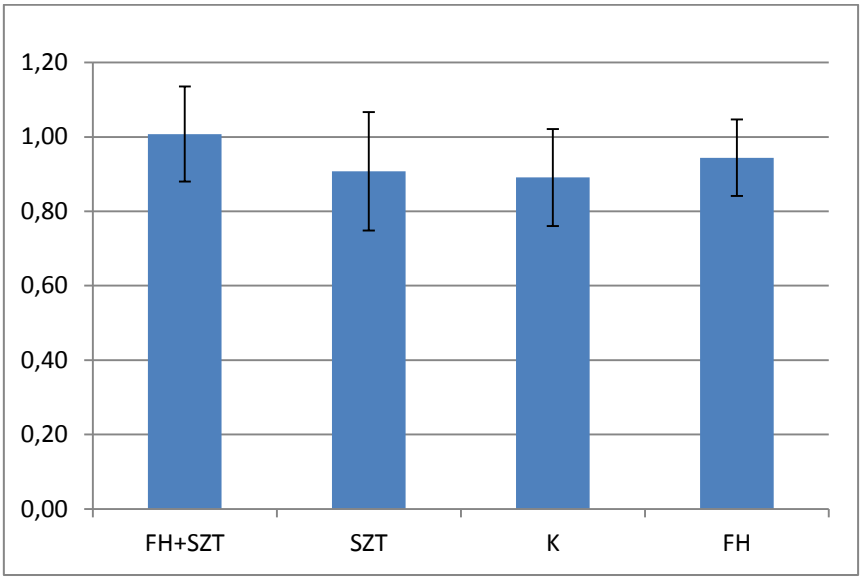
62. ábra: Mellmagassági kerület változása a növőtér függvényében (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

Ez esetben a legnagyobb gyarapodást a fahamuval kezelt területek adták, a többi kezelés viszonylag kiegyenlített értéket mutatott (9,4-9,5 cm). A 3 × 1-es ültetési hálózat esetén kimagasló volt a kontroll területek mellmagassági kerületgyarapodása, a legalacsonyabb értéket pedig a szerves trágyával kezelt területek adták.
Az eredmények láttán azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a 3 m^2-es növőtér esetén mind a mellmagassági kerület, mind a tőkerület gyarapodása alul marad a megnövelt, 6 m^2-es növőtérhez képest minden kezelés esetében.

Mind a mellmagassági átmérő, mind a tőátmérő tekintetében a szerves trágyával kezelt területek mutatták a legkisebb intenzitást a gyarapodás tekintetében.

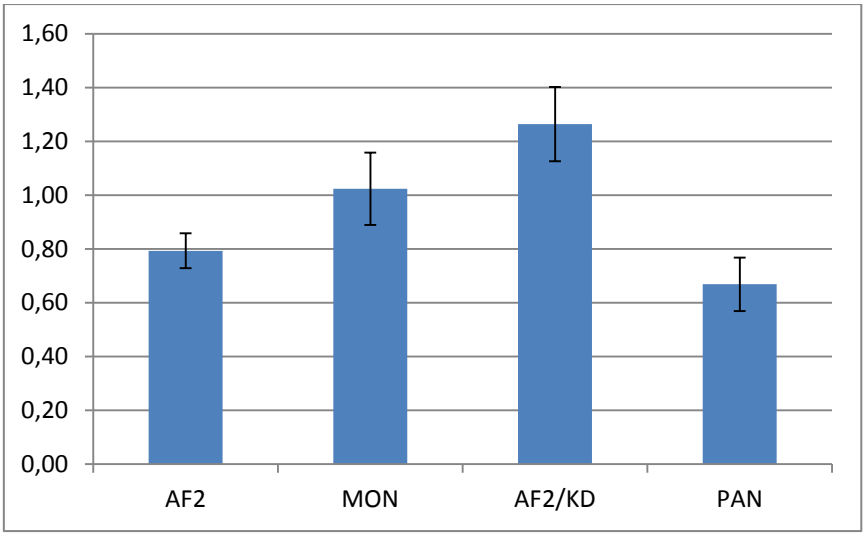
4.5. Levélfelületi index vizsgálata

A levélfelületi index (LAI) mérésre 2011 és 2013 vegetációs időszakának végén került sor. 2011-ben a komplex esetében 1,01, a fahamus parcellákon 0,94, a szerves trágyás parcellákon 0,91, a kontrollon pedig csupán 0,89 volt az index értéke, köztük szignifikáns eltérés nem mutatkozott (*63. ábra*).



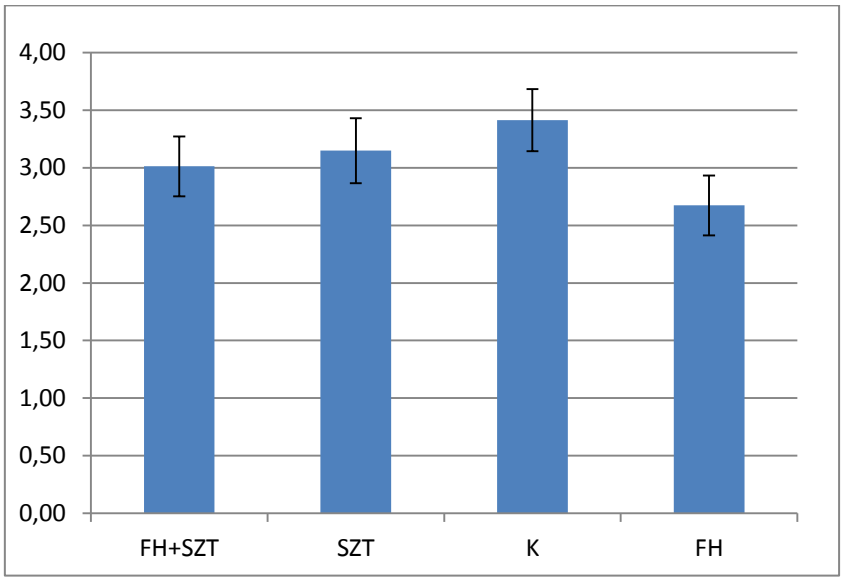
63. ábra: Levélfelületi index eredmények a kezelések függvényében, 2011. (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

A fajták tekintetében a *64. ábrán* már látszik jelentős eltérés. A várakozásoknak megfelelően legmagasabb értéket a karódugványok adták (1,26), majd a sima dugványok közül a legnagyobb értéket 'Monviso' fajta produkálta (1,02). Ezt az 'AF2' (0,79), majd a 'Pannónia' követte (0,67). Szignifikáns különbséget a karódugvány mutatott, valamint a 'Monviso' kontra 'Pannónia' értékek. Ezen eredmények nagyban hasonlítanak a megeredéskor kapott értékekhez.



64. ábra: Levélfelületi index eredmények a fajták függvényében, 2011.

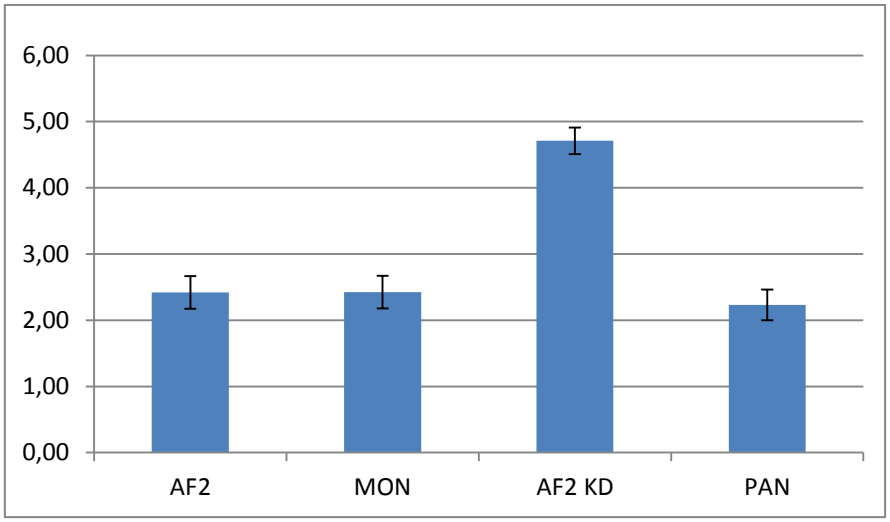
2013-ban, az ismételt vizsgálatok során, a kezelések tekintetében a szerves trágyával kezelt terület mutatott nagyobb levélfelület gyarapodást (3,15), ezt a kontroll parcellák követték (3,41). A komplexszel kezelt blokk 3,01, a fahamus terület csupán 2,67-es index értéket mutatott (*65. ábra*).



65. ábra: Levélfelületi index eredmények a kezelések függvényében, 2013. (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

A tápanyag-utánpótlási vizsgálatok során szignifikáns különbség sem 2011-ben, sem 2013-ban nem mutatkozott a LAI tekintetében. Ez utalhat arra, hogy ennyi idő alatt még nem hasznosul a tápanyag olyan mértékben, hogy ez a levélfelületben is jelentősen megmutatkozzon.

A *66. ábrán* is jól látszik, hogy a legmagasabb LAI értéket az ‘AF2’ karódugvány adta (4,71). A sima dugványok közül az ‘AF2’ (2,42) és a ‘Monviso’ (2,43) fajták emelkedtek ki, a sor végére pedig a ‘Pannónia’ került 2,23-os indexszel. Az ‘AF2’ karódugvány az összes kategóriától szignifikánsan eltér.

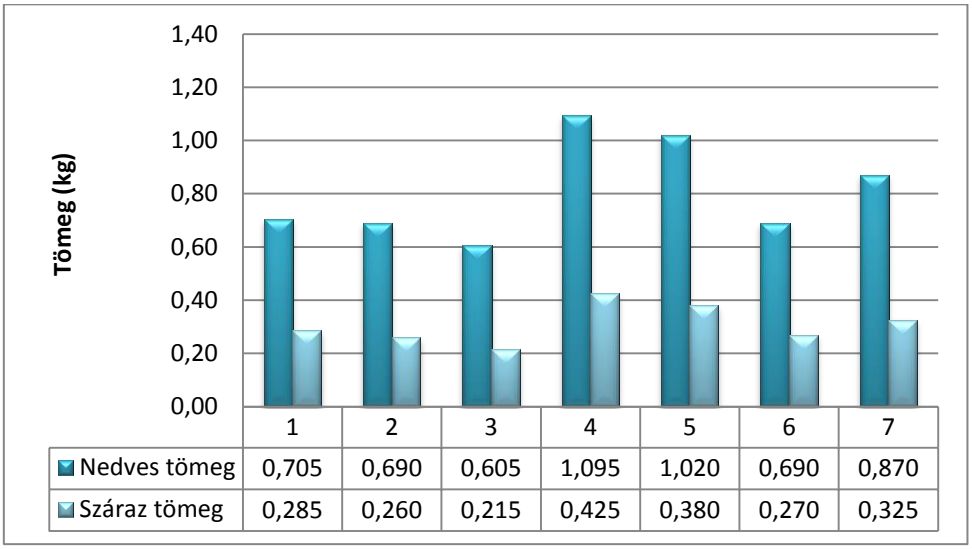


66. ábra: Levélfelületi index eredmények a fajták függvényében, 2013.

A 3. vegetációs időszak után az átlag adatok nagyjából 3 körül mozogtak. A nemzetközi irodalmak is 2 és 6 között értékekről számolnak be a 3. év után, így eredményeink jónak tekinthetőek (*Al Afas et al., 2008b; Wittwer - Stringer, 1985; Laureysens et al., 2005*).
Megállapítottuk, hogy a 2 év alatt a LAI értékekei megháromszorozódtak. Ehhez leginkább a szerves trágyával való kezelés járult hozzá.
A nemesnyárnak, az ültetési hálózat miatt, általában 4-6 között mozog a LAI értéke (*Ceulemans et al., 1993*). Rengeteg módszer létezik a mérésre, melyekből adódhatnak kisebb eltérések (*Pontailler et al., 2003*), azonban a megfigyelések így is azt sugallják, hogy nemesnyár ültetvényeken is egyszerű és általános kapcsolatokat lehet megbecsülni a fiatal, nagy sűrűségű állományok egyedeinek tulajdonságai és levélfelületei között (*Ceulemans et al., 1993*).

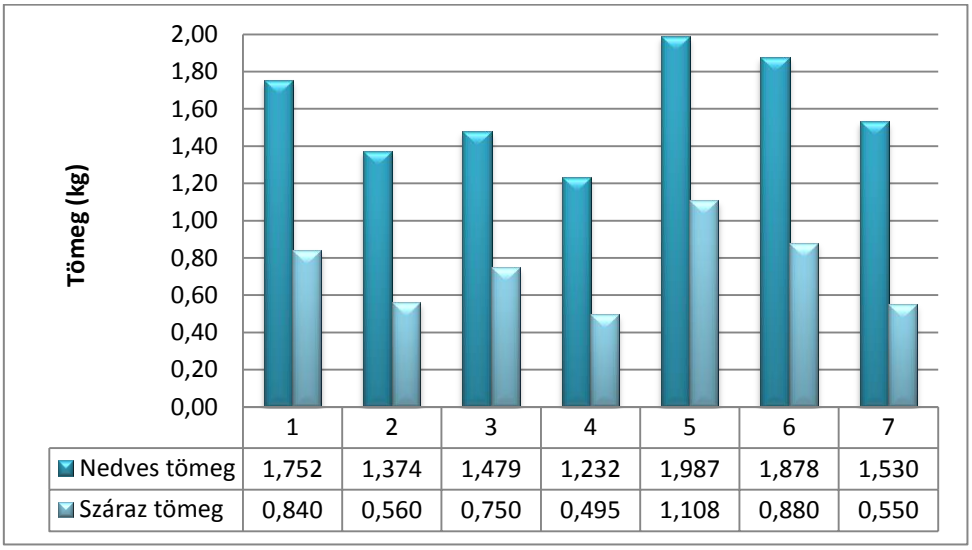
4.6. Szárazanyag-tartalom vizsgálat eredményei

A szárazanyag-tartalom felvételezések során 7-7 db mintát vettem ‘AF2’ karódugványokból. Ezen vizsgálatok táblázatos eredményeit a *22. melléklet* tartalmazza.



67. ábra: Szárazanyag-tartalom vizsgálat, 2012.

Az első felvételezés során (*67. ábra*) a minták nedves tömege 0,605 kg és 1,095 kg közé estek. Ezek az értékek a szárítás után 0,215 kg és 0,425 kg között változtak, így a második tenyészidőszak mintái azt mutatták, hogy az átlagos szárazanyag-tartalom 38,02%.

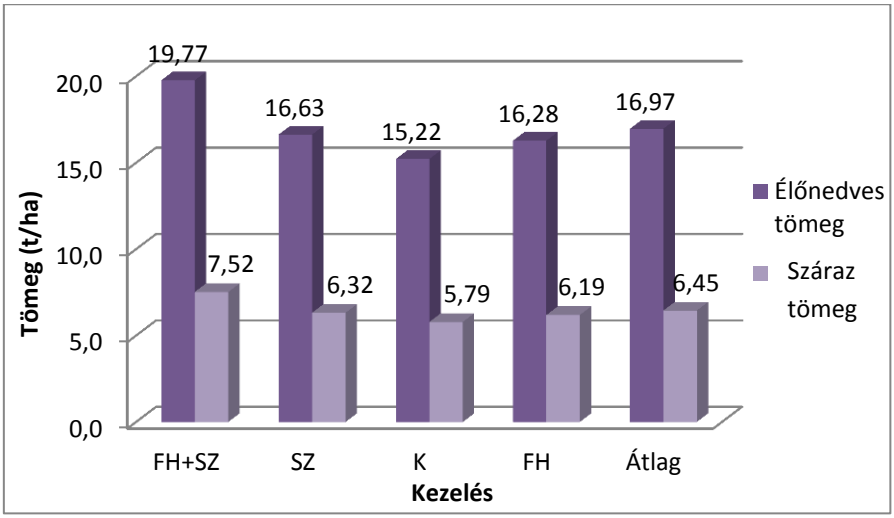


68. ábra: Szárazanyag-tartalom vizsgálat, 2013.

A második felvételezés során (*68. ábra*) a nedves tömegek 1,987 kg és 1,232 kg közé estek. A száraz tömegek értéke 0,495 és 1,108 között változtak, tehát a harmadik tenyészidőszak mintái azt mutatták, hogy az átlagos szárazanyag-tartalom 45,45%.

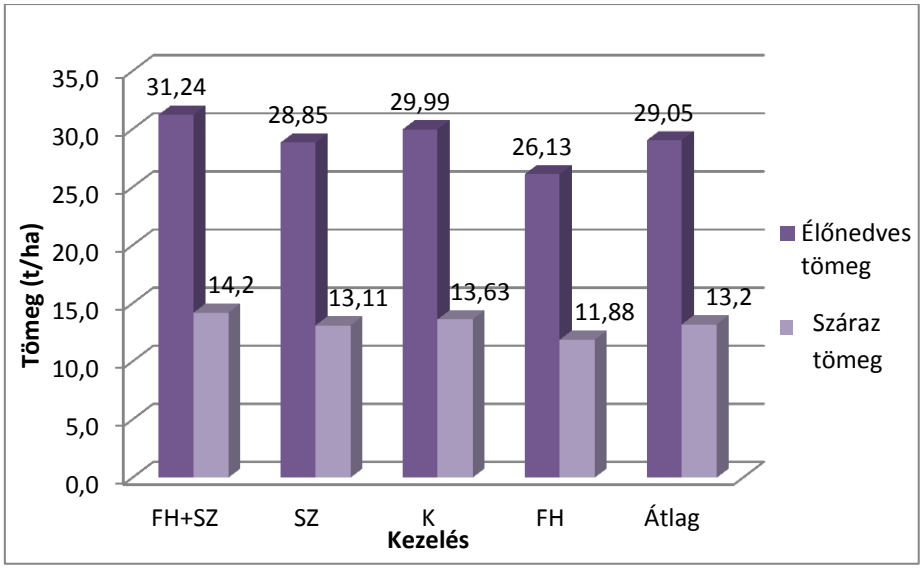
A szárazanyag-tartalommal számított tömegek értékeit atrotonnában a *23. melléklet* szemlélteti. Ebben a mellékletben összefoglaltam a mért illetve számolt adataimat, azaz az élőnedves tömeg és a szárazanyag-tartalom vizsgálat eredményei alapján számított atrotonna értékeket.

A második tenyészidőszak adatai alapján megállapítható, hogy a kezelésenkénti sorrend nem változott meg, csak az értékek. Az átlagot tekintve az élőnedves tömeg 16,97 lutro t/ha értéke 6,45 atro t/ha-ra csökkent (*69. ábra*).



69. ábra: Az élőnedves tömeg és száraz tömeg értékei a második tenyészidőszakban, 2012. (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

A harmadik tenyészidőszakban az átlag élőnedves tömeg 29,05 t/ha-ról 13,2 t/ha száraz tömegre csökkent (*70. ábra*).



70. ábra: Az élőnedves tömeg és száraz tömeg értékei a harmadik tenyészidőszakban, 2013. (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

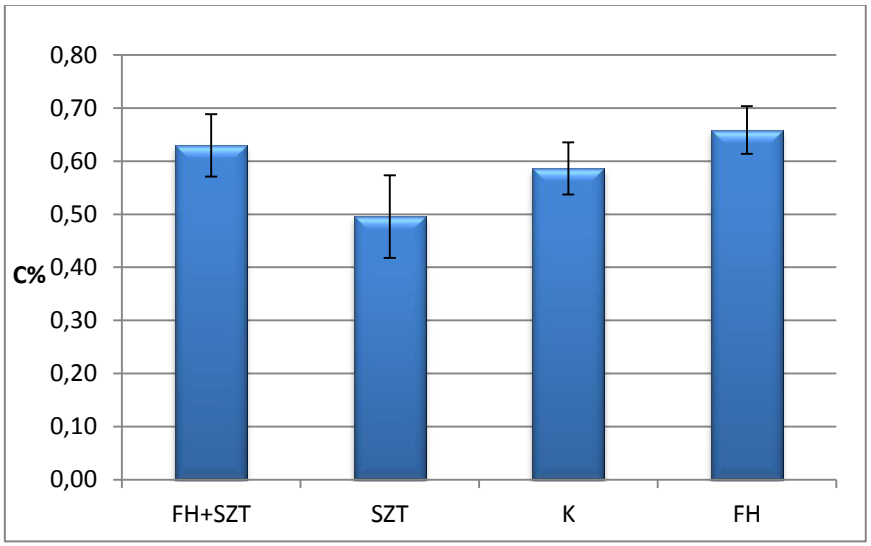
4.7. Tápanyag vizsgálatok

4.7.1. Talaj-tápelem vizsgálatok

2011 áprilisában, az ültetvény létesítése előtt termőhely-feltárást végeztünk. 2 pontot vizsgáltunk 4, illetve 5 mélységben. Az első pont esetében a 0-25 cm-es szintben **pH (H_2O)** 6,5-öt mértünk, a második pontban pH (H_2O) 5,4-et, így megállapítottuk, hogy a talaj kémhatása gyengén savanyú. Ezek az értékek a mélyebb szinteken folyamatosan növekedtek, azaz a talaj semleges kémhatásúvá vált. Így indokolt a fahamuval való tápanyag-utánpótlás, melynek lúgosító hatása ismert, ennek köszönhetően az adott parcellák talaja még kedvezőbbé válhat tápanyagfelvétel és mikrobiológiai tevékenység szempontjából (*Stefanovits et al., 1996*).

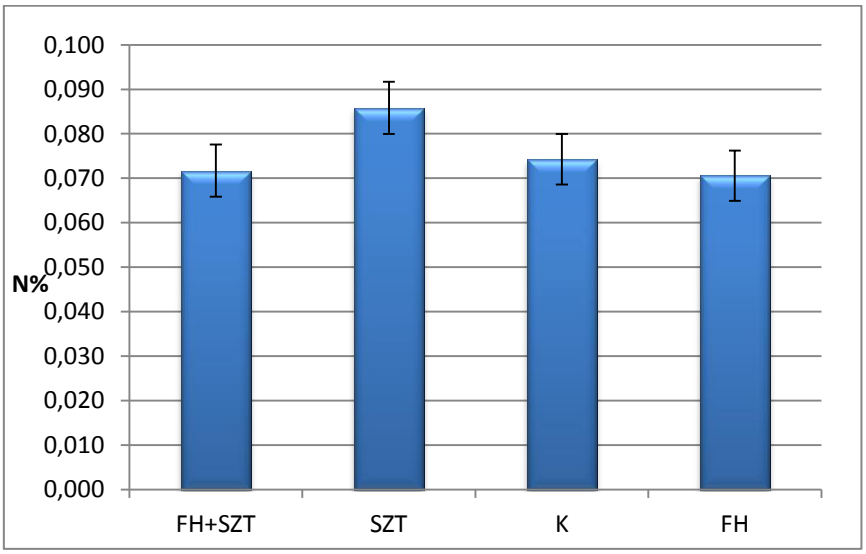
A trágyázást követő évben ismét részletes talajvizsgálatot végeztünk (*71. ábra*). A talajban a **C%** 0,5 körül mozgott, legmagasabb értékeket a fahamu és a kombinált kezelés esetében tapasztaltuk.

A vizsgálat alapján belátható, hogy 1 év után a 0-30 cm-es rétegben még nem lehet komolyabb humuszosodási folyamatokra számítani, de a szerves trágyával bevitt szervesanyag-mennyiség vélhetően hozzájárult ahhoz, hogy a legmagasabb értéket a kombináltan kezelt területen kaptuk.



71. ábra: Talaj széntartalma a kezelések függvényében, 2011 (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

A **S%** 0,1, a **N%** átlagosan 0,07 körül mozgott (*72. ábra*). Ezen értékek esetében nem találtunk szignifikáns eltérést a különböző kezelések között.

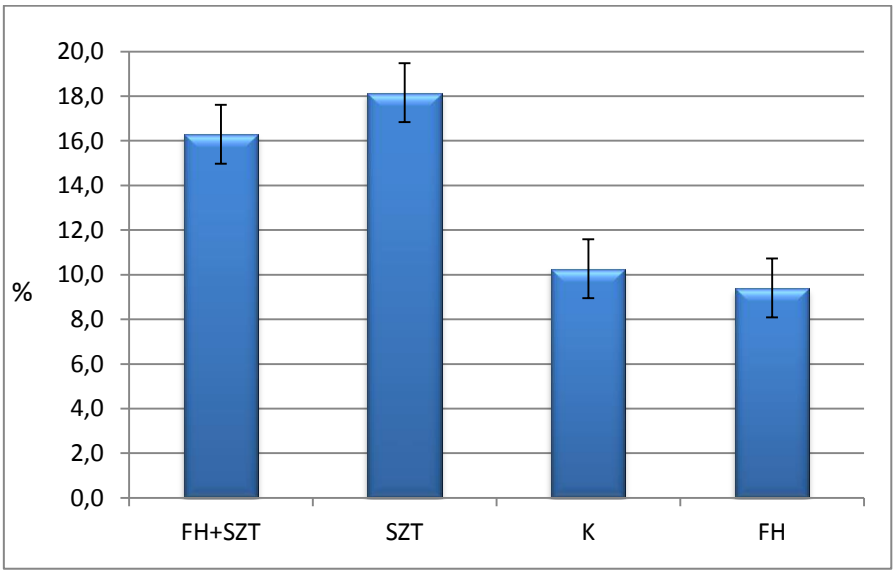


72. ábra: Talaj nitrogéntartalma a kezelések függvényében, 2011 (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

A S% és N% esetében is a szerves trágyával kezelt parcellák adták a legmagasabb értékeket, így arra lehet következtetni, hogy a bevitt trágya mineralizációja következtében a tápelem-koncentrációk a talajban felhalmozódtak. A 0,07% körüli N érték gyengén ellátott talajnak minősül. A C, N, S mennyisége között szoros összefüggés van, ezek aránya megközelítőleg 140:10:1,3 (*Stefanovits et al., 1996*). Ez az arány ültetvényünkön 77,6:10:1,3, tehát csupán a szén értéke marad el az átlagostól. Irodalom szerint a kezdeti széncsökkenés a talajban teljesen általános jelenség, amennyiben a terület előtte nem állt intenzív használat alatt (*Dowell et al., 2009*). A talaj **C/N** aránya átlagosan 16 körül mozgott 2011-ben és 20 körül 2013-ban. A *2.8.1.1*-es fejezetben leírtak szerint ilyen C/N arányú területen a fahamu pozitívan járul hozzá a növekedéshez.

A **H%** (1,11) és az **AL-K** (5,83 mg/100g) eredmények szintén nem mutattak eltérést a kezelések között. A 1,11%-os H% érték kis humusztartalomra enged következtetni (*Stefanovits et al., 1996*). Az AL-K mennyisége (5,83 mg/100g) a talajban, homok fizikai féleség esetén igen kevés (*Bellér, 1997*). A könnyen oldható foszfor értékeknél a kontroll (9,4 mg/100g) és a fahamus (10,2 mg/100g) parcellák értékei jóval elmaradnak a trágyázott (18,2 mg/100g) és kombinált (16,3 mg/100g) értékektől. Az **AL-P** esetében (*73. ábra*) jól mutatkozik, hogy 1 év után a szerves trágyával bevitt foszfor mennyisége még nem mozdul el, nem lúgozódik ki. A fahamuval kezelt és a kontroll területek oldható foszfortartalma az

alacsony (6-10), a trágyázott területeké pedig a jó közepes (17-25) kategóriába tartozik (*Buzás, 1983*).

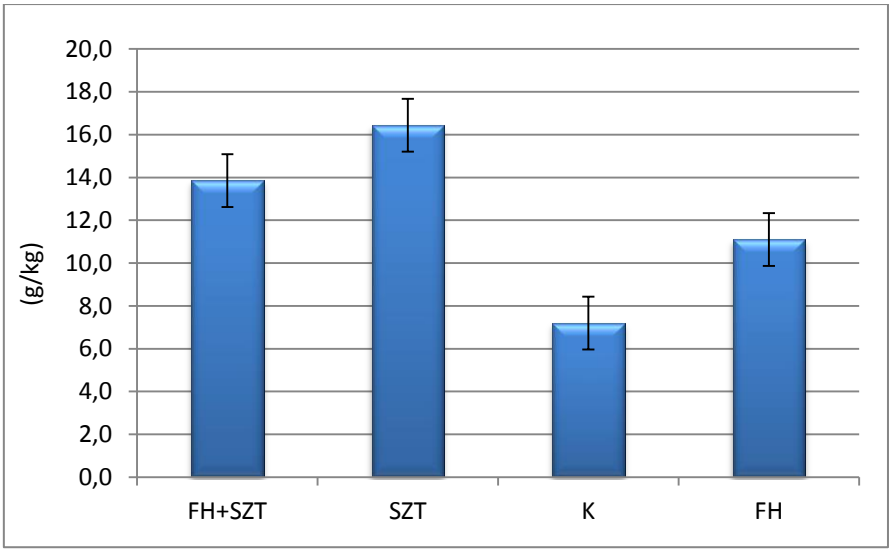


73. ábra: Talaj könnyen oldható foszfortartalma a kezelések függvényében, 2011 (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

4.7.2. Növényi tápelemvizsgálatok

A levélminták részletes analízisét 2011-ben és 2014-ben végeztük el, a **C%** és **N%** esetében 2013-ban ismétlő méréseket végeztük.

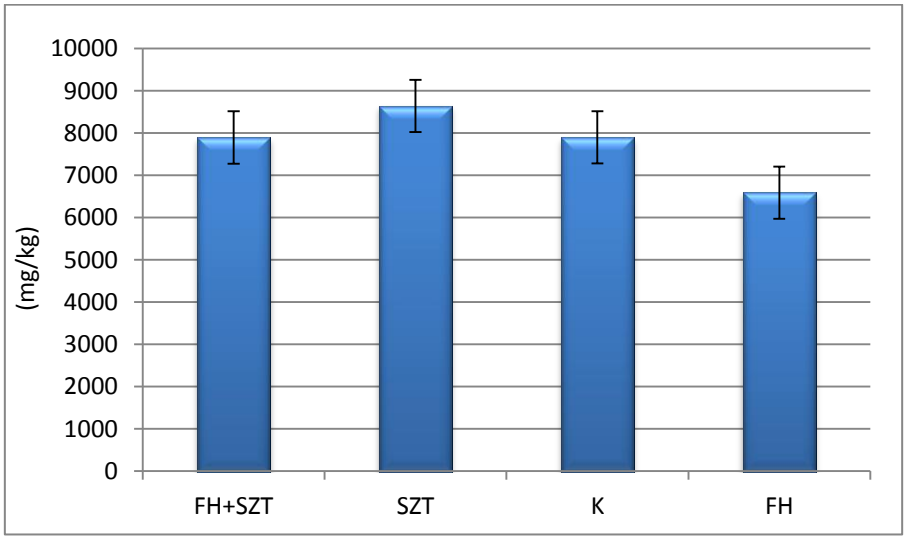
Az összes **foszfor** esetében a kontroll parcella értékei (7,2 g/kg) jóval elmaradtak a kezelt parcellákétól (*74. ábra*), ezen esetben a trágyázott területek mutattak kimagasló eredményt (16,4 g/kg). A növényi minták vizsgálatakor az összes foszfor esetében erőteljesen jelentkezik a trágyázás hatása. A foszfor a feltalajban gyorsan immobilizálódik, a továbbiakban a mikrobiális lebontás után tárul fel és válik a növények számára felvehetővé.



74. ábra: Növényminták összes foszfortartalma a kezelések függvényében, 2011. (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

A nyárak levélmintákból meghatározott átlagos foszfortápanyag-ellátottsága 0,18 és 0,30% között mozog (*Ulrich, 1990/91*), így megállapítható, hogy jelen esetben a kontroll területen is elegendő a foszfor mennyisége a növényekben (0,72%), mely a kezelésekkel csak tovább növekszik, a kombináltan kezelt blokkban 1,39%.

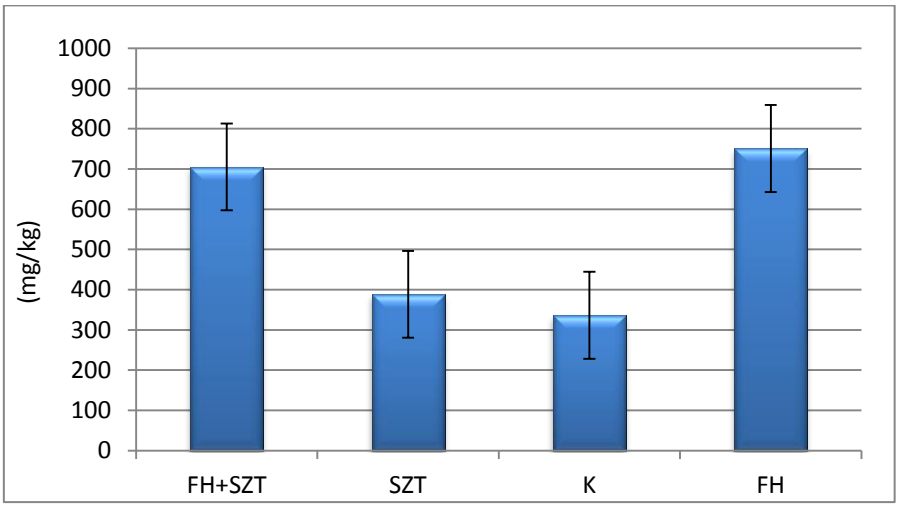
Az összes **kalcium** mennyisége a fahamuval kezelt parcellák esetén a legkevesebb, csupán 6589,3 mg/kg, a legmagasabb értéket a trágyázott blokkban mértük, 8641,9 mg/kg (*75. ábra*).



75. ábra: Növényminták összes kalciumtartalma kezelésenként, 2011. (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

Az összes kalcium esetében a fahamu hatása nem mutatkozik, csupán a szerves anyaghoz kötött kalcium jelenik meg az eredményekben. Bár a fahamuval kezelt parcellákon volt a legcsekélyebb a növényi mintákban mért kalcium mennyisége (6589,3 mg/kg), ez még így is az optimális tartományon belül mozgott (3000-15000 mg/kg) (*Ulrich, 1990/91*).

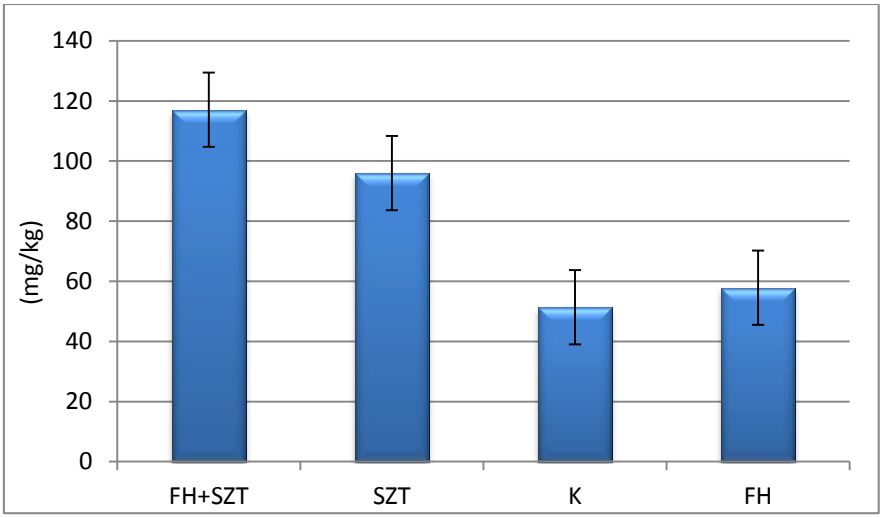
Az összes **mangán** értéke fahamuval való kezelés esetén 750,9 mg/kg volt, míg a kontroll parcellán 336,3 mg/kg (*76. ábra*).



76. ábra: Növényminták összes mangántartalma a kezelések függvényében, 2011. (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

A mangán a mikrotápelemek közé tartozik (*Finck, 2007*), azonban minden élőlény számára esszenciális elem. A növények optimális mangántartalma 35-150 mg/kg (*Ulrich, 1990/91*). Így megállapítható, hogy már a kontroll területen is az optimális mennyiség duplája volt jelen, amit a fahamuval való kezelés még tovább növelt. Az összes mangán esetében jól látszik a fahamu hatása, a csupán fahamuval és a fahamu-szerves trágya komplexszel kezelt területeken kimagasló, szignifikáns eltérések látszanak.

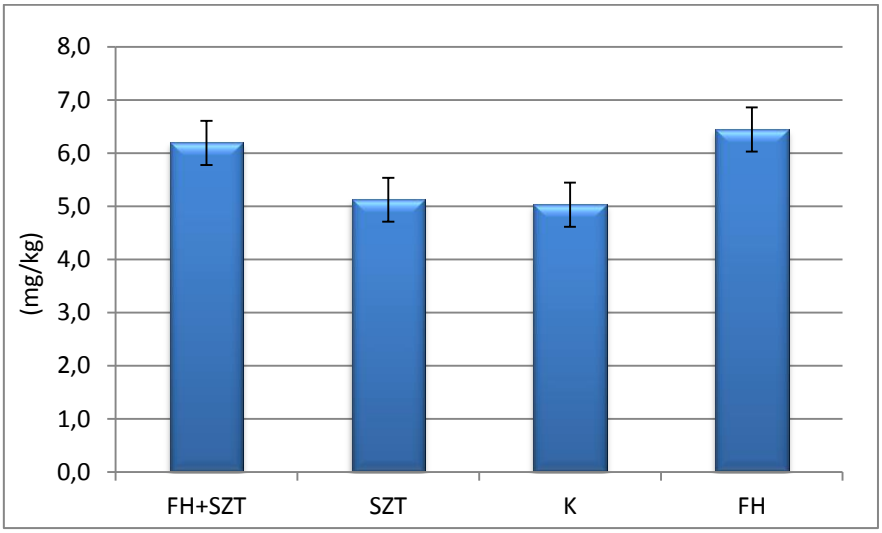
A növények összes **cink** tartalmának vizsgálatakor (*77. ábra*) a legkisebb mennyiséget a kontroll parcellákon mértünk (51,3 mg/kg), ennek mértéke a fahamus kezelés után megnőtt (57,8 mg/kg). Koncentrációja a trágyázás hatására nagymértékben növekedett (96,0 mg/kg), legkimagaslóbb mennyiségét pedig a kombinált kezelés során érte el (117,1 mg/kg).



77. ábra: Növényminták összes cinktartalma a kezelések függvényében, 2011. (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

A cink esetében a növények számára a 15-50 mg/kg mennyiség az optimális (*Ulrich, 1990/91*). Esetünkben ezt a mennyiséget már a kezeletlen területről vett minta cinktartalma is meghaladta, mely mennyiség trágyázás hatására tovább nőtt. A cink a szerves trágyához komplexen kötődő elem, mennyisége ezért mutatkozik meg ott nagyobb mértékben.

Fontos mikrotápelem még a **réz**, melynek optimális mennyisége 6-12 mg/kg a növényi szervezetben. (*Ulrich, 1990/91*). Ahogy azt a *78. ábra* is szemlélteti, ez a mennyiség a kezeletlen területen nem áll rendelkezésre (5,0 mg/kg), ám a fahamu kijuttatása az optimális zónába emelte az ottani növények réztartalmát (6,4 mg/kg).



78. ábra: Növényminták réztartalma a kezelések függvényében, 2011. (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

Amint már említésre került, a réz esetében szintén mutatkozott a fahamu hatása, mely szignifikáns eltéréseket eredményezett. A kijuttatott tápanyag-utánpótló anyag mennyiségére figyelni kell, mert a réz túlzott felhalmozódása toxikussá válhat a növények számára (*Stefanovits et al., 1996*).

A **C%** és **N%** esetében a 2011. évi mérések során még nem találtunk kimutatható eltérést a kezelések között, azonban 2013-ban már mutatkoztak szignifikáns különbségek (*17. táblázat*). Mindkét elem esetében csökkenés volt kimutatható az átlag értékekben a 2 év alatt, a szerves trágyával kezelt blokkban a N% értéke jelentősen lecsökkent a fahamus részekhez képest. A C% esetében a kombináltan kezelt parcelláknál mutatkozott a legnagyobb csökkenés a 2 év alatt. Egymáshoz viszonyítva pedig a csupán fahamus és a kezeletlen területek jeleztek kimutatható eltérést.

Kezelés	Átlag	Standard hiba	-95,00%	+95,00%	Átlag	Standard hiba	-95,00%	+95,00%
	N% (növény) 2011	N% (növény) 2011	N% (növény) 2011	N% (növény) 2011	N% (növény) 2013	N% (növény) 2013	N% (növény) 2013	N% (növény) 2013
FH+SZT	2,667	0,182	2,299	3,034	2,226	0,073	2,081	2,371
SZT	2,619	0,190	2,235	3,003	2,059	0,073	1,914	2,205
K	2,407	0,182	2,040	2,774	2,244	0,073	2,098	2,389
FH	2,582	0,182	2,215	2,949	2,283	0,073	2,138	2,429

17. táblázat: Növényminták N%-a kezelések szerint 2011 és 2013-ban (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

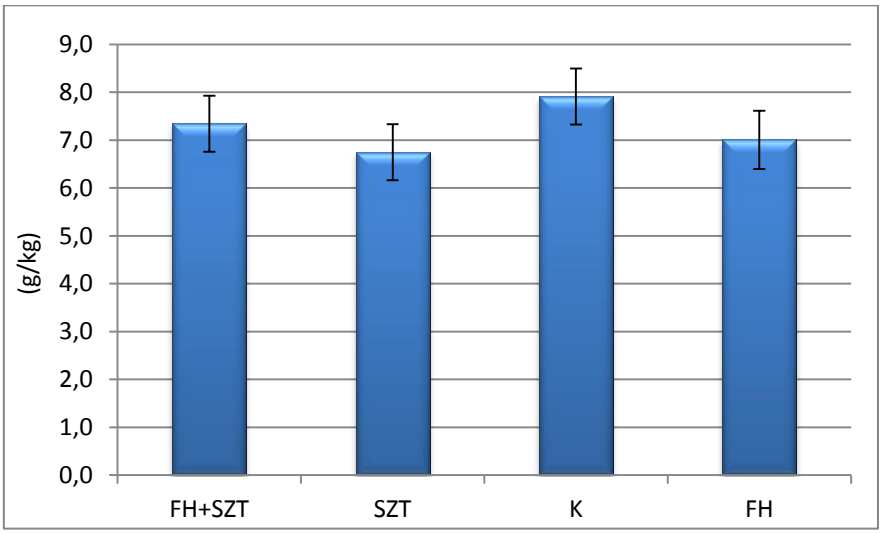
Az irodalmi adatok alapján a nyárak esetében 1,8-2,5% közötti az optimális növényi N-ellátottság (*Ulrich, 1990/91*). A *18. táblázat* adataiból is jól látszik, hogy a területen lévő növények N% tartalma megfelelő volt. Mivel a N mennyisége a 2011-2013 időszakban szignifikánsan csökkent, ezért feltehető, hogy savanyú talajon ilyen rövid idő alatt (2-3 év) ekkora biomassza tömeg eléréséhez újabb N-trágyázás szükséges. A kezeléseket összehasonlítva a szerves trágyázott parcellák hasznosították legjobban a N-t, ezért annak mennyisége ott hígult fel leginkább. A C% az irodalmi adatokhoz (52-58%) képest alacsony mértékben volt jelen *(Makeschin et al., 1989).*

Kezelés	N% 2011	N% 2013	C% 2011	C% 2013	ö P (g/kg)	ö Ca (mg/kg)	ö Mn (mg/kg)	ö Cu (mg/kg)	ö Zn (mg/kg)
FH+SZT	2,667	2,226	44,920	41,992	13,853	7895,297	705,003	6,193	117,077
SZT	2,619	2,059	44,925	42,106	16,441	8641,961	388,377	5,125	96,002
K	2,407	2,244	45,168	42,712	7,205	7897,378	336,309	5,031	51,363
FH	2,582	2,283	39,176	42,877	11,100	6589,337	750,979	6,446	57,869

18. táblázat: Növényminták különböző tápelem tartalma kezelések szerint (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

2014-ben ismételt növényanalízist végeztünk. Ennek célja azt vizsgálni, hogy a 2011-ben elvégzett tápanyag-utánpótlásnak van-e még hatása a savanyú, tápanyag-szegény homoktalajon, és ha igen, mekkora? A vizsgálat 14 tápelemre terjedt ki, viszont dolgozatomban csupán a legmarkánsabb összefüggéseket mutató tápelemekre térek ki, melyek értékei összehasonlításra kerülnek a 2011-es eredményekkel.

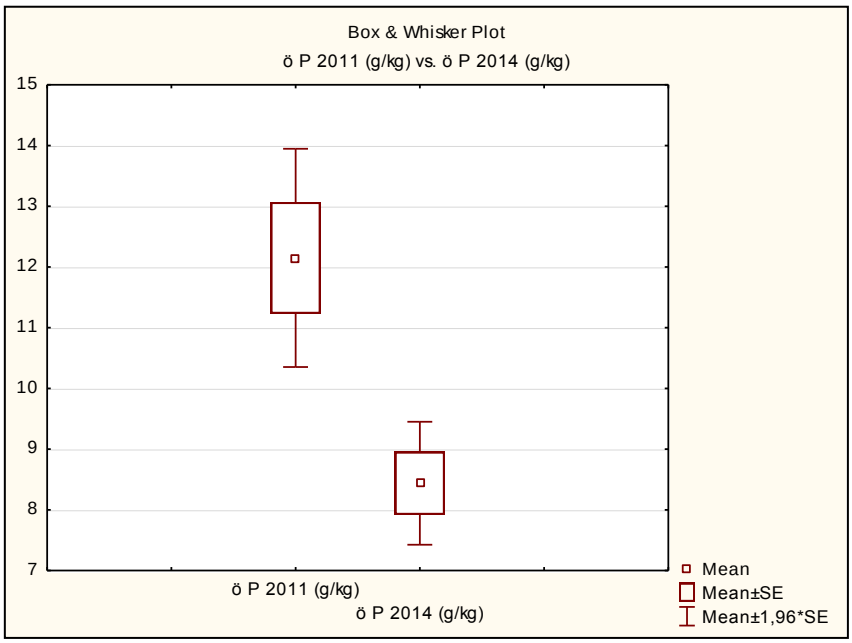
A **foszfor** esetében a kontroll parcella mutatta a legmagasabb értéket (7,91 g/kg), a legalacsonyabbat pedig a trágyázott terület (6,75 g/kg) (*79. ábra*). Figyelembe véve a szórásokat is, elmondható, hogy a foszfor mennyisége a kezelt és kezeletlen területek esetében 4 év után már nem tért el szignifikánsan.



79. ábra: Növényminták összes foszfortartalma a kezelések függvényében, 2014 (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

A *80. ábrán* jól látható, hogy a trágyázás hatása az eltelt évek alatt megszűnt, a foszfor a mikrobiális lebontást követően könnyen felvehetővé vált a növények számára, majd kiürült,

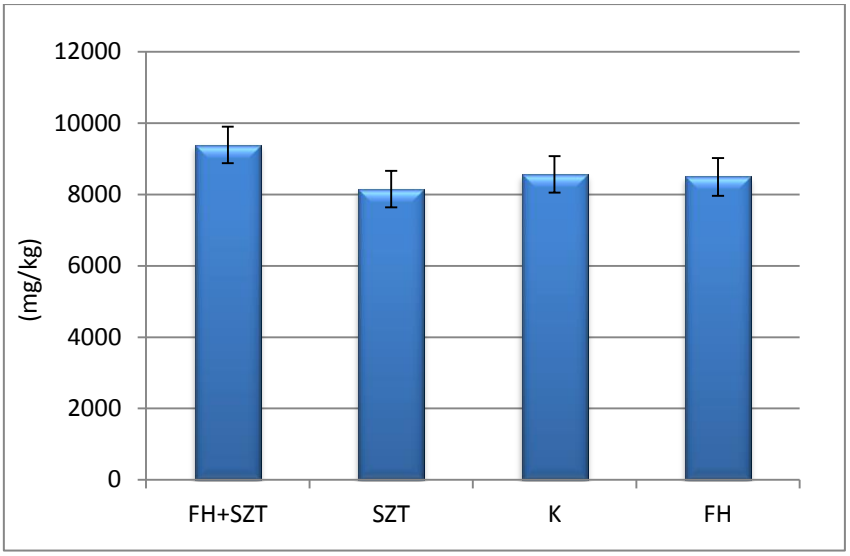
így mennyisége nagyban lecsökkent. A 2014-ben mért mennyiségek továbbra is az optimális tartományon belül, sőt, azon felül találhatóak, a különböző kezelések közt szignifikáns különbség már nem mutatható ki.



80. ábra: Összes foszfor mennyisége 2011 és 2014-ben (Mean=átlag, SE=standard hiba)

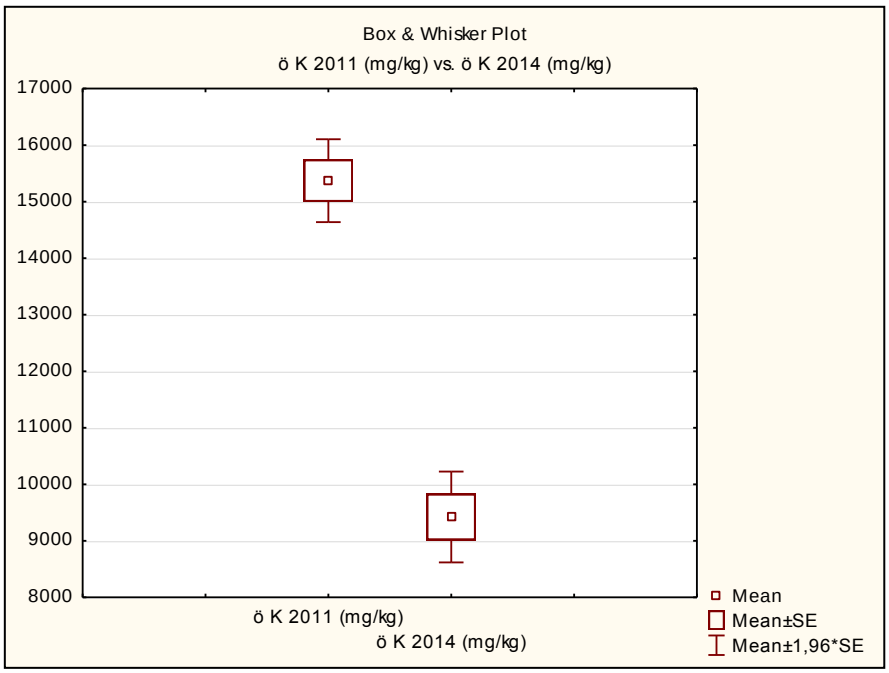
A doboz ábra jól szemlélteti az összes foszfor lecsökkenését a vizsgált időszakban. A két időpont közti különbség szignifikánsan eltér egymástól.

Az összes **kálium** bemutatására a 2011-ben mért adatok esetében nem tértünk ki részletesen, mivel annak értékei közt nem volt megfigyelhető statisztikai különbség. Akkor a legjobb eredményt a fahamuval kezelt parcellák mutatták (16568,0 mg/kg), a leggyengébbet pedig a kezeletlen területek (14549,5 mg/kg). A tápelem mennyisége a nyárakat tekintve mind a 4 kezelési formában az optimális tartományon belül mozgott (1,20-1,80%) (*Ulrich, 1990/91*). 2014-re minden blokkban az elemtartalom csökkenése figyelhető meg (*81. ábra*). A legalacsonyabb értéket a szerves trágyával kezelt (8155,93 mg/kg), míg a legmagasabb értéket a kombináltan tápanyag-utánpótolt (9387,20 mg/kg) területekről származó levélminták adták.



81. ábra: Növényminták összes káliumtartalma kezelések szerint, 2014. (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

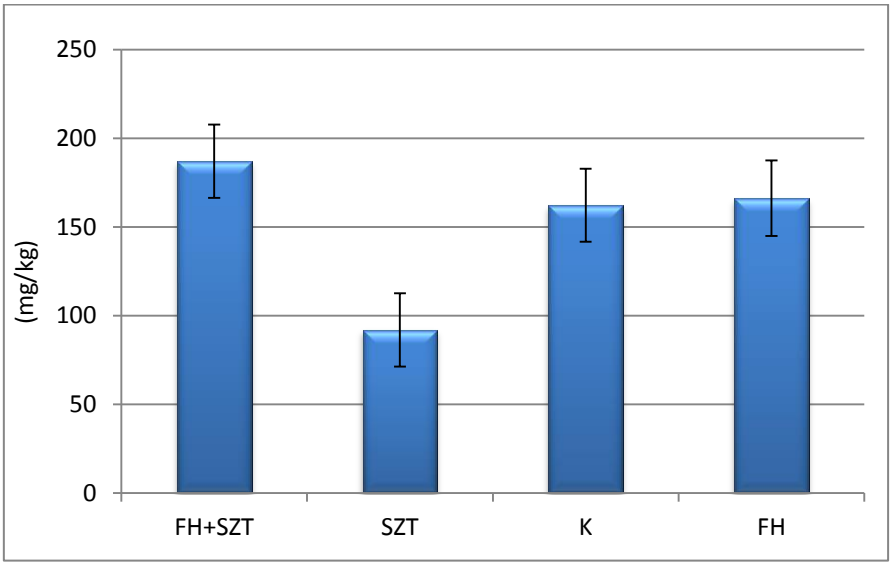
Szignifikáns különbség itt sem mutatkozott az értékek közt, viszont a *82. ábra* értékei között már igen, melyen a 2011-es és 2014-es összes kálium mennyisége látható. Az ábra erőteljes elemtartalom-csökkenést mutat, mely már statisztikailag is kimutatható.



82. ábra: Összes kálium tartalom 2011 és 2014-ben (Mean=átlag, SE=standard hiba)

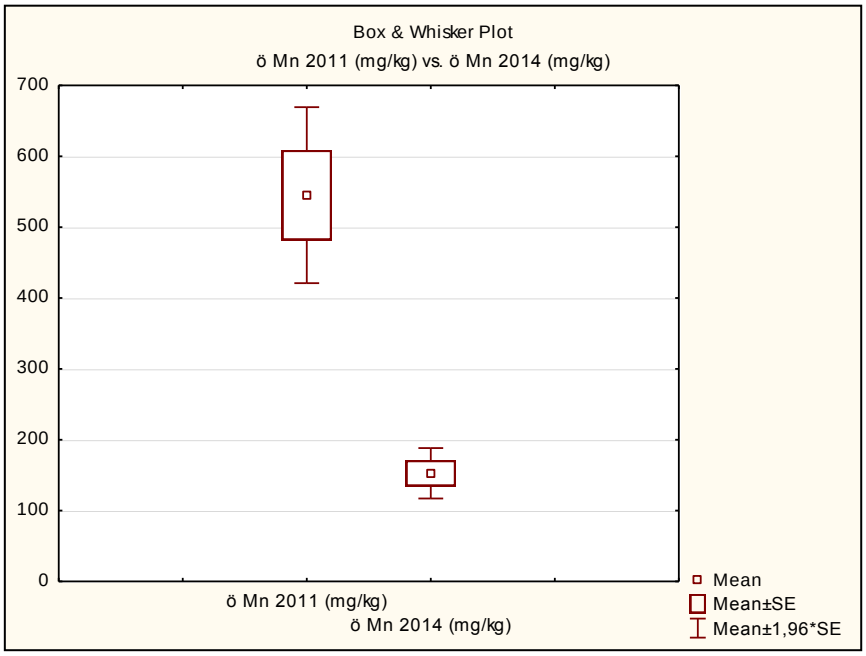
Az összes **mangán** értéke 2014-ben a kombináltan kezelt parcellákon volt kimagasló (187,06 mg/kg), ellentétben a 2011-es eredményekkel, amikor még a fahamus parcellák adták

a legmagasabb értéket (*83. ábra*). A legalacsonyabb értéket akkor a kontroll, most a szerves trágyával kezelt blokkok adták (92,03 mg/kg).



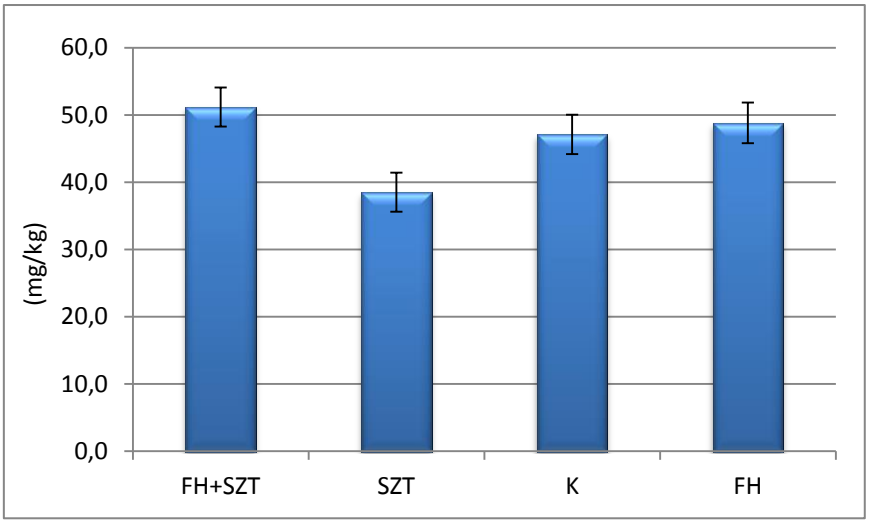
83. ábra: Növényminták összes mangántartalma kezelések függvényében, 2014. (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

A növények még ebben az évben is optimális tápelem-tartalmakat (30-150 mg/kg) mutattak. Szignifikáns különbséget kizárólag a szerves trágyázott területek alacsony értékei mutattak. Összevetettük a két év (2011-2014.) összes elemtartalmát egy t-próba segítségével, melyet a *84. ábra* mutat. Az ábrán jól látszik a tápelem-csökkenés mértéke, mely számszerűsítve is szignifikáns különbséget mutat.



84. ábra: Összes növényi mangántartalom 2011 és 2014-ben (Mean=átlag, SE=standard hiba)

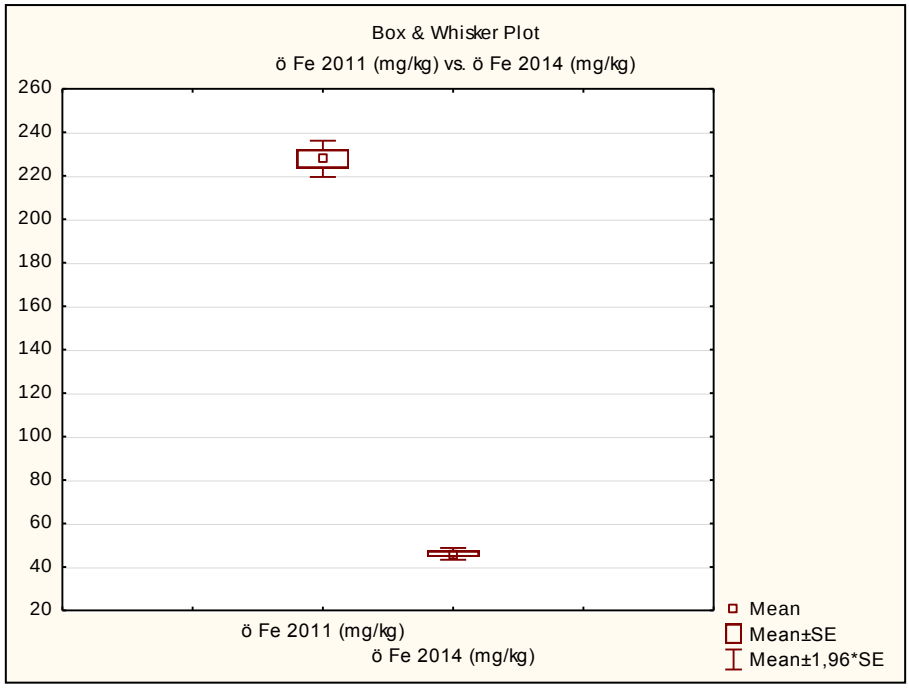
A növényminták összes **vas**tartalmának tekintetében a 2011-es vizsgálatok során a fahamuval tápanyag-utánpótolt területek mintáiban mértük a legmagasabb értéket (249,53 mg/kg), valamint ezen blokk eredménye mutatott szignifikáns különbséget a további blokkok értékeivel. 3 év elteltével, a szerves trágyázott rész mutatta a legalacsonyabb értéket (38,51 mg/kg), a kombináltan kezelt blokk pedig – vélhetően a kelátképzés hatásának köszönhetően - a legmagasabbat (51,72 mg/kg) (*85. ábra*). A kelátok többfokú komplex képző ligandumok, melyek 1-1 arányban képesek komplexeket képezni többértékű központi atomokkal. A létrejövő kelátkomplexek heterociklust, azaz a kötést tekintve igen stabil kelátgyűrűt alkotnak (*URL 30.*).



85. ábra: Növényminták összes vastartalma kezelések függvényében, 2014. (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

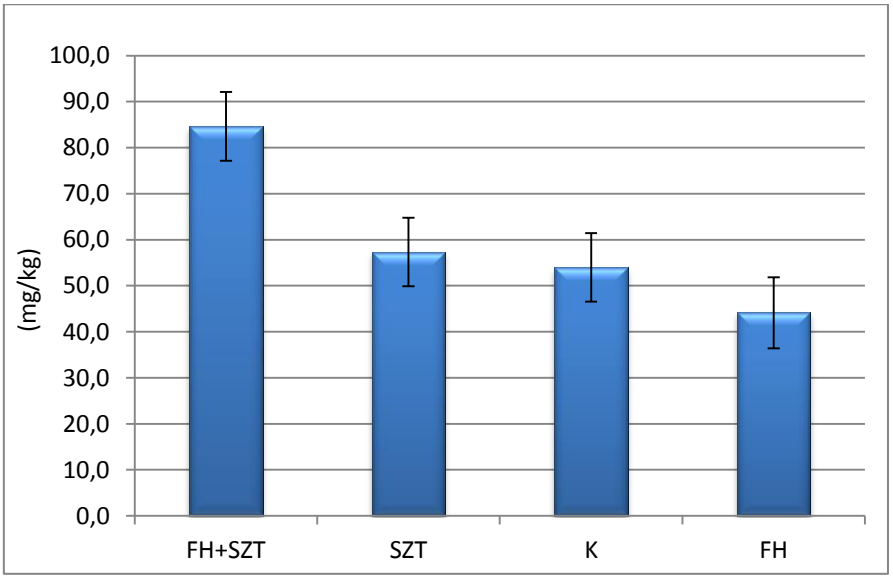
Szignifikáns különbséget, a mangánhoz hasonlóan, kizárólag a szerves trágyázott részek alacsony értékei mutattak.

Az összes vas mennyiségének 3 év alatti csökkenése jól látható a *86. ábrán*. Az összes, kezelésektől független vizsgálat alapján az érték megközelítőleg a hatodára csökkent, statisztikailag az eredmény szignifikáns.



86. ábra: Összes növényi vastartalom 2011 és 2014-ben (Mean=átlag, SE=standard hiba)

Az összes **cink**tartalom vizsgálata során (*87. ábra*) a legmagasabb eredményt a kombinált kezelés mutatta (84,64 mg/kg), a 2011-es vizsgálatokhoz hasonlóan. A legalacsonyabb eredmény a fahamus parcellákhoz köthető (44,14 mg/kg).



87. ábra: Növényminták összes cinktartalma kezelések függvényében, 2014. (FH+SZ: fahamu+szerves trágya, SZ: szerves trágya, K: kontroll, FH: fahamu)

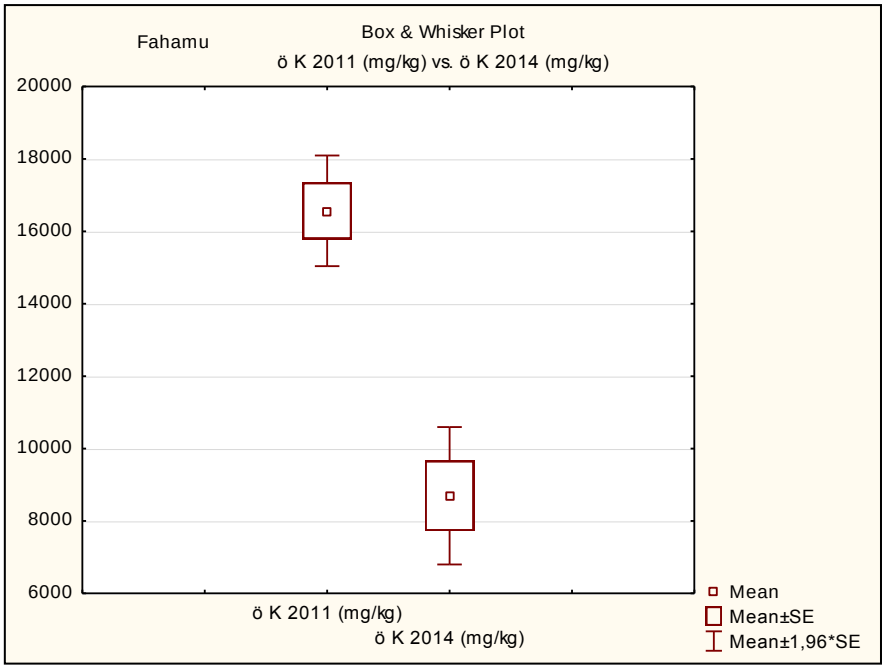
A csökkenés ellenére a növények tápelem tartalma még mindig az optimális 15-50 mg/kg-os tartományon (*Ulrich, 1990/91*) belül, sőt, azon túl volt megtalálható. Statisztikailag is jelentős eltérést csupán a fahamuval és trágyával együttesen kezelt parcellák mutattak.

A vas, mangán és cink esetében is jól látszik a szerves trágyával kezelt területeken a tápanyagok jelentős csökkenése. Ennek magyarázata lehet a kelátképzés, mely során a szerves trágyából kioldódó szerves vegyületek kioldhatják ezen elemeket, melyek lefelé mozoghatnak a talajszelvényben. Ez a lefelé elmozdulás általában csak a felső 10-20 cm-re igaz és összefüggést mutathat a pH profillal is (*Bohn et al., 1985*). Ezzel ellentétben a fahamu és szerves trágya együttes alkalmazása során ez a kioldódás nem figyelhető meg és feltételezhetően itt a pH profil is mást mutat. Ezen témában javasolt további vizsgálatok elvégzése a jövőben.

4.7.2. Tápanyag-ellátottság vizsgálata (2011/2014.)

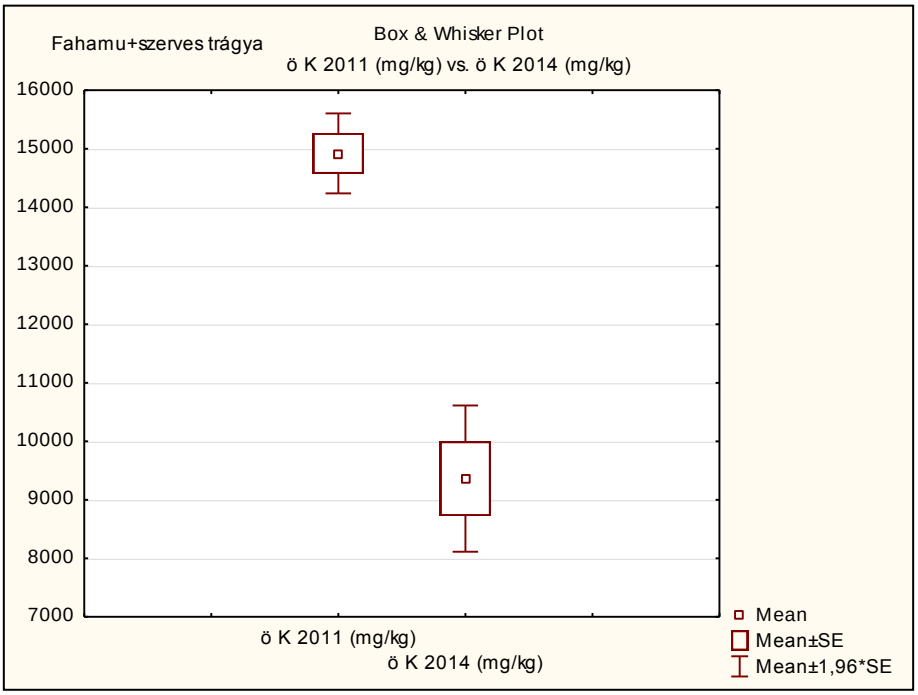
Az előzőekhez hasonlóan, leíró statisztika használatával vizsgáltuk, hogy van-e kezelésenként szignifikáns különbség az egyes növényi (levél-) tápelem tartalmakban 2011-2014 között? Minden elemet (P, Fe, K, Mn, Zn) kezelésenként vizsgáltunk és a statisztikai vizsgálatok eredményeinek ábrázolását doboz ábrákkal készítettük el.

A *fahamuval* kezelt területen mind az öt elem esetében csökkenés mutatkozott, azonban szignifikáns különbséget csupán a vas, kálium (*88. ábra*) és mangán elemek esetében tapasztaltunk a 3 év alatt.



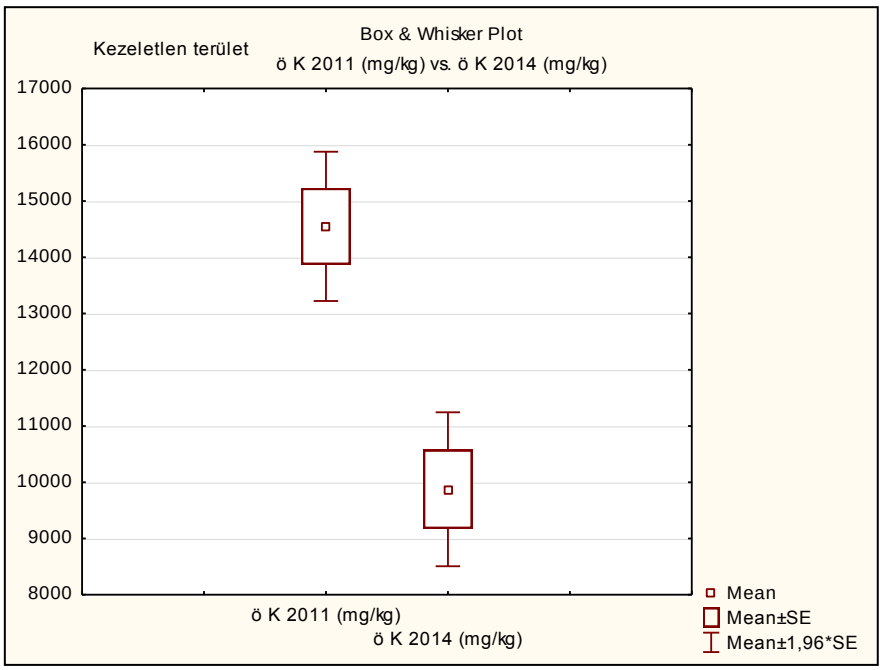
88. ábra: Összes növényi káliumtartalom fahamuval való kezelés esetén 2011 és 2014-ben (Mean=átlag, SE=standard hiba)

A *szerves trágya + fahamu komplexszel* kezelt területen szintén ezen 3 elem (Fe, K, Mn) csökkenése mutatott szignifikáns különbséget (*89. ábra*).



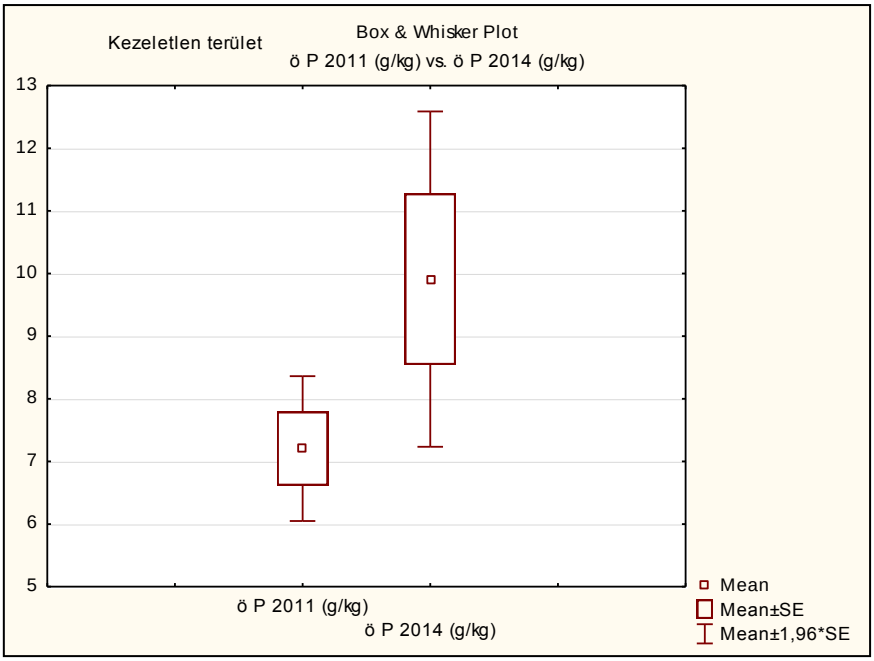
89. ábra: Összes növényi káliumtartalom komplex kezelés esetén 2011 és 2014-ben (Mean=átlag, SE=standard hiba)

A *kezeletlen*, valamint a *szerves trágyával* kezelt területek esetében hasonló tendenciák mutatkoztak: a növényi tápanyagtartalom mindenhol csökkenést mutatott; a szerves trágyával kezelt területek esetén a foszfor, kálium, vas és mangán csökkenése volt statisztikailag jelentős, a kontroll blokkban pedig a kálium (*90. ábra*), vas és a mangán változása mutatkozott meg erőteljesebben.



90. ábra: Összes növényi káliumtartalom kezeletlen területen 2011 és 2014-ben (Mean=átlag, SE=standard hiba)

A kezeletlen területen történt vizsgálat érdekessége, hogy a foszfor esetében 2011 és 2014 között nem csökkent, hanem növekedett az összes foszfor mennyisége a növénymintákban (*91. ábra*).



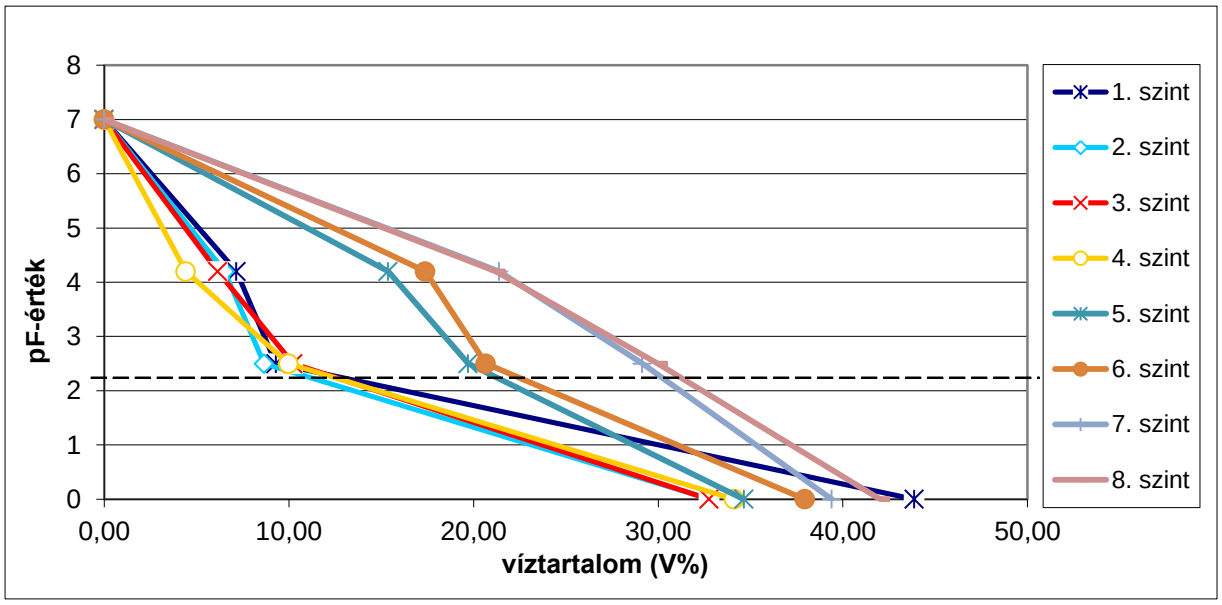
91. ábra: Összes növényi foszfortartalom kezeletlen területen 2011 és 2014-ben (Mean=átlag, SE=standard hiba)

A 2011-es eredményekre visszatekintve (*74. ábra*) látható, hogy akkor a kontroll területek foszfortartalma szignifikánsan alacsonyabb volt a 3 kezeléshez képest. A 2014-es évre a kezelt területek tápelem tartalma is lecsökkent ennek szintjére, a kezeletlen terület foszfor értéke mondhatni stagnál, valamint ezen eredmények nem mutatnak statisztikai különbséget. *Károlyi (2008)* szerint a foszfor felvételét nem a talajban lévő foszfor mennyisége szabályozza, hanem az adott faj/fajta genetikai tulajdonságai. Esetünkben ismeretes, hogy a különböző blokkokban különböző fajtákat alkalmaztunk, így ezen téma további vizsgálata lehetséges és ajánlott.

4.8. Talaj vízgazdálkodásának jellemzése

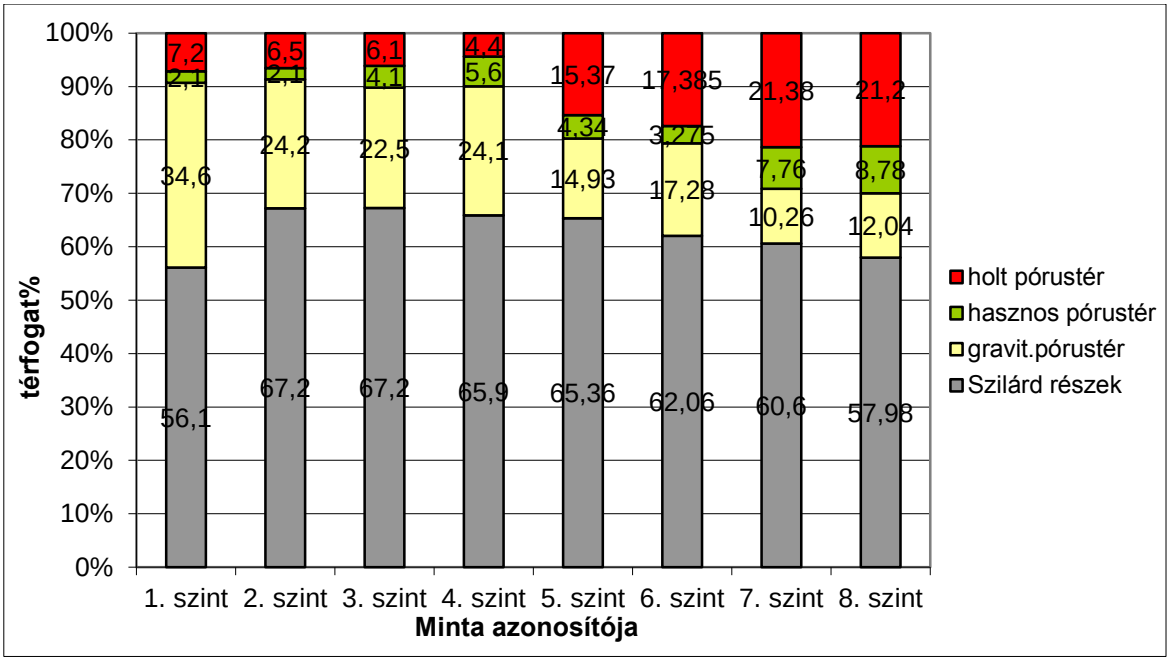
4.8.1. pF-vizsgálat

A talajfizikai vizsgálatok további elemeként az 1. szelvénynél 2 méteres mélységig, 8 talajszintben Vér-hengerrel bolygatatlan mintavételezést végeztünk, majd elvégeztük a minták pF-vizsgálatát. A vizsgálatok alapján készült pF-görbéket a *92. ábra* mutatja be.



92. ábra: Kísérleti terület pF-görbéje

A pF-görbék lefutása egyértelműen megfelel a vártnak, a feltalaj homokos, az altalajban megnő a finom részecskék száma. A feltalaj gyorsan beengedi a vizet, egyben keveset tart vissza tartósan, hamar ki is szárad. Az altalaj rosszabb vízvezetése miatt ott a beszivárgó csapadék hosszabb ideig tartózkodik, a tárolása is tartósabb, nagyobb mértékű, ez esetben ez kedvező a növényállomány számára. Az altalaj sem kötött oly mértékben, hogy a gyökérfejlődést gátolja, levegőtlenséget okozzon, az időszakos vízhatásból származó többletvíz kellően hasznosulni tud. Összefoglalva, a talaj fizikai vizsgálata alapján a vízgazdálkodás a többletvíz jelenléte esetén kedvező, a talajvízszint lesüllyedése esetén viszont kedvezőtlenre fordul. Ez jól összefügg azon tapasztalatunkkal, hogy a karódugványok, amelyek nyilván kezdettől fogva képesek voltak vizet felvenni a mélyebb, vizet jobban visszatartó szintekből, jóval kedvezőbb megmaradást mutattak.

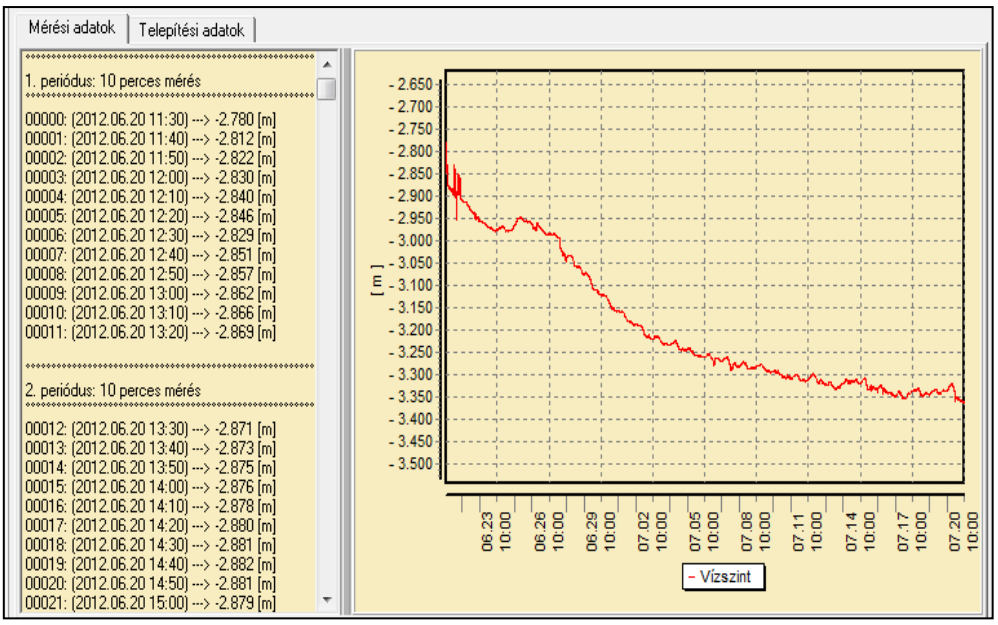


93. ábra: Szilárd részek és pórustér megoszlása a talajban

A termőréteg felső 1 méterében a talaj fizikai félesége kedvezőtlenebb, homok, lejjebb finomabb a szemcsék mérete, homokos vályog. A teljes pórustér 32,8-43,9% között változott (*92. ábra*), a felső szántott talajszint alatt jelentősen lecsökken, és csak az alsó 1-2 m közötti mélységben emelkedik meg valamelyest. A diszponibilis vizet tároló pórustér nagysága az egész szelvényben igen alacsony, a felső 4 szintben 2-4%, lejjebb is csak 4-9% (*93. ábra*). A talajba a víz gyorsan beszivárog, de abból csak keveset képes visszatartani, a termőhely vízgazdálkodása szempontjából meghatározó a talajfelszínhez közeli talajvízszint.

4.8.2. Talajvízkút adatok értékelése

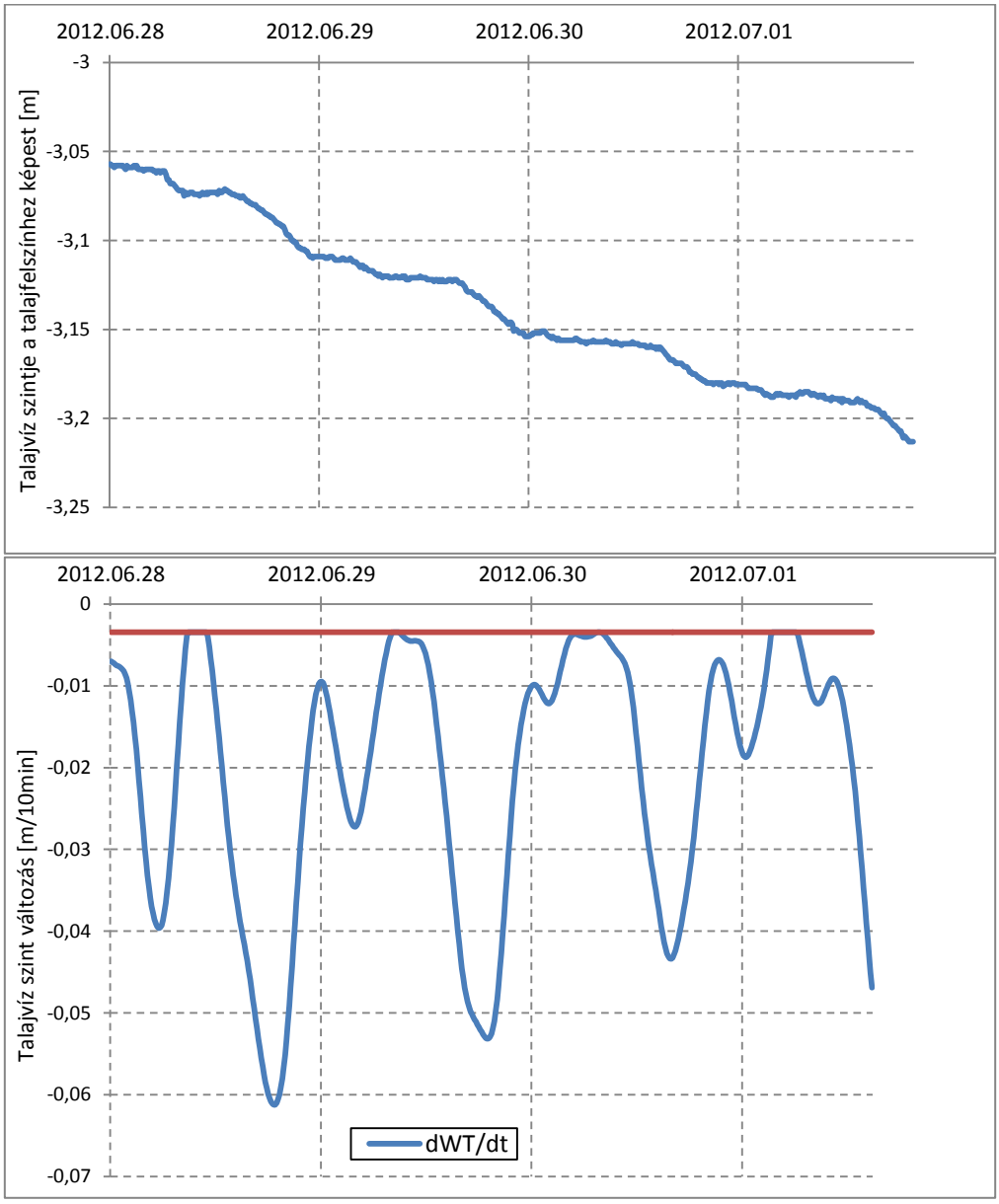
Az első talajvízkút adatok alapján a 2012. június – augusztus időszakában a talajvíz szintje 285 cm-ről 335 cm-re csökkent, ami mintegy 50 cm-es talajvízszint süllyedést eredményezett a vegetációs időszak második felében (*94. ábra*). Bár a június - júliusi időszakban átlagos csapadékkal számolhatunk, a hőmérséklet, és ennek megfelelően az evapotranspirációs kényszer emelkedése a víz gyorsabb felhasználásával jár.



94. ábra: 2012. június 20 – augusztus 6. közötti időszak talajvíz szintjének változása

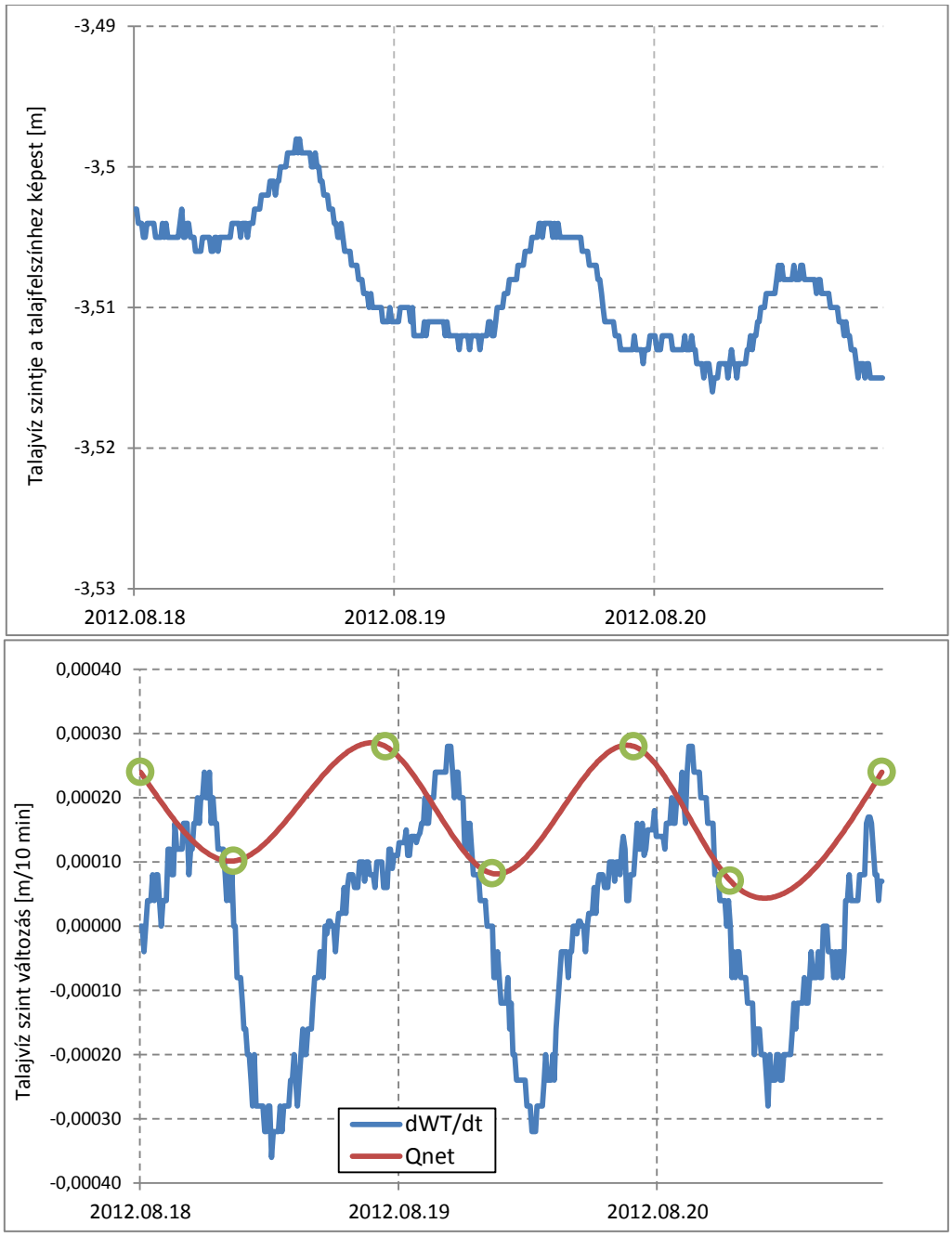
A talajvízszint monitorozásának eredményeként a következőkben egy vegetációs időszakon belül két karakterisztikus időszakot hasonlítunk össze. Az első időszakban (2012.06.28 – 2012.07.01.) a talajvízszint mintegy 305-320 cm mélységben helyezkedett el, a kapilláris zóna tehát feltehetően elérte a termőréteg, illetve a gyökerezett zóna alját. A második kiválasztott időszakban (2012.08.18 – 2012.08.20.) a talajvízszint már mintegy 380 cm mélységben helyezkedett el, így a fagyökerek hozzáférése a talajvízhez még a finom iszappal kevert homoktalaj kb. 1 m-es kapilláris vízemelése ellenére is korlátozott volt.

1. eset: A talajvízszint megközelíti a termőréteg alját („lépcsőzetes” lefutású görbe) (2012.06.28-07.01.)



95-96. ábra: Talajvíz szintje és a vízfelhasználás mértéke, 2012.06.28 - 2012.07.01.

2. eset: A talajvízszint és a kapilláris zóna a termőréteg alá süllyedt (2012.08.18-08.20.)



97-98. ábra: Talajvíz szintje és a vízfelhasználás mértéke, 2012.08.18 - 2012.08.20.

Az időjárási körülmények tekintetében a június végi kiválasztott időszak átlagos napi középhőmérséklete az adatbázis alapján 15,4-17,55°C, az augusztus második felére eső időszakban pedig 20,1-21,6 °C (*URL 28.*). A nappalok hossza első esetben mintegy 15 óra 50 perc, utóbbi esetben csak 14 óra 6 perc. A kísérleti területen egyik kiválasztott időszakban sem volt csapadékesemény. A két kiválasztott időszakban a napi potenciális evapotranspiráció számításaink szerint 3,54-5,14 mm, illetve 3,77-4,37 mm (*19. táblázat*).

A két időszak összehasonlításából látható, hogy a talajvízszint napi változása az első esetben jóval nagyobb, akár 30-50 mm/nap, míg a második időszakban már csak mintegy napi kb. 2-5 mm. Mindkét összehasonlított talajmélységben a spontán kipárolgás már elhanyagolható, feltételezhetően a teljes vízfelhasználás a növényi gyökerek vízfelvételéből adódik. A potenciálisan növények által elpárologtatható mennyiség az augusztusi időszakban mintegy 11-17%-kal nagyobb ugyan, a talajvízszint süllyedés mégis ekkor már jóval kisebb. Ez feltételezhetően annak köszönhető, hogy ekkor már a domináns gyökérzóna alá süllyedt a vízszint (bár gyökérfeltárást nem végeztünk).

Összevetettük a két időszakot abból a szempontból is, hogy a napi potenciális evapotranspiráció nyújtotta párologtatási lehetőséget mekkora mértékben voltak képesek kihasználni a fák: első esetben számításaink szerint mintegy 50-100%-ban, az augusztusi időszakban csupán 44-53%-ban. Összehasonlításként, hazai szakirodalmi adatok (*Móricz et al., 2012)* szerint a nyíregyháza-sóstói erdőben kocsányos tölgy esetében időszakos vízhatás mellett az állományok a potenciális evapotranspiráció mintegy 66%-át tudták a talajvízből fedezni, egy vegetációs időszak átlagában.

Dátum	Talajvízpárolgás (mm)	Napi PET (mm/nap)	%
2012.06.28	3.87905	3.540520231	109.5616
2012.06.29	3.25116	4.228829163	76.88097
2012.06.30	2.57398	5.143547301	50.04291
2012.08.18	1.84236	3.765660497	48.92528
2012.08.19	2.05845	3.88844389	52.93763
2012.08.20	1.90715	4.377011717	43.57196

19. táblázat: A talajvízpárolgás és a napi evapotranspiráció összehasonlító táblázata

Feltételezhető tehát, hogy a június végi időszakban a fás gyökerek jóval nagyobb mértékben hozzáfértek a talajvízhez (ill. a kapilláris zóna vizéhez), hiszen egy nagyságrendnyivel nagyobb mértékben vettek fel onnan vizet, mint augusztus végén.

Mérési adatainkat egy pontban mért talajvízkútból nyertük, így a biomassza hozamok és a talajvíz elérhetősége között parcella szinten további számszerű összefüggést nem nyerhettünk. Biztosan meg tudtuk azonban állapítani azt, hogy amennyiben a talajvíz, illetve a felette elhelyezkedő kapilláris zóna szintje a fagyökerek számára még elérhető, jelentős többlet-vízfelhasználást, azaz jelentős többletbiomassza-hozamot könyvelhetünk el a nemesnyár állományban. A jövőben kívánatos a kutatásainkban megkezdett talajvízszint monitoringból nyert adatok elemzése.

4.9. Gazdaságossági számítások

A megtérülési kalkuláció táblázatai az ültetvény létesítésétől kezdve tartalmazzák a különböző technológiai lépések bekerülési költségeit (*24. melléklet*). A dokumentumok különböző kezelés típusonként rögzítik a talaj-előkészítési munkálatok, a szaporítóanyag (ez esetben csak karódugványok), a dugványozás, a tápanyag-utánpótló anyagok és az ápolások költségeit, valamint a várható hozamokat és az így kalkulált bevételeket. Számításainkban 3 éves rotációt vettünk alapul, figyelembe véve a termőhelyi adottságokat. A vizsgálat elkészítése során nem számoltunk az infláció mértékével, mely jelenleg 0,4% (*URL 31.*), mivel ez hosszú távon nehezen becsülhető számadat.

Az ezekkel az összegekkel számított végső egyenleget az alábbi táblázat tartalmazza:

	Tápanyag-utánpótlás módja			
	Kezeletlen	**Fahamu**	**Szerves trágya**	**Fahamu + szerves trágya**
Haszon (nettó Ft/ha)	502 105	402 105	248 912	50 905

20. táblázat: Kísérleti ültetvény hektáronkénti haszontáblázata kezelésenként

A dolgozat számadataiból jól látszik, hogy ugyan magasabb hozamot képes produkálni a szerves trágyával, vagy a komplexszel kezelt terület, a tápanyag-utánpótló anyagok magas ára miatt a kezeletlen területek mutatják a legjobb bekerülési, megtérülési összeget. A második legjobb eredményt a fahamus parcellák adják, ehhez nyilván nagyban hozzájárul, hogy az anyagnak csak szállítási költsége keletkezett. Meg kell azt is jegyezni, hogy eredményeink csupán az első 3 év adatain alapulnak, ekkor még nem volt olyan jelentős a tápanyag elvonás a talajból. A későbbi években ilyen jellegű, tápanyagszegény homokterületen lényegesen nagyobb hozamkülönbségek adódhatnak tápanyag-utánpótlásnak köszönhetően (*Basave Villalobos et al., 2014*). Több vizsgálat is megállapította már, hogy az egyes fafajok és klónok különböző mértékben hasznosítják a talaj tápanyag- és víztartalmát. Az egyes elemeket tekintve az elvonás mértéke különböző, ezért is kiemelten fontos az energetikai ültetvények tápanyag-utánpótlásának kidolgozása (*Basave Villalobos et al., 2014; Károlyi, 2008*). Ennek ökológiai haszna hosszú távon akár felül is írhatja az ökonómiai hasznot.

Ha mintegy 21.000 Ft/atrotonna átvételi árat veszünk alapul, akkor esetünkben egyértelműen azt az eredményt kapjuk, hogy az első rotációs ciklusban még nem térül meg a tápanyag-utánpótlás költsége. Elképzelhető azonban, hogy a továbbiakban a talaj tápanyag-készletének

kimerülése következtében a tápanyag-utánpótlás hatása sokkal jelentősebb növedék-különbséget eredményez majd a kezeletlen területekhez képest.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az Európai Unió 2020-ra a megújuló energiaforrások alkalmazásának 20%-os részarányát kívánja elérni, ehhez képest hazánk csak 14,65%-ot vállalt. A megújuló energiaforrás-felhasználáson belül a biomassza aránya az EU-ban 2008-ban összesen 69% volt, Magyarországon ez az arány 92% volt.

A biomassza-tüzelésű erőművek, az apríték tüzelésű berendezések és a pelletelőállítás alapanyagigénye következtében szükségszerű az erdőgazdálkodásból származó alapanyagok kiegészítése, melyhez az energetikai célú fatermesztés nagyban hozzá járul. Az energetikai célú fás szárú ültetvények egyik – leggyakrabban alkalmazott – formája a rövid vágásfordulójú apríték- és faanyagtermelő ültetvény. Ez többnyire mezőgazdaságilag hasznosított területeken, speciális erre a célra választott fafajokkal/fajtákkal folytatott sarjerdő gazdálkodást jelent. Az ilyen faültetvényeken nagy hozam várható (~20 t/ha/év), így viszonylag kis területen jelentős biomassza-tömeg jelenik meg.

Az intenzív termesztés következtében várhatóan nagymértékű a tápanyagelvonás, ez a különböző fafajok/fajták biomassza hozama szempontjából kritikus tényezőnek bizonyulhat.

A Kelet-Cserháti Erdészethez tartozó Dejtári Csemetekertben 2011 tavaszán 5 ha-os területen hoztunk létre kísérleti fás szárú energiaültetvényt. A mintegy 3 évig folytatott kisparcellás kísérletünkben különböző fafajok illetve fajták, különböző szaporítóanyagok, valamint különböző ültetési hálózatok kerültek összehasonlításra. Tápanyag-utánpótlási vizsgálatokra 4 eltérő kezelési módot alkalmazunk, melyeket a fahamuval, szerves trágyával, ezek kombinációjával kezelt és egy kontroll blokkba rendeztünk, az alkalmazott nemesnyár fajták a ‘Pannónia’, ‘Monviso’, ‘AF2’, fehér füzek közül pedig a ‘Dékány’ fajta.

Kutatásunkban vizsgáltuk fafajonként/fajtánként a különböző szaporítóanyagok megeredését, a növekedés paramétereit (magasság, tő- és mellmagassági kerület), a fotoszintetizáló levélfelület alakulását, a biomassza hozamot, a talaj - és növényi tápanyagkészleteket és ezek összefüggéseit a tápanyag-utánpótlással, a különböző növőtér esetén tapasztalt növedéket, a becsült vízfelhasználást, és az ültetvény megtérülési számadatait.

A különböző fafajok/fajták megmaradásának eredményeként a dugványozás után 2 héttel a szaporítóanyag 4/5-e indult megeredésnek, közülük az ‘AF2’ karódugványok mutatták a legjobb eredési százalékot, majd őket a ‘Monviso’ követte. A fűz nem szolgált bíztató eredményekkel és sajnos a későbbi száraz klimatikus viszonyok miatt nem maradt életképes a területen. A karódugványok megeredése közel 20%-kal jobb volt, mint a sima

dugványoké. Összevetve más kísérlettel, a 85% körüli eredési eredmények megfelelőnek mondhatóak. A többlet tápanyag ekkor még nem hasznosult olyan ütemben, hogy az a dugványok megeredésében is látható különbséget okozzon.

A növekedés paramétereinek vizsgálata szerint a rövid dugványokat tekintve az 'AF2' növekedett a legjobban, ezt követte a 'Monviso'. Ezek a fajták voltak képesek a legjobban kihasználni a termőhelyi adottságokat. A karódugványok eredményei szignifikánsan különböznek a sima dugványokétól, kiemelve a drágább szaporítóanyag nyújtotta nagyobb termelési biztonságot. Esetünkben, közel 4 hónap alatt a trágyázás hatása még nem mutatkozott meg a fák magassági növekedésében, azonban 1 év elteltével már megfigyelhető volt a szerves trágyázás pozitív hatása, ellentétben a fahamu hatásával. A különböző trágyázási módszerek a 2. vegetációs időszak végére már jelezhetően kifejtették hatásukat, ekkor karódugvány esetében a fahamu+szerves trágya kombináció, sima dugványnál a szerves trágya kezelés eredményezte a legnagyobb többlethozamot, de az összes tápanyag-utánpótlási forma nagyobb növedéket biztosított a kontrollnál.

A dendromassza becslés eredményeiből, a magunk által elkészített függvényekből arra következtethetünk, hogy a magasság és a tőátmérő pozitívan korrelál egymással, ami megegyezik más hazai szerzők megállapításával is, valamint a mellmagassági kerület és tömeg között mutatkozott meg a legszorosabb összefüggés. Ezen túl a szaporítóanyag fajtájától függetlenül a magassági növekedés egyértelműen pozitívan korrelál a különböző kezelésekkel.

Az ültetvény első 3 évben számított (tehát első sarjaztatás előtti) átlagos évenkénti hozama 5 atro t/ha/év volt, mely néhol megegyezik az irodalomban leírtakkal, néhol akár túl is szárnyalja azokat. Az első sarjaztatás előtti időszak tekintetében ezek a hozamok bíztatóak. A 3×1-es ültetési hálózat megnövelése (a tőszám felezésével) az egyesfa tömeg kb. 8-10%-kal való gyarapodását eredményezte, valamint minden kezelésben kimutatható volt a mellmagassági és tőkerület gyarapodása. Az egyes fák növekedése tehát érzékenyen reagál a növőtérre.

A levélfelület alakulásában a tápanyag-utánpótlási vizsgálatok során szignifikáns különbség sem 2011-ben, sem 2013-ban nem mutatkozott. Ezek szerint ennyi idő alatt még nem hasznosult a tápanyag olyan mértékben, hogy ez a levélfelületben is jelentősen megmutatkozzon, viszont 2 év alatt a LAI értékek megháromszorozódtak. Ehhez leginkább a szerves trágyával való kezelés járult hozzá.

A talaj tápanyagkészletében 1 év után a 0-30 cm-es rétegben még nem lehetett komolyabb szervesanyag-felhalmozódást észlelni, de a szerves trágyával bevitt szervesanyag-mennyiség

vélhetően hozzájárult ahhoz, hogy a legmagasabb tápelem értékeket a kombináltan kezelt területen kaptuk. A S% és N% esetében is a tápanyag-utánpótolt parcellák adták a legmagasabb értékeket, így arra lehet következtetni, hogy a bevitt trágya mineralizációja következtében a tápelemek a talajban felhalmozódnak. A növényi tápelemkészlet esetében 1 év után a szerves trágyával bevitt foszfor mennyisége még nem mozdul el, nem lúgozódik ki. Az összes nitrogén mennyisége a 2011-2013 időszakban szignifikánsan csökkent a területen, ezért feltehető, hogy savanyú talajon ilyen rövid idő alatt (2-3 év) ekkora biomassza tömeg eléréséhez újabb nitrogén trágyázás szükséges. A 2014-es évre láthatóvá vált, hogy a trágyázás hatása - a levél tápelemtartalmak vonatkozásában - az eltelt évek alatt megszűnt, a foszfor feltehetően a mikrobiális lebontást követően könnyen felvehetővé vált a növények számára, majd kiürült, mennyisége ugyanis nagymértékben lecsökkent. A vas, mangán és cink esetében is jól látszott a szerves trágyával kezelt területeken a tápanyagkészletek jelentős csökkenése. Ennek magyarázata lehet a kelátképzés, mely során a szerves trágyából kioldódó szerves ligandumok kioldhatják ezen elemeket, melyek lefelé mozoghatnak a talajszelvény felső 10-30 cm-ben.

A gazdaságossági/megtérülési számítások számadataiból jól látszik, hogy bár a tápanyag-utánpótlásban részesült blokkok magasabb hozamot képesek produkálni, a kezelő anyagok magas ára miatt a kezeletlen területek mutatják a legjobb bekerülési, megtérülési összeget. További vizsgálatok szükségesek annak megállapítására, hogy a többszörös sarjaztatás időtartama alatt nem válik-e kritikusabbá a tápanyag-ellátottság kérdése a kezeletlen parcellában.

A meteorológiai és talajvíz monitoring adatok alapján megállapítottuk, hogy a faállomány potenciális evapotranspirációjának akár 80-100%-át is képes fedezni a talajfelszínhez közeli talajvízszint, de a talajvízszint a vegetációs időszak második felére már a gyökérzóna alá süllyedt, ekkor a növények egyre kisebb mértékben voltak képesek onnan vizet felvenni. A talaj pórusterének vizsgálata alapján a kis víztartó képességű, de gyors talajvízmozgást, kapilláris vízemelést lehetővé tévő homok fizikai féleség esetében a többletvízhatás jelentős többletnövedéket eredményezhet.

5.1. Kutatás gyakorlati hasznosulása / Kutatás jövőbeni lehetséges irányai

Több éves kutatásunk eredményei bővítették a magyarországi fás szárú energetikai ültetvények kezelésének tapasztalatait, egyben alapul szolgálnak további vizsgálatok lefolytatásához. Konkrét ajánlást adtunk a tápanyag-utánpótlás gyakorlati kivitelezésére fás

szárú energetikai ültetvényekben. A jövőben kívánatos a tápanyag-utánpótlási kísérletek folytatása, illetve célszerű lenne az állományok vízfelhasználásának, valamint a különböző hálózatú ültetvények növekedésmenetének részletesebb vizsgálata, mivel egyrészt nagy hatással lesz az ültetvényekre a klímaváltozás egyre biztosabb ténye, valamint az európai trendek a sűrűbb hálózatú, kizárólag energetikai célú faültetvények mellett egyre nagyobb hangsúlyt helyeznek a tágabb hálózatú, nem energetikai, hanem ipari célú, értékesebb választékot adó faültetvények telepítésére.

6. A KUTATÁSOK LEGFONTOSABB EREDMÉNYEIT ÖSSZEFOGLALÓ TÉZISEK

T1: Kisüzemi terepi fajta-összehasonlító kísérletben az Alasia New Clones® 'AF2' és 'Monviso' nemesnyár fajtái mutatták a legjobb megeredést, megmaradást és legnagyobb növekedési erélyt, szemben a kisebb hozamot produkáló hazai nemesítésű Pannonia fajtával, illetve az első vegetációs időszakban 2011-ben fellépő aszály miatt teljesen kipusztult *Salix alba* ''Dékány'' fűz fajtával. Mindez megfelelt azon tapasztalatoknak, hogy a hazánkban fás szárú energetikai ültetvényekben engedélyezett három fafaj termőhelyi spektruma eltérő: a déli származású nemesnyár klónok meleg igénye, szárazságtűrése nagyobb a fűzénél, utóbbi kezdettől fogva többletvizet igényel. Az aszályos körülmények között a 100-120 cm mély fúrással letett karódugványok megmaradása a könnyen kiszáradó homokos feltalaj mellett kedvezőbb volt a sima dugványokénál.

T2: Tápanyag-utánpótlási kísérletünkben a 2. vegetációs időszak végére, karódugványok esetében a szerves trágya+fahamu kombinált kezelés, a sima dugványokat nézve a szerves trágya kezelés eredményezte a legnagyobb, szignifikáns többlet biomassza hozamot. Karódugványok esetében a 3. évben is elvégzett hozamvizsgálatok ezen tendencia folytatódását mutatták. A növényi (levél-) tápelemvizsgálatok azt mutatták, hogy a 4. vegetációs periódusban erre vonatkozóan már nem volt kimutatható szignifikáns hatása az egyszeri tápanyag-utánpótlásnak.

T3: A levélfelület-index (LAI) alakulása és a különböző tápanyag-utánpótlási kezelések hatására jelentkező eltérő biomassza hozamok között nem találtunk statisztikailag igazolható, egyértelmű összefüggést. Ebből azt a következtetést vonjuk le, hogy az első években még nem záródott állományban nem a fotoszintetizáló felület nagyságának alakulása, hanem inkább a tápanyag-ellátottság a meghatározó tényező a növekedés szempontjából. A LAI értékek várhatóan elsősorban az állományok záródása után válnak jól kiértékelhetővé. Az első és harmadik vegetációs időszak között a LAI értékek nagyjából megháromszorozódtak.

T4: Az általunk leírt ökológiai/termőhelyi körülmények között adott területen, nagy elemszámmal, több vegetációs periódusban elvégzett növekedésvizsgálataink alapján egyértelmű, függvények formájában számszerűsíthető összefüggéseket állapítottunk meg a fák alaki tulajdonságai és a faegyedek biomasszája között. Méréseink megerősítették, újabb

adatokkal bővítették azon a szakirodalomban már részben leírt összefüggést, mely szerint a föld feletti dendromassza a legszorosabb összefüggést a mellmagassági átmérővel mutatta. Gyengébb korrelációt eredményezett a famagasság, még gyengébbet a tőkerület összevetése a fás biomasszával.

T5: Kétéves karódugványok növőterét 3x1 m-ről 3x2 m-re növelve egy vegetációs időt követően már szignifikáns, kb. 8-10%-os növekedést regisztráltunk a faegyedek méreteiben illetve dendromasszájában. Ennek az ipari felhasználási céllal létesített ültetvények esetében van komoly szerepe. A gyérítéssel előállt tágabb hálózat esetében azonban a hektárra vetített biomassza ilyen rövid idő alatt még kisebb marad, az egyes fák erőteljesebb növekedése nem kompenzálta a tőszám felezése miatti biomassza kiesést.

T6: Gazdaságossági/megtérülési számításaink alapján a különböző tápanyag-utánpótlási módok alkalmazása az első rotációs időszakban ugyan többletnövedéket eredményezett, a kezelések magas költsége miatt, az első három vegetációs periódus eredményei alapján azonban a kontroll területhez képest rosszabb gazdasági eredménnyel jártak.

T7: Vizsgálataink alapján a hazai fás szárú energetikai ültetvények kezelői számára a következő gyakorlati útmutatást adjuk tápanyag-utánpótlás végrehajtására:

- ültetést megelőző talajelőkészítés (30-40 cm mély szántás majd felszín elmunkálása, simítása) után 40 t/ha szarvasmarha trágya kiszórása trágyaszóróval és 5 t/ha kezeletlen faanyag elégetéséből visszamaradt, kezeletlen, természetes nedvességállapotú fahamu kijuttatása tárcsás műtrágyaszóróval;
- a kijuttatott szerves trágya és fahamu bedolgozása a talajba tárcsázással;
- a kezelés 3 évenkénti megismétlése.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton mondok köszönetet mindazoknak, akik doktori értekezésem elkészítésében segítségemre voltak.

Elsősorban témavezetőimnek, dr. Heil Bálint és dr. Kovács Gábor egyetemi docenseknek, az ültetvény kivitelezésében, a terepi munkákban, laboratóriumi vizsgálatokban nyújtott segítségükért, a folyamatos támogatásért, szakmai tanácsokért és munkám tartalmát érintő észrevételeikért.

Köszönettel tartozom az Ipoly Erdő Zrt. Vezérigazgatójának, Kiss Lászlónak, valamint a Kelet-Cserháti Erdészet Erdészetvezetőjének, Szabó Sándornak, a kísérleti terület biztosításáért, illetve a Dejtári Csemetekert dolgozóinak, Szeles Gábornak és Ruzsin Zoltánnak a terepi munkákban való segítségükért.

Köszönet illeti Kéri Lászlót, a BIOLINE Kft. ügyvezető igazgatóját, a fahamu biztosításáért, valamint Nagy József műszerészt, a TDR-szonda beüzemelésében és működtetésében való segítségéért.

Köszönöm a segítségét prof. dr. Gribovszki Zoltánnak és dr. Móricz Norbertnek, akik nélkül a talajvíz adatok kiértékelése nem jöhetett volna létre, valamint hálával tartozom dr. Benke Attilának, aki biztosította számomra a konzultációkon való megjelenést és hasznos tanácsokkal látott el.

Továbbá meg kell említenem hallgató társaimat, akik az ültetvényi munkákhoz és mérésekhez járultak nagyban hozzá, név szerint: Kiczkó Mónika, Szente Eszter, Terjéki Tímea, Pák Attila, Szabó János, Baumgartner Péter, Éliás Tibor, Heilig Dávid, Kiss Balázs, Kungli József, Mátra Zoltán Soma, Pócza Dániel, Schmidt Péter és Török Imre.

Végül külön köszönöm szüleimnek a rengeteg segítséget, támogatást, a terepen dolgozó csapatok bőséges ellátását és lektori munkájukat.

KIVONAT

TERMÉSZETES ANYAGOKKAL TÖRTÉNŐ TÁPANYAG-UTÁNPÓTLÁS FÁS SZÁRÚ ENERGETIKAI ÜLTETVÉNYBEN

Dolgozatom a hazai rövid vágásfordulójú fás szárú energetikai ültetvények létesítésének és fenntartásának körülményeit vizsgálja. Ezen - az erdészeti és mezőgazdasági művelés határmezsgyéjén létrejövő – faállományok tápanyag-utánpótlása intenzív növénytermesztési forma, mely mind gazdasági, mind ökológiai szempontból vizsgálandó.

A mintegy 3 évig folytatott kisparcellás kísérletünkben három nemesnyár és egy fehér fűzfajta, különböző szaporítóanyagok, valamint különböző ültetési hálózatok kerültek összehasonlításra. Tápanyag-utánpótlási vizsgálatokba a fahamut, a szerves trágyát, ezek keverékét és egy kontroll területet vontunk be.

Kutatásunkban vizsgáltuk fafajonként/fajtánként a különböző szaporítóanyagok megmaradását**,** rendszeres mérésekkel a magasság, tő- és mellmagassági kerület paramétereit,a levélfelület alakulását, a biomassza hozamot, a talajban és a növényekben mérhető tápanyag-készleteket és ezek összefüggéseit a tápanyag-utánpótlással, különböző növőtér esetén a tapasztalt növedékbeli eltéréseket, a becsült vízfelhasználást, és az ültetvény megtérülési számadatait. Vizsgálataimban e tényezők figyelembe vételével a következő legfontosabb megállapításokat tettem:

A megfelelő szaporítóanyag és technológia megválasztásának köszönhetően a dugványozás után 2 héttel a szaporítóanyag 4/5-e indult eredésnek.

A különböző trágyázási módszerek a 2. vegetációs időszak végére már jelezhetően kifejtették hatásukat, azonban a 2014-es évre a trágyázás hatása megszűnt.

A kísérlet első 3 évben számított átlagos hozama 5 atro t/ha/év volt. Az ültetési hálózat megnövelése az egyesfa-tömeg kb. 8-10%-al való gyarapodását eredményezte.

A levélfelület alakulásában a kezelések között szignifikáns különbség nem mutatkozott, azaz ennyi idő alatt még nem hasznosult a tápanyag olyan mértékben, hogy ez a levélfelületben is jelentősen megmutatkozzon.

A megtérülési számítások szerint, bár tápanyag-utánpótlással magasabb hozamot képes produkálni, a kezeletlen területek mutatják a legjobb bekerülési, megtérülési összeget.

A talajvíz monitoring adatok alapján megállapítottuk, hogy a faállomány potenciális evapotranspirációjának mintegy 50-100%-át képes fedezni a talajfelszínhez közeli talajvízből.

ABSTRACT

NUTRIENT SUPPLY WITH NATURAL MATERIALS IN SHORT ROTATION COPPICE

The dissertation examines the circumstances of the establishment and maintenance of domestic short-rotation coppices. In a small-plot experiment, poplar and willow varieties, different initial planting-grids, fertilization methods were compared.

In Hungary, the currently applied Alasia New Clones ‘AF2’ and ‘Monviso’ poplar clones showed the best survival rate (80-98%) and growth in the three years after planting.

After two growing seasons, due to nutrient supply, the highest surplus in biomass-yield was effected by the the mixed application of 40 tons of manure and 5 tons of wood ash / hectare, but the effect of the treatment was no longer detected after the third growing season. Economically, the extra costs of the nutrient supply didn’t return during this time.

The average yield from the first three years was approx 7 atro t/ha/year. A doubled planting-grid of 3x2 m resulted in 1.5-2 times higher single stem biomass.

IRODALOMJEGYZÉK

AL AFAS, N., MARRON, N., VAN DONGEN, S., LAUREYSENS, I., CEULEMANS, R. (2008a): Dynamics of biomass production in a poplar coppice culture over three rotations (11 years). Forest Ecology and Management. 255:1883-1981.

AL AFAS, N., MARRON, N., ZAVALLONI, C., CEULEMANS, R. (2008b): Growth and production of a short-rotation coppice culture of poplar – IV: Fine root characteristics of five poplar clones. Biomass and Bioenergy. 32:494-502.

ARBRE & PAYSAGE 32 (2014): Des arbres dans nos assiettes, mais c'est „alimentaire"!

AUGUSTO, L., BAKKER, M.R., MEREDIEU, C. (2008): Wood ash applications to temperate forest ecosystems – potential benefits and drawbacks. Plant and Soil 306 (1): 181-198.

ÁCS, F., BREUER, H. (2012): Biofizikai éghajlat-osztályozási módszerek. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest

BABOS, I. (1962): A magyar nyárfatermesztés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest

BAI, A. (2002): A biomassza felhasználása. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest

BARKÓCZY, Zs. (2009): A dendromassza alapú decentralizált energiatermelés alapanyagbázisának tervezése. Doktori értekezés, Sopron

BARKÓCZY, ZS., IVELICS R. (2008): Energetikai célú ültetvények. Erdészeti kisfüzetek. Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdővagyon-gazdálkodási Intézet

BÁRÁNY, G. (2011): A nemesnyár-termesztés fejlesztésének újabb eredményei. Doktori értekezés, Budapest

BÁRÁNY, G., CSIHA, I. (2007): Kivezető út vagy zsákutca- gondolatok az energetikai ültetvényekkel kapcsolatosan. in: Erdészeti Lapok CXLII. évf. 4. szám. pp. 114-115.

BASAVE VILLALOBOS, E., CETINA ALCALÁ, V.M., LÓPEZ LÓPEZ, M.A., ALDRETE, A., DEL VALLE PANIAGUA, D.H. (2014): Nursery practices increase seedling performance on nutrient-poor soils in Swietenia humilis. iForest 8: 552-557

BELLÉR, P. (1997): Talajvizsgálati módszerek. Soproni Egyetem, Sopron

BERTHELOT, A., RANGER, J., GELHAYE, D. (2000): Nutrient uptake and immobilization in a short-rotation coppice stand of a hybrid poplar in north-west France. Forest Ecology and Management. 128:167-179.

BOHN, H. L., MCNEAL B. L., O'CONNOR G. A. (1985): Talajkémia. Mezőgazdasági Kiadó – Gondolat Kiadó, Budapest

BOROVICS, A. (2009): A hazai nemesítés szerepe az energetikai faültetvényekben és az erdőtelepítésekben. Magánerdővel a válság ellen című konferencia előadási anyagai, Innova-Print Kft, Budapest

BOROVICS, A., CSIHA, I., BENKE, A. (2013): Az energetikai ültetvények fafajválasztéka, InnoLignum erdészeti és faipari kiállítás és vásár „Faenergetika napjainkban" című konferencia, Sopron

BURAI, P. (2007): Távérzékelési módszerek összehasonlító elemzése mezőgazdasági mintaterületeken. Debreceni Egyetem, Doktori (PhD) értekezés, Debrecen.

BUZÁS, I. (1983): A növénytáplálás zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest

CAMPBELL, A.G. (1990): Recycling and disposing of wood ash. Tappi Journal 73 (9):141-146.

CEULEMANS, R., PONTAILLER, J-Y., MAU, F., GUITTET, J. (1993): Leaf allometry in young poplar stands: Reliability of leaf area index estimation, site and clone effects. Biomass and Bioenergy, Volume 4, Issue 5

CZUPY, I., HORVÁTH, B.,VÁGVÖLGYI, A. (2014): Rövid vágásfordulójú energetikai faültetvények technológiai sajátosságai. Alföldi Erdőkért Egyesület, Kutatói nap

CZUPY, I., VÁGVÖLGYI, A., HORVÁTH, B. (2012): The Biomass Production and its Technical Backgorund in Hungary In: Proceedings of 45th International Simposium on Forestry Mechanization. Zagreb: University of Zagreb. pp. 1-9. (ISBN:978-953-292-025-3)

CSIHA, I., KESERŰ, ZS., RÁSÓ, J. (2007): Energetikai fafelhasználás során keletkező fahamu talajjavító hatásának vizsgálata. AEE - Kutatói Nap, Szeged

CSIHA, I., RÉDEI, K., KAMANDINÉ VÉGH, Á., KESERŰ, ZS., RÁSÓ, J. (2011): Fás szárú energetikai ültetvények termesztéstechnológiai fejlesztése Kelet-Magyarországon. Környezettudatos energiatermelés és felhasználás. II. Környezet és Energia Konferencia, Debrecen. pp. 54-59.

CSIPKÉS, M., NAGY, L. (2010): Energiaültetvények jövedelmezőségének elemzése. Acta Agraria Kaposváriensis, Vol. 14, No 3.

DICKMANN, D. I. (2006): Silviculture and biology of short-rotation woody crops in temperate regions: Then and now. Biomass and Bioenergy. 30:696-705.

DILLEN, S.Y., DJOMO, S.N., AL AFAS, N., VANBEVEREN, S., CEULEMANS, R. (2013): Biomass yield and energy balance of a short-rotation poplar coppice with multiple clones on degraded land during 16 years. Biomass and Bioenergy. 56:157-165.

DIMITRIOU, I., ERIKSSON, J., ADLERA, A., ARONSSONA, P., VERWIJSTA, T. (2006): Fate of heavy metals after application of sewage sludge and wood–ash mixtures to short-rotation willow coppice. Environmental Pollution. Volume 142, Issue 1, p. 160–169.

DIMITRIOU, I., ROSENQVIST, H. (2011): Sewage sludge and wastewater fertilisation of Short Rotation Coppice (SRC) for increased bioenergy production – Biological and economic potential. Biomass and Bioenergy. 35: 835-842.

DINGMAN, S. L. (2002): Physical Hydrology. Prentice Hall

DOBOS, A., MEGYES, A., SULYOK, D. (2006): Fás szárú növények energetikai célú hasznosításának lehetőségei a Nyírbátori kistérségben. Debreceni Egyetem, Debrecen.

DOWELL, R.C., GIBBINS, D., RHOADS, J.L., PALLARDY, S.G. (2009): Biomass production physiology and soil carbon dynamics in short-rotation-grown *Populus deltoides* and *P. deltoides x P. nigra* hybrids. Forest Ecology and Management. 257:134-142.

ERIKSSON, H.M., NILSSON, T., NORDIN, A. (1998): Early effects of lime and hardened and non-hardened ashes on pH and electrical conductivity of the forest floor, and relations to some ash and lime qualities. Journal of Forest Research. 0 (suppl. 2): 56-66.

EUROPEAN COMMISSION (1996): Energy for the future: Renewable sources of energy. COM (96) 576 final (20/11/96).

ETIÉGNI, L., CAMPBELL, A.G. (1991): Physical and chemical characteristics of wood ash. Bioresource Technology 37 (2): 173-178.

FIALA, M., BACENETTI, J. (2012): Econonomic, energetic and environmental impact in short rotation coppice harvesting operations. Biomass and Bioenergy. 42:107-113.

FISCHER, G., PRIELER, S., VAN VELTHUIZEN, H. (2005): Biomass potentials of miscanthus, willow and poplar: results and policy implications for Eastern Europe, Northern and Central Asia. Biomass and Bioenergy; 28:119-132.

FINCK, A. (2007): Pflanzenernährung und Düngung in Stichworten. Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung. Berlin, Stuttgart

FORTIER, J., GAGNON, D., TRUAX, B., LAMBERT, F. (2010): Biomass and volume yield after 6 years in multiclonal hybrid poplar riparian buffer strips. Biomass and Bioenergy; 34:1028-1040.

FÜZESI, I. (2014): A fahamu alkalmazási lehetőségei a mezőgazdaságban. Nyugat-magyarországi Egyetem, Doktori (PhD) értekezés, Sopron.

GEIST, F., HAVAS, I. (2011): Introductory country focus – Hungary. Renewable energy country attractiveness indices. Ernst & Young, Issue 31., pp. 30.

GOCKLER, L. (2010): Fás szárú energiaültetvények a mezőgazdaságban, 2. rész, A sarjaztatásos fás szárú energetikai ültetvény technológiájának megfontolandó elemei. Mezőgazdasági Technika, LI. évf., 11. szám

GONCZLIK,A., KAZAI, ZS., KŐRÖS, G. (2005): Új utak a mezőgazdaságban, Az energetikai célú növénytermesztés lehetősége az Alföldön. Energia Klub Környezetvédelmi Egyesület, Budapest

GRIBOVSZKI, Z., **SZILÁGYI, J., KALICZ, P.** (2010): Diurnal fluctuation in shallow groundwater levels and streamflow rates and their interpretation – A review. Journal of Hydrolody 385 (2010) 371-383.

HAGYÓ, A. (2009): Vízforgalom gyep és erdő területeken. Doktori értekezés, Szent István Egyetem, Biológia Tudományi Doktori Iskola, Gödöllő.

HAKKILA, P. (1989): Utilisation of residual forest biomass. Springer series in wood sciences. Springer Verlag, Berlin. 568 p.

HALÁSZ, G. (2006.): Magyarország erdészeti tájai. Állami Erdészeti Szolgálat, Budapest

HEIL, B. (2000): C- und N-Dynamik sowie Elementgradienten in Böden temperater Waldökosysteme. Dissertation. Ber. Forschungsz. Waldökosysteme, Reihe A, Bd.167, Göttingen, Deutschland. ISSN: 0939-1347.

HEIL, B., KOVÁCS, G., BARKÓCZY, ZS. (2010): Fás szárú energia ültetvények kutatási feladatai. Alföldi Erdőkért Egyesület, Kutatói nap.

HOLM, B., HEINSOO, K. (2013): Municipal wastewater application to Short Rotation Coppice of willows – Treatment efficiency and clone response in Estonian case study. Biomass and Bioenergy. 57: 126-135.

HYTÖNEN, J., SAARSALMI, A., ROSSI, P. (1995): Biomass production and nutrient uptake of short-rotation plantations. Silva Fennica 29(2): 117-139.

IVELICS, R. (2005): A fa energetikai hasznosítása. Előadás. In: MTA Erdészeti Bizottság, Tallós Pál Tudományos Kör, Budapest.

IVELICS, R. (2006): Minirotációs energetikai faültetvények termesztéstechnológiájának és hasznosításának fejlesztése, Doktori értekezés, Sopron

JÁRÓ, Z. (1963): Talajtípusok. Országos Erdészeti Főigazgatóság, Budapest

JOHANSSON, T., KARAČIĆ, A. (2011): Increment and biomass in hybrid poplar and some practical implications. Biomass and Bioenergy. 35:1925-1934.

JONCKHEERE, I., FLECK, S., NACKAERTS, K., MUYSA, B., COPPIN, P., WEISS, M., AND BARET, F. (2004): Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. Agricultural and Forest Meteorology 121: 19–35.

KACZMAREK, D.J., COYLE, D.R., COLEMAN, M.D. (2013): Survival and growth of a range of *Populus* clones in central South Carolina USA through age ten: Do early assessments reflect longer-term survival and growth trends? Biomass and Bioenergy. 49:260-272.

KARDOS, B. (2012): Fás szárú energia-ültetvényekben alkalmazható fafajok és fajták hozamvizsgálata. NymE Tudományos Diákköri Konferencia az Erdőmérnöki Karon, Pályamunka

KÁROLYI, A. (2008): Energiaültetvényeken alkalmazható növényfajták elemmérlegének vizsgálata összehasonlító kísérletekben. Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Diplomamunka, Sopron.

KESERŰ, ZS. (2014): Agroerdészet Magyarországon. Erdészeti Lapok CXLIX. évf. 2. szám

KESERŰ, ZS., CSIHA, I., RÉDEI, K., KAMANDINÉ VÉGH, Á., KOVÁCS, CS., RÁSÓ, J. (2014): Környezetkímélő és költséghatékony agroerdészeti termesztési rendszerek, mint a jövő földhasználati lehetőségei. Alföldi Erdőkért Egyesület, Kutatói nap

KNAPP, B.A., INSAM, H.(2011): Recycling of biomass ashes – current technologies and future research needs. In: INSAM, H. – KNAPP B.A. (eds.) Recycling of biomass ashes. Springer, Heidelberg. 1–16.

KOVÁCS, G., HEIL, B., MAGYARI, CS., GYŐRI, T., SZABÓ, O.(2010): Fás szárú, kísérleti célú energiaültetvények termőhelyi viszonyai az ültetvények tapasztalatainak függvényében. Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói nap, Szolnok. Konferencia kiadvány, pp. 23-31.

KOVÁCS, G., MAGYARI, CS., HEIL, B., GYŐRI, T. (2011): Standortverhältnisse und Wuchsleistungen von Energieholzplantagen in Ungarn. Central European Biomass Conference: Graz.

KOVÁCS, G., MAGYARI, CS., GYŐRI, T., VÁGVÖLGYI, A., HEIL, B. (2014): Energetikai ültetvények az Alföldön. Alföldi Erdőkért Egyesület, XXII. Kutatói Nap.

LAUREYSENS, I., BOGAERT, J., BLUST, R., CEULEMANS, R. (2004): Biomass production of 17 poplar clones in a short-rotation coppice culture on a waste disposal site and its relation to soil charasteristics. Forest Ecology and Management. 187:295-309.

LAUREYSENS I, PELLIS A, WILLEMS J, CEULEMANS R. (2005): Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar. III. Second rotation results. Biomass and Bioenergy. 29:10-21.

LAZDIŅA, D., BĀRDULIS, A., BĀRDULE, A., LAZDIŅŠ, A., ZEPS, M., JANSONS, Ā. (2014): The first three-year development of ALASIA poplar clones AF2, AF6, AF7, AF8 in biomass short rotation coppice experimental cultures in Latvia. Agronomy Research. 12(2): 543-552.

LIEBHARD, P. (2009): Energetikai faültetvények. Cser Kiadó, Budapest.

MACCHETTA, S. (2010): Affinamento del Terreno Dopo L'aratura - Alasia New Clones, Savigliano.

MAGYARORSZÁG MEGÚJULÓ ENERGIA HASZNOSÍTÁSI CSELEKVÉSI TERVE 2010-2020. (2011): Kiadja a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium; Felelős kiadó: Zöldgazdaság-fejlesztésért és Klímapolitikáért Felelős Helyettes Államtitkárság. ISBN 978-963-89328-0-8

MAKESCHIN, F., K. E. REHFUESS, I., RIESCH & R. SCHÖRRY (1989): Anbau von Pappeln und Weiden im Kurzumtrieb auf ehemaligem Acker: Standörtliche Voraussetzungen, Nährstoffversorgung, Wuchsleistung und bodenökologische Auswirkungen. Forstw. Cbl. 108: p. 125 – 143.

MANDRE, M., PÄRN, H., OTS, K. (2006): Short-term effects of wood ash on the soil and the lignin concentration and growth of Pinus sylvestris L. Forest Ecology and Management. Volume 223, Issues 1-3, p. 349-357.

MAROSVÖLGYI, B. (1990): Energiacélú ültetvényekkel és sarjállományokkal folyó kísérletek eddigi eredményei Magyarországon. Az Erdő, 39. évf., 6. szám.

MAROSVÖLGYI, B. (1999): Energetikai faültetvényekkel folyó kísérletek hozameredményei mezőgazdasági művelésből kivont területen. Erdészeti Lapok, CXXXIV. évf. 4. szám

MAROSVÖLGYI, B. (2010): A faenergetika új lehetőségei és korlátai. Alföldi Erdőkért Egyesület, Kutatói nap.

MÁTYÁS, CS. (2002): Erdészeti - természetvédelmi genetika. Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 235.

MEIWES, K.J. (1995): Application of lime and wood ash to decrease acidification of forest soils. Water Air & Soil Pollution 85 (1): 143-152.

MISRA, M., RAGLUND, K., BAKER A. (1993): Wood ash composition as a function of furnace temperature. Biomass and Bioenergy 4 (2):103-116.

MÓRICZ, N., MÁTYÁS, C., BERKI, I., RASZTOVITS, E., VEKERDY, Z., GRIBOVSZKI, Z. (2012): Comparative water balance study of forest and fallow plots. iForest 5: 188-196 [online 2012-08-02]

MUSE, J., MITCHELL, C. (1995): Paper mill boiler ash and lime by-products as soil liming materials. Agronomy Journal 87 (3): 432-438.

NEMZETI ÉLELMISZERLÁNC-BIZTONSÁGI HIVATAL (2013): Energetikai fásszárú faültetvények Magyarországon 2013. Kiadó: Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, Erdészeti Igazgatóság, Budapest.

NEMZETI ÉLELMISZERLÁNC-BIZTONSÁGI HIVATAL (2014): Erdővagyon és erdőgazdálkodás Magyarországon. Kiadó: Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, Erdészeti Igazgatóság, Budapest.

NEMZETI FEJLESZTÉSI MINISZTÉRIUM (2012): Nemzeti energiastratégia 2030. Propektus Nyomda, Budapest.

NÉMETH, K. (1997): Faanyagkémia. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest

NÉMETH, K. (2011): Dendromassza-hasznosításon alapuló decentralizált hőenergiatermelés és felhasználás komplex elemzése. Pannon Egyetem, Doktori (PhD) értekezés, Keszthely.

ORAVEC, M. (2007): Optimalizácia a monitorovanie produkcie a energetického využitia lesnej dendromasy, NLC-LVÚ Zvolen, 95 strán

PARIS, P., MARESCHI, L., SABATTI, M., PISANELLI, A., ECOSSE, A., NARDIN, F., SCARASCIA-MUGNOZZA, G. (2011): Comparing hybrid Populus clones for SRF across northern Italy after two biennial rotations: Survival, growth and yield. Biomass and Bioenergy. 35:1524-1532.

PARIS, P., MARESCHI, L., SABATTI, M., TOSI, L., SCARASCIA-MUGNOZZA, G. (2015): Nitrogen removal and its determinants in hybrid Populus clones for bioenergy plantations after two biennial rotations in two temperate sites in northern Italy. iForest (early view): e1-e9

PARK, B. B., YANAI, R. D., SAHM, J. M., BALLARD, B. D., ABRAHAMSON, L. P. (2004): Wood Ash Effects on Soil Solution and Nutrient Budgets in A Willow Bioenergy Plantation. Water, Air, & Soil Pollution, Volume 159, Number 1, 209-224.

PONTAILLER, J.Y., HYMUS, G.J., DRAKE, B.G. (2003): Estimation of leaf area index using ground-based remote sensed NDVI measurements: validation and comparison with two indirect techniques. Canadian Journal of Remote Sensing. 29:381-387.

RÉDEI, K. (2014): Bevezetés az ültetvényszerű fatermesztés gyakorlatába. Agroinform Kiadó és Nyomda Kft., Budapest, pp. 92.

RÉDEI, K., CSIHA, I., VEPERDI, I. (2009): Energiaerdők, faültetvények, új területhasznosítási lehetőségek. Magyar Tudomány, 170. évf., 2009/2. sz. pp. 179-184.

RÉDEI, K., CSIHA, I., KESERŰ, ZS. (2011): Black locust (*Robinia pseudoacacia L.*) Short-Rotation Crops under Marginal Site Conditions in Acta sylvatica Vol. 7. pp. 125–132.

RUMPF, S., LUDWIG, B., MINDRUP, M. (2001): Effect of wood ash on soil chemistry of a pine stand in Northern Germany. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. Volume 164, Issue 5, pp. 569-575.

SANO, T. – MIURA, S. – FURUSAWA, H. – KANEKO, S. – YOSHIDA, T. – NOMURA, T. – OHARA, S. (2013): Composition of inorganic elements and the leaching behavior of biomass combustion ashes discharged from wood pellet boilers in Japan. Journal of Wood Science 59 (4): 307-320.

SÁRDI, K. (2011): Tápanyaggazdálkodás. – Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem. 88 p.

SOMESHWAR, A.V. (1996): Wood and combination wood-fired boiler ash characterization. Journal Of Environmental Quality 25 (5): 962-972.

STEENARI, B.-M., MARSIC, N., KARLSSON, L.G., TOMSIC, A., LINDQVIST, O. (1998): Long-term leaching of stabilized wood ash. Scandinavian Journal of Forest Research. Supplement No. 2: 3-16.

STEFANOVITS, P. (1992): Talajtan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest

STEFANOVITS, P., FILEP, GY., FÜLEKY, GY. (1996): Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest

SVÁB, J. (1981): Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

SZABÓ, O. (2012): Energiaerdő – környezettudatos földhasználat. Nemzedékek együttműködése a tudományban, IV. PhD konferencia, Konferencia kötet

SZAJKÓ, G. (2009): Erdészeti és ültetvény eredetű fás szárú energetikai biomassza Magyarországon. Regionális Energiagazdasági Kutatóközpont, Műhelytanulmány, Budapest

SZEMEREY, T. (2004): Erdőtalaj meszezésének hatása egy bükkös faállomány páncélosatka faunájára (Acari: *Oribatida*). Nyugat-Magyarországi Egyetem, Doktori (PhD) értekezés, Sopron.

SZENDREY, I. (1981): Faipari kémiai technológia I. Erdészeti és Faipari Egyetem. Sopron, pp. 159.

TERJÉKI, T. (2014): Hozamvizsgálatok eltérő növőtér függvényében fás szárú energetikai ültetvényben. Nyugat-magyarországi Egyetem, Erdőmérnöki Kar, Diplomamunka, Sopron.

TÓTH, B. (2006): Nemesnyár-fajták ismertetője. Irányelvek a nemesnyár-fajták kiválasztásához. Erdészeti Tudományos Intézet, Budapest, pp. 48; 64;81.

ULRICH, B. (1990/91): Stoffhaushalt von Wald-Ökosystemen Bioelement-Haushalt. Vorlesungsskript. Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen

ÚJ SZÉCHENYI TERV (2011)**:** Zöldgazdaság-fejlesztési Program. Magyarország Kormánya.

VANCE, E.D. (1996): Land application of wood-fired and combination ashes: an overview. Journal of Environmental Quality 25 (5): 937-944.

VÁGVÖLGYI, A.(2013): Fás szárú energetikai ültetvények helyzete Magyarországon napjainkig; üzemeltetésük, hasznosításuk alternatívái. Nyugat-magyarországi Egyetem, Doktori (PhD) értekezés, Sopron.

VÁGVÖLGYI, A., HEIL, B., KOVÁCS, G. (2014): Development trends of woody energy plantations in Hungary. Central European Biomass Conference, Graz.

VEPERDI, G. [összeállította] (2005): Dendrometria (Erdőbecsléstan). Oktatási segédanyag. Kézirat, Sopron

WALLE, I.V., VAN CAMP, N., VAN DE CASTEELE, L., VERHEYEN, K., LEMEUR, R. (2007): Short-rotation forestry of birch, maple, poplar and willow in Flanders (Belgium) I – Biomass production after 4 years of tree growth. Biomass and Bioenergy. 31:267-275.

WERKELIN, J., SKRIFVARS, B.-J., HUPA, M. (2005): Ash-forming elements in four Scandinavian wood species. Part 1: summer harvest. Biomass and Bioenergy 29 (6): 451-466.

WILLIAMS, T. M., HOLLIS, C. A., SMITH, B. R. (1996): Forest soil and water chemistry following bark boiler bottom ash application. Journal of Environmental Quality 25 (5): 955-961.

WITTWER, R. F., STRINGER, J. W. (1985): Biomass production and nutrient accumulation in seedling and coppice hardwood plantations. Forest Ecology and Management. 13, 222-233.

ZIMMERMAN, S., FREY, B. (2002): Soil respiration and microbial properties in an acid forest soil: effects of wood ash. Soil Biology and Biochemistry. Volume 34, Issue 11, pp. 1727-1737.

ZIMMERMAN, S., HÄSSIG, J., LANDOLT, W. (2010): Literaturreview Holzasche – Wald. Bundesamt für Umwelt BAFU, Birmensdorf. 80. p

URL 1.: http://greenfo.hu/hirek/2014/03/15/nott-a-megujulo-energiaforrasok-aranya-az-eu-ban (2014. október 15.)

URL 2.: http://www.biomasszaeromuvek.hu/mediamegjelenesek_olvas/92 (2011. március 18.)

URL 3.: http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2011/12/renewable-energy-recap-hungary (2013. 01. 20.)

URL 4.: IEA (https://www.iea.org/) (2014. 10. 22)

URL 5.: http://www.guardian.co.uk/news/datablog/2012/jun/19/renewable-energy-consumption-eu-targets (2013. 01. 20.)

URL 6.: http://www.mnnsz.hu/2012-a-megujulo-energiak-eve/ (2013. 01. 05.)

URL 7.: http://www.piacesprofit.hu/klimablog/fenntarthato_fejlodes/energiaultetvenyek_ujab_beveteli_lehetoseg/ (2013. 01. 10.)

URL 8.: http://zoldtech.hu/cikkek/20081126-energiaultetvenyek (2013. 01. 10.)

URL 9.: http://forestpress.hu/hu/index.php/hangtar2/95-archivum/archivum-tanulmanyok-erdeszet/10792-a-roevid-vagasforduloju-fas-szaru-energiaueltetvenyek-klimavedelmi-es-gazdasagi-jelentsege-energyfor (2013. 01. 05.)

URL 10.: http://www.fataj.hu/2010/02/236/201002236_FasEnergiaultetveny_KeteventeAratas.php (2013. 01. 09.)

URL 11.: http://erdo-mezo.hu/2013/09/26/az-energetikai-ultetvenyek-fajtavalaszteka/(2014.02.16.)
URL 12.: http://www.fataj.hu/2010/03/091/201003091_EnergiafuzTermesztese.php (2013. 01. 09.)
URL 13.: http://energyforest.eu/images/ANC-Nemesnyar-Technologia.pdf (2013. 07. 21.)
URL 14.: http://www.foerdesz.hu/energiaultetveny.html (2013. 01. 10.)
URL 15.: http://vaol.hu/gazdasag/ketevenkent-lehet-aratni-1248706 (2015. 12. 29.)
URL 16.: http://www.mvh.gov.hu/portal/MVHPortal/default/mainmenu/tamogatasok?tamogatas_id=1000014&mutat=T%E1mogat%E1s+r%E9szletei (2013. 01. 09.)
URL 17.: http://www.seeger.ag/hu/referenciak/biomassza-eromu.html (2013. 01. 10.)
URL 18.: https://www.mvh.gov.hu/tamogatasok-listazo/-/tamogatas/689 (2015.01.26.)
URL 19.: http://www.energyforest.eu/calculations.html (2013. 01. 10.)
URL 20.: http://lejpt.academicdirect.org/A08/09_16.htm (2010. 03. 17.)
URL 21.: http://balintgazda.hu/aktualis-kert/november/szervestragyazas-mivel-mit-es-hogyan.html (2014. 05. 10.)
URL 22.: http://109.74.55.19/tananyagok/tananyagok/Szervestr%C3%A1gy%C3%A1z%C3%A1s.pdf (2014. 09.20.)
URL 23.: https://hu.wikipedia.org/wiki/Lev%C3%A9lfel%C3%BCleti_index (2015. 09.08.)
URL 24.: http://www.fao.org/gtos/doc/ecvs/t11/t11-lai-report-v02.doc (2014. 11. 15.)
URL 25.: http://www.fataj.hu/2009/10/282/200910282_DendromasszaAlapuEnergiatermeles.php (2010. 03. 20.)
URL 26.: http://www.migert.hu/sites/default/files/02_nedvessegmerok.pdf (2015. 03. 13.)
URL 27.: http://www.alasianewclones.com/en/servizi/'MONVISO'.aspx (2015. 08. 10.)
URL 28.: www.metnet.hu
URL 29.: www.zivatar.hu
URL 30.: https://hu.wikipedia.org/wiki/Kel%C3%A1that%C3%A1s (2015. 10. 20.)
URL 31.: https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/gyor/far/far1507.html (2015. 08. 10.)

2007. évi CXXIX. törvény a termőföld védelméről

***71/2007. (IV. 14.)* Korm. rendelet** a fás szárú energetikai ültetvényekről

***45/2007. (VI. 11.)* FVM rendelet** a fás szárú energetikai ültetvények telepítésének engedélyezése, telepítése, művelése és megszüntetése részletes szabályairól, valamint ezen eljárások igazgatási szolgáltatási díjáról

***72/2007. (VII.27.)* FVM rendelet** az Európai Mezőgazdasági Vidékfejlesztési Alapból a rövid vágásfordulójú fás szárú energiaültetvények telepítéséhez nyújtott támogatás igénybevételének részletes feltételeiről

***110/2003. (X. 21.)* FVM rendelet** az erdészeti szaporítóanyagokról

***33/2007. (IV. 26.)* FVM rendelet** az Európai Mezőgazdasági Garancia Alapból az energetikai célból termesztett növények termesztéséhez nyújtható kiegészítő támogatás igénybevételének feltételeiről

***134/2007. (XI. 13.)* FVM rendelet** az Európai Mezőgazdasági Vidékfejlesztési Alapból a rövid vágásfordulójú fás szárú energiaültetvények telepítéséhez nyújtott támogatás igénybevételének részletes feltételeiről szóló 72/2007. (VII. 27.) FVM rendelet módosításáról

***36/2006. (V. 18.)* FVM rendelet** a termésnövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról

***10/2010. (II. 4.)* FVM rendelet** a termésnövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról szóló 36/2006. (V. 18.) FVM rendelet módosításáról

***347/2006. (XII. 23.)* Korm. rendelet** a környezetvédelmi, természetvédelmi, vízügyi hatósági és igazgatási feladatokat ellátó szervek kijelöléséről

***50/2001. (IV.3.)* Korm. rendelet** a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól

ÁBRA- ÉS TÁBLÁZATJEGYZÉK

Ábrajegyzék

1. ábra: Potenciálisan felhasználható, valamint ténylegesen hasznosított megújuló energiaformák Magyarországon ..... - 12 -
2. ábra: A megújuló energiahordozók elsődleges termelésének alakulása Magyarországon, 2000-2011 ..... - 12 -
3. ábra: Második generációs energianövények potenciális energiahozamai Európában ..... - 13 -
4. ábra: Az Európai Unió villamosenergia-termelésének forrásai és az ehhez kapcsolódó CO_2 kibocsátás ..... - 15 -
5. ábra: Az Európai Unió tagállamaiban minimum teljesítendő megújuló energia célok 2020-ra, 2008-as EU előírások szerint ..... - 15 -
6. ábra: Potenciális bioenergia termelés Európában ..... - 17 -
7. ábra: Fás szárú energetikai faültetvények területet megyék szerinti megoszlása hektárban, 2012 ..... - 21 -
8. ábra: Az energetikai ültetvények fafaj megoszlása Magyarországon (ha), 2012 ..... - 23 -
9. ábra: Magyarországon nyilvántartott nyár, fűz, és akác fajták száma (db) ..... - 24 -
10. ábra: Az egyes fafajok eltérő ökológiai igényei ..... - 26 -
11. ábra: Tápanyag-utánpótlás javasolt lépései ..... - 32 -
12. ábra: Kísérleti területlégi fotója, Dejtár ..... - 44 -
13. ábra: Parcellakiosztás ..... - 45 -
14. ábra: 2 hónapos 'AF2' karódugvány ..... - 50 -
15. ábra: 2 hónapos fehér fűz 'Dékány' ..... - 52 -
16. ábra: A két fúráspont elhelyezkedése a kísérleti területen ..... - 52 -
17. ábra: A pF berendezés, előtte a mintavevő Vér-henger ..... - 53 -
18. ábra: Terepi eredés vizsgálat a kísérleti területen, Dejtár ..... - 56 -
19. ábra: Magasság mérése a kísérleti területen, Dejtár ..... - 56 -
20. ábra: Kerületmérés a fás szárú energetikai ültetvényben, Dejtár ..... - 58 -
21. ábra: Fatömeg mérése a fás szárú energetikai ültetvényben, Dejtár ..... - 57 -
22. ábra: Levélfelületi index meghatározása terepi kísérletben, Dejtár ..... - 59 -
23-24. ábra: A befényképezett és a kiértékelhető levélminták ..... - 59 -
25-26. ábra: Telepített 4 m mélységű talajvízkút és adatainak kiolvasása ..... - 60 -
27. ábra: 1. talajszelvény ..... - 64 -
28. ábra: 2. talajszelvény ..... - 68 -
29. ábra: Az ültetvény és a közeli meteorológiai állomások elhelyezkedése ..... - 72 -
30. ábra: Walter-Lieth féle klímadiagram, Balassagyarmat 2011. ..... - 74 -
31. ábra: Walter-Lieth féle klímadiagram, Romhány 2012. ..... - 74 -
32. ábra: Walter-Lieth féle klímadiagram, Romhány 2013. ..... - 75 -
33. ábra: Példa a 3. kategóriára, Dejtár ..... - 76 -
34. ábra: A megmaradás százalékos megoszlása standard hibával a fajták tekintetében ..... - 77 -
35. ábra: A kezelések hatása a dugványok megeredésére ..... - 78 -
36. ábra: Karó- és rövid dugványok megmaradásának összehasonlítása az különböző eredési kategóriák vonatkozásában ..... - 79 -
37. ábra: Magassági növekedésmenet vizsgálata a kezelések függvényében, 2011. ..... - 80 -
38. ábra: Magassági növekedés vizsgálata a fajták függvényében, 2011. ..... - 81 -
39. ábra: Tőátmérő vizsgálat a kezelések függvényében, 2011. ..... - 82 -
40. ábra: Tőátmérő eredmények vizsgálata a fajták függvényében, 2011. ..... - 82 -
41. ábra: Dugványok magassági növekedése a kezelés függvényében, 2012. ..... - 83 -
42. ábra: Különböző dugványtípusok magassági növekedése a kezelés függvényében ..... - 84 -
43. ábra: Tőátmérő vizsgálat a kezelések függvényében, 2012. ..... - 85 -
44. ábra: Karódugványok tőátmérője a kezelés függvényében, 2012. ..... - 86 -

45. ábra: Karódugványok magassága a kezelés függvényében, 2012. ..... - 86 -
46. ábra: 1 hektárra eső száraz tömeg eredmények a kezelések függvényében, 2012. ..... - 87 -
47. ábra: A magasság és tömeg összefüggése 'AF2' karódugvány esetén ..... - 88 -
48. ábra: A tőkerület és tömeg összefüggése 'AF2' karódugvány esetén ..... - 88 -
49. ábra: A mellmagassági kerület és tömeg összefüggése 'AF2' karódugvány esetén ..... - 89 -
50. ábra: Karódugványok száraz tömege a kezelések függvényében, 2012. ..... - 90 -
51. ábra: Karódugványok tőátmérője a kezelések függvényében, 2013. ..... - 91 -
52. ábra: Karódugványok magassága a kezelések függvényében, 2013. ..... - 91 -
53. ábra: Karódugványok száraz tömege a kezelések függvényében, 2013. ..... - 92 -
54. ábra: A magasság és tömeg összefüggése 'AF2' karódugvány esetén ..... - 93 -
55. ábra: A tőkerület és tömeg összefüggése 'AF2' karódugvány esetén ..... - 93 -
56. ábra: A mellmagassági kerület és tömeg összefüggése 'AF2' karódugvány esetén ..... - 94 -
57. ábra: Mellmagassági kerület változása megegyező növőtér esetén ..... - 95 -
58. ábra: Tőkerület változása megegyező növőtér esetén ..... - 96 -
59. ábra: Mellmagassági kerület változása eltérő növőtér esetén ..... - 97 -
60. ábra: Tőkerület változása eltérő növőtér esetén ..... - 97 -
61. ábra: Tőkerület változása a növőtér függvényében ..... - 98 -
62. ábra: Mellmagassági kerület változása a növőtér függvényében ..... - 98 -
63. ábra: Levélfelületi index eredmények a kezelések függvényében, 2011. ..... - 100 -
64. ábra: Levélfelületi index eredmények a fajták függvényében, 2011. ..... - 101 -
65. ábra: Levélfelületi index eredmények a kezelések függvényében, 2013. ..... - 101 -
66. ábra: Levélfelületi index eredmények a fajták függvényében, 2013. ..... - 102 -
67. ábra: Szárazanyag-tartalom vizsgálat, 2012. ..... - 103 -
68. ábra: Szárazanyag-tartalom vizsgálat, 2013. ..... - 103 -
69. ábra: Az élőnedves tömeg és száraz tömeg értékei a második tenyészidőszakban, 2012. ..... - 104 -
70. ábra: Az élőnedves tömeg és száraz tömeg értékei a harmadik tenyészidőszakban, 2013. ..... - 105 -
71. ábra: Talaj széntartalma a kezelések függvényében, 2011 ..... - 106 -
72. ábra: Talaj nitrogéntartalma a kezelések függvényében, 2011 ..... - 107 -
73. ábra: Talaj könnyen oldható foszfortartalma a kezelések függvényében, 2011 ..... - 108 -
74. ábra: Növényminták összes foszfortartalma a kezelések függvényében, 2011. ..... - 109 -
75. ábra: Növényminták összes kalciumtartalma kezelésenként, 2011. ..... - 109 -
76. ábra: Növényminták összes mangántartalma a kezelések függvényében, 2011. ..... - 110 -
77. ábra: Növényminták összes cinktartalma a kezelések függvényében, 2011. ..... - 111 -
78. ábra: Növényminták réztartalma a kezelések függvényében, 2011. ..... - 111 -
79. ábra: Növényminták összes foszfortartalma a kezelések függvényében, 2014 ..... - 113 -
80. ábra: Összes foszfor mennyisége 2011 és 2014-ben ..... - 114 -
81. ábra: Növényminták összes káliumtartalma kezelések szerint, 2014. ..... - 115 -
82. ábra: Összes kálium tartalom 2011 és 2014-ben ..... - 115 -
83. ábra: Növényminták összes mangántartalma kezelések függvényében, 2014. ..... - 116 -
84. ábra: Összes növényi mangántartalom 2011 és 2014-ben ..... - 116 -
85. ábra: Növényminták összes vastartalma kezelések függvényében, 2014. ..... - 117 -
86. ábra: Összes növényi vastartalom 2011 és 2014-ben ..... - 118 -
87. ábra: Növényminták összes cinktartalma kezelések függvényében, 2014. ..... - 118 -
88. ábra: Összes növényi káliumtartalom fahamuval való kezelés esetén 2011 és 2014-ben ..... - 120 -
89. ábra: Összes növényi káliumtartalom komplex kezelés esetén 2011 és 2014-ben ..... - 120 -
90. ábra: Összes növényi káliumtartalom kezeletlen területen 2011 és 2014-ben ..... - 121 -
91. ábra: Összes növényi foszfortartalom kezeletlen területen 2011 és 2014-ben ..... - 122 -
92. ábra: Kísérleti terület pF-görbéje ..... - 123 -
93. ábra: Szilárd részek és pórustér megoszlása a talajban ..... - 124 -

94. ábra: 2012. június 20 – augusztus 6. közötti időszak talajvíz szintjének változása ..... - 125 -
95-96. ábra: Talajvíz szintje és a vízfelhasználás mértéke, 2012.06.28 - 2012.07.01..... - 126 -
97-98. ábra: Talajvíz szintje és a vízfelhasználás mértéke, 2012.08.18 - 2012.08.20..... - 127 -

Táblázatjegyzék

1. táblázat: A megújuló energia felhasználása Magyarországon 2008-2020-ra vonatkoztatva..... - 10 -
2. táblázat: Fa alapú biomasszából származó energia ..... - 14 -
3. táblázat: Az energianövények csoportosítása ..... - 19 -
4. táblázat: 1 ha-os ültetvény költségei, 2012-es árak alapján ..... - 30 -
5. táblázat: A fahamu elemi összetétele..... - 35 -
6. táblázat: A fahamu kémiai összetétele..... - 35 -
7. táblázat: A Cserhát-vidék tájrészletei és jellemző területi és erdősültségi adatai ..... - 43 -
8. táblázat: A táj talajainak megoszlása hidrológiai kategóriák szerint ..... - 43 -
9. táblázat: A balassagyarmati Dr. Kenessey Albert Kórház és Rendelőintézet biomassza alapú tüzelőberendezésében keletkező fahamu átlagos összetétele ..... - 47 -
10. táblázat: 1. talajszelvény vizsgálati eredményei ..... - 65 -
11. táblázat: 2. talajszelvény vizsgálati eredményei ..... - 69 -
12. táblázat: Havi átlagos hőmérsékleti adatok (°C), Balassagyarmat, Romhány ..... - 72 -
13. táblázat: Havi átlagos csapadékösszeg adatok (mm), Balassagyarmat, Romhány ..... - 73 -
14. táblázat: Eredési kategóriák százalékos eloszlása..... - 76 -
15. táblázat: Egyutas varianciaanalízis táblázata ..... - 94 -
16. táblázat: Egyutas varianciaanalízis táblázata ..... - 96 -
17. táblázat: Növényminták N%-a kezelések szerint 2011 és 2013-ban..... - 112 -
18. táblázat: Növényminták különböző tápelem tartalma kezelések szerint ..... - 113 -
19. táblázat: A talajvízpárolgás és a napi evapotranspiráció összehasonlító táblázata ..... - 128 -
20. táblázat: Kísérleti ültetvény hektáronkénti haszontáblázata kezelésenként..... - 129 -

MELLÉKLETEK

1. melléklet: Megeredés statisztikai kiértékelése fajtánként ..... - 155 -

2. melléklet: Magassági növekedés vizsgálata a kezelések függvényében, 2011. ..... - 155 -

3. melléklet: Magassági növekedés vizsgálata a fajták függvényében, 2011. ..... - 156 -

4. melléklet: Tőátmérő vizsgálata a kezelés függvényében, 2011. ..... - 156 -

5. melléklet: Tőátmérő vizsgálata a fajták függvényében, 2011. ..... - 157 -

6. melléklet: Magassági növekedés vizsgálata a kezelések függvényében, 2012. ..... - 157 -

7. melléklet: Tőátmérő vizsgálata a kezelés függvényében, 2012. ..... - 158 -

8. melléklet: Karódugványok tőátmérője a kezelések függvényében, 2012. ..... - 158 -

9. melléklet: Karódugványok magassági növekedése a kezelés függvényében, 2012. ..... - 159 -

10. melléklet: Fatömeg eredmények a kezelések tekintetében, 2012. ..... - 159 -

11. melléklet: Száraz tömeg eredmények a kezelések tekintetében, 2012. ..... - 160 -

12. melléklet: Karódugványok 2 vegetációs időszak alatt elért hozama, 2011-2012. ..... - 160 -

13. melléklet: Karódugványok száraz tömege, 2012. ..... - 161 -

14. melléklet: Karódugványok tőátmérő vizsgálata a kezelések függvényében, 2013. ..... - 161 -

15. melléklet: Karódugványok magassági növekedése a kezelések függvényében, 2013. ..... - 162 -

16. melléklet: Karódugványok 3 vegetációs időszak alatti hozama, 2011-2013. ..... - 162 -

17. melléklet: Karódugványok száraz tömege 3 tenyészidőszak alatt, 2011-2013. ..... - 163 -

18. melléklet: Parcellánkénti nedves tömegadatok 2012-ben és 2013-ban ..... - 164 -

19. melléklet: Karódugványok hozam adatainak statisztikai összegzése ..... - 165 -

20. melléklet: Karódugványok mellmagassági – és tőkerület adatai a 2. és 3. tenyészidőszakban kezelésenként ..... - 166 -

21. melléklet: Karódugványok mellmagassági – és tőkerület adatai kezelésenként, eltérő növőtér esetén ..... - 166 -

22. melléklet: Szárazanyag-tartalom mérés adatai ..... - 167 -

23. melléklet: Szárazanyag-tartalommal számított tömeg értékek ..... - 168 -

24. melléklet: Tápanyag-utánpótlás gazdasági megtérülésének számítása a dejtári kísérleti ültetvényben ..... - 169 -

1. melléklet: Megeredés statisztikai kiértékelése fajtánként

Megmaradás (%) 2011						
	Fajta	**Átlag**	**Std. Hiba**	**-95,00%**	**95,00%**	**Elemszám**
1	‘AF2’	**77,65152**	2,653143	72,33450	82,9685	12
2	MON	**92,03156**	2,653143	86,71455	97,3486	12
3	‘AF2’/KD	**96,82160**	2,653143	91,50458	102,1386	12
4	PAN	**80,30415**	2,653143	74,98713	85,6212	12
5	Fűz	**61,76254**	2,653143	56,44552	67,0796	12

Cella szám	Hiba: MS=84.470, df=55.000					
	Fajta 2011.	{1} 77.652	{2} 92.032	{3} 96.822	{4} 80.304	{5} 61.763
1	AF2		0.00052	0.00006	0.48269	0.00019
2	MON	0.00052		0.20719	0.00297	0.00005
3	AF2/KD	0.00006	0.20719		0.00012	0.00003
4	PAN	0.48269	0.00297	0.00012		0.00006
5	Fűz	0.00019	0.00005	0.00003	0.00006	

2. melléklet: Magassági növekedés vizsgálata a kezelések függvényében, 2011.

Magasság (H) 2011						
	Kezelés	**Átlag**	**Std. Hiba**	**-95,00%**	**95,00%**	**Elemszám**
1	FH+SZT	**228,9250**	5,109915	223,8151	234,0349	360
2	SZT	**229,5333**	5,109915	224,4234	234,6432	360
3	K	**270,1875**	6,258342	263,9292	276,4458	240
4	FH	**231,5805**	5,345237	226,2353	236,9258	329

Cella szám	Hiba: MS=9400.0, df=1285.0 H 2011 (cm)>=0				
	Kezelés	{1} 228.93	{2} 229.53	{3} 270.19	{4} 231.58
1	FH+SZT		0.93739	0.00000	0.74950
2	SZT	0.93739		0.00001	0.79154
3	K	0.00000	0.00001		0.00000
4	FH	0.74950	0.79154	0.00000	

3. melléklet: Magassági növekedés vizsgálata a fajták függvényében, 2011.

Magasság (H) 2011							
	Fajta	**Elemszám**	**Átlag**	**Szórás**	**Std. Hiba**	**-95,00%**	**95,00%**
1	‘AF2’	329	**186,8845**	43,26991	2,385548	182,1916	191,5774
2	MON	300	**190,8000**	41,55860	2,399387	186,0782	195,5218
3	‘AF2’/KD	360	**379,3194**	41,15695	2,169162	375,0536	383,5853
4	PAN	300	**169,3333**	41,94146	2,421491	164,5680	174,0987

Cella szám	Hiba: MS=1762.3, df=1285.0 H 2011 (cm)>=0				
	Fajta	{1} 186.88	{2} 190.80	{3} 379.32	{4} 169.33
1	AF2		0.23778	0.00001	0.00000
2	MON	0.23778		0.00000	0.00001
3	AF2/KD	0.00001	0.00000		0.00000
4	PAN	0.00000	0.00001	0.00000	

4. melléklet: Tőátmérő vizsgálata a kezelés függvényében, 2011.

Tőátmérő (d) 2011						
	Kezelés	**Átlag**	**Std. Hiba**	**-95,00%**	**95,00%**	**Elemszám**
1	FH+SZT	**2,596603**	0,068732	2,461764	2,731442	360
2	SZT	**2,703556**	0,068732	2,568717	2,838395	360
3	K	**3,281316**	0,084179	3,116173	3,446460	240
4	FH	**2,754632**	0,071897	2,613583	2,895681	329

Cella szám	Hiba: MS=1.7007, df=1285.0 d 2011 (cm)>=0				
	Kezelés	{1} 2.5966	{2} 2.7036	{3} 3.2813	{4} 2.7546
1	FH+SZT		0.30456	0.00000	0.15316
2	SZT	0.30456		0.00001	0.62392
3	K	0.00000	0.00001		0.00000
4	FH	0.15316	0.62392	0.00000	

5. melléklet: Tőátmérő vizsgálata a fajták függvényében, 2011.

Tőátmérő (d) 2011						
	Fajta	**Átlag**	**Std. Hiba**	**-95,00%**	**95,00%**	**Elemszám**
1	‘AF2’	**2,251757**	0,036732	2,179696	2,323817	329
2	MON	**2,108705**	0,038466	2,033242	2,184168	300
3	‘AF2’/KD	**4,621550**	0,035115	4,552662	4,690438	360
4	PAN	**1,882166**	0,038466	1,806702	1,957629	300

Cella szám	Hiba: MS=0.44389, df=1285.0 d 2011 (cm)>=0				
	Fajta	{1} 2.2518	{2} 2.1087	{3} 4.6215	{4} 1.8822
1	AF2		0.00658	0.00000	0.00001
2	MON	0.00658		0.00001	0.00002
3	AF2/KD	0.00000	0.00001		0.00000
4	PAN	0.00001	0.00002	0.00000	

6. melléklet: Magassági növekedés vizsgálata a kezelések függvényében, 2012.

Magasság (H) [cm] 2012							
	Kezelés	**Elemszám**	**Átlag**	**Szórás**	**Std. Hiba**	**-95,00%**	**95,00%**
1	FH+SZT	1081	**266,4815**	133,0060	4,04537	258,5438	274,4192
2	SZT	1036	**266,0469**	134,2728	4,17165	257,8610	274,2328
3	K	953	**246,2433**	125,7830	4,07451	238,2472	254,2393
4	FH	991	**247,5921**	117,1624	3,72179	240,2886	254,8956

Cella szám	Hiba: MS=16371, df=4057.0 H 2012 (cm)>=0				
	Kezelés	{1} 266.48	{2} 266.05	{3} 246.24	{4} 247.59
1	FH+SZT		0.93907	0.00071	0.00129
2	SZT	0.93907		0.00072	0.00118
3	K	0.00071	0.00072		0.81248
4	FH	0.00129	0.00118	0.81248	

7. melléklet: Tőátmérő vizsgálata a kezelés függvényében, 2012.

Tőátmérő (d) [cm] 2012							
	Kezelés	Elemszám	Átlag	Szórás	Std. Hiba	-95,00%	95,00%
1	FH+SZT	1071	**3,150865**	1,923940	0,058789	3,035510	3,266220
2	SZT	1036	**3,373337**	2,111201	0,065592	3,244629	3,502045
3	K	953	**3,141448**	2,099956	0,068024	3,007953	3,274942
4	FH	991	**3,060243**	1,862920	0,059178	2,944115	3,176371

Cella szám	Hiba: MS=4.0049, df=4047.0 d 2012 (cm)>=0				
	Kezelés	{1} 3.1509	{2} 3.3733	{3} 3.1414	{4} 3.0602
1	FH+SZT		0.01246	0.91576	0.34080
2	SZT	0.01246		0.01254	0.00083
3	K	0.91576	0.01254		0.36166
4	FH	0.34080	0.00083	0.36167	

8. melléklet: Karódugványok tőátmérője a kezelések függvényében, 2012.

Karódugvány tőátmérő (d) [cm] 2012						
	Kezelés	Átlag	Std. Hiba	-95,00%	95,00%	Elemszám
1	FH+SZ	7,262088	0,097159	7,071511	7,452666	241
2	SZ	7,290549	0,086366	7,121142	7,459955	305
3	K	6,910526	0,066336	6,780409	7,040643	517
4	FH	7,236115	0,068000	7,102733	7,369497	492

Cella szám	Hiba: MS=2.2750, df=1551.0 d 2012 (cm)>=0				
	Kezelés	{1} 7.2621	{2} 7.2905	{3} 6.9105	{4} 7.2361
1	FH+SZT		0.80261	0.00286	0.81956
2	SZT	0.80261		0.00156	0.65596
3	K	0.00286	0.00156		0.00425
4	FH	0.81956	0.65596	0.00425	

9. melléklet: Karódugványok magassági növekedése a kezelés függvényében, 2012.

Karódugvány magasság (H) [cm] 2012						
	Kezelés	**Átlag**	**Std. Hiba**	**-95,00%**	**95,00%**	**Elemszám**
1	FH+SZ	**519,3158**	12,16378	495,3286	543,3030	38
2	SZ	**470,1875**	13,25518	444,0481	496,3269	32
3	K	**465,6129**	13,46727	439,0552	492,1706	31
4	FH	**475,0099**	7,46105	460,2966	489,7232	101

Cella szám	Hiba: MS=5622.4, df=198.00 H 2012 (cm)>=0				
	Kezelés	{1} 519.32	{2} 470.19	{3} 465.61	{4} 475.01
1	FH+SZT		0.00470	0.00245	0.00815
2	SZT	0.00470		0.78470	0.77334
3	K	0.00245	0.78470		0.60085
4	FH	0.00815	0.77334	0.60085	

10. melléklet: Fatömeg eredmények a kezelések tekintetében, 2012.

Fatömeg (kg/tő) 2012						
	Kezelés	**Átlag**	**Std. Hiba**	**-95,00%**	**95,00%**	**Elemszám**
1	FH+SZT	**2,737562**	0,144739	2,453793	3,021331	1071
2	SZT	**3,244603**	0,147164	2,956080	3,533125	1036
3	K	**2,892463**	0,153439	2,591639	3,193288	953
4	FH	**2,647596**	0,150468	2,352596	2,942597	991

Cella szám	Hiba: MS=22.437, df=4047.0				
	Kezelés	{1} 2.7376	{2} 3.2446	{3} 2.8925	{4} 2.6476
1	FH+SZT		0.02152	0.46224	0.66940
2	SZT	0.02152		0.09468	0.00801
3	K	0.46224	0.09468		0.27606
4	FH	0.66940	0.00801	0.27606	

11. melléklet: Száraz tömeg eredmények a kezelések tekintetében, 2012.

Fatömeg (at/ha) 2012						
	Kezelés	**Átlag**	**Std. Hiba**	**-95,00%**	**95,00%**	**Elemszám**
1	FH+SZT	**4,421724**	0,191038	4,047184	4,796263	1071
2	SZT	**5,111474**	0,194238	4,730661	5,492288	1036
3	K	**4,506184**	0,202520	4,109133	4,903235	953
4	FH	**4,176761**	0,198599	3,787398	4,566125	991

Cella szám	Hiba: MS=39.087, df=4047.0				
	Kezelés	{1} 4.4217	{2} 5.1115	{3} 4.5062	{4} 4.1767
1	FH+SZT		0.01769	0.76136	0.37800
2	SZT	0.01769		0.02952	0.001
3	K	0.76136	0.02952		0.26600
4	FH	0.37842	0.00145	0.26679	

12. melléklet: Karódugványok 2 vegetációs időszak alatt elért hozama, 2011-2012.

Karódugvány fatömeg (kg/tő) 2012						
	Kezelés	**Átlag**	**Std. Hiba**	**-95,00%**	**95,00%**	**Elemszám**
1	FH+SZ	**7,395806**	0,181570	7,039689	7,751923	259
2	SZ	**5,664559**	0,157549	5,355555	5,973562	344
3	K	**4,423273**	0,118800	4,190269	4,656278	605
4	FH	**5,808721**	0,125284	5,562999	6,054442	544

Cella szám	Hiba: MS=8.5386, df=1748.0				
	Kezelés	{1} 7.3958	{2} 5.6646	{3} 4.4233	{4} 5.8087
1	FH+SZT		0.00001	0.00000	0.00000
2	SZT	0.00001		0.00000	0.49093
3	K	0.00000	0.00000		0.00001
4	FH	0.00000	0.49093	0.00001	

13. melléklet: Karódugványok száraz tömege, 2012.

Karódugvány fatömeg (at/ha) 2012						
	Kezelés	**Átlag**	**Std. Hiba**	**-95,00%**	**95,00%**	**Elemszám**
1	FH+SZ	**9,983340**	0,245095	9,502630	10,46405	259
2	SZ	**7,646390**	0,212669	7,229277	8,06350	344
3	K	**5,970822**	0,160364	5,656297	6,28535	605
4	FH	**7,840989**	0,169116	7,509298	8,17268	544

Cella szám	Hiba: MS=15.559, df=1748.0				
	Kezelés	{1} 9.9833	{2} 7.6464	{3} 5.9708	{4} 7.8410
1	FH+SZT		0.00001	0.00000	0.00000
2	SZT	0.00001		0.00000	0.49093
3	K	0.00000	0.00000		0.00001
4	FH	0.00000	0.49093	0.00001	

14. melléklet: Karódugványok tőátmérő vizsgálata a kezelések függvényében, 2013.

Karódugvány tőátmérő (d) [cm] 2013						
	Kezelés	**Átlag**	**Std. Hiba**	**-95,00%**	**95,00%**	**Elemszám**
1	FH+SZ	10,33684	0,138792	10,06456	10,60911	201
2	SZ	9,60721	0,120649	9,37053	9,84390	266
3	K	9,72981	0,090096	9,55307	9,90656	477
4	FH	9,81381	0,100154	9,61734	10,01029	386

Cella szám	Hiba: MS=3.8719, df=1326.0				
	Kezelés	{1} 10.337	{2} 9.6072	{3} 9.7298	{4} 9.8138
1	FH+SZT		0.00001	0.00025	0.00118
2	SZT	0.00001		0.44693	0.22897
3	K	0.00025	0.44693		0.60228
4	FH	0.00118	0.22897	0.60228	

15. melléklet: Karódugványok magassági növekedése a kezelések függvényében, 2013.

Karódugvány magasság (H) [cm] 2013						
	Kezelés	**Átlag**	**Std. Hiba**	**-95,00%**	**95,00%**	**Elemszám**
1	FH+SZ	**759,1500**	12,71924	733,8848	784,4152	20
2	SZ	**696,0741**	10,94698	674,3292	717,8189	27
3	K	**689,8667**	10,38522	669,2377	710,4956	30
4	FH	**685,6667**	13,40726	659,0348	712,2985	18

Cella szám	Hiba: MS=3235.6, df=91.000				
	Kezelés	{1} 759.15	{2} 696.07	{3} 689.87	{4} 685.67
1	FH+SZT		0.00043	0.00018	0.00011
2	SZT	0.00043		0.71390	0.56565
3	K	0.00018	0.71390		0.80406
4	FH	0.00011	0.56565	0.80406	

16. melléklet: Karódugványok 3 vegetációs időszak alatti hozama, 2011-2013.

Karódugvány 3 év alatti hozam (kg/tő) 2013						
	Kezelés	**Átlag**	**Std. Hiba**	**-95,00%**	**95,00%**	**Elemszám**
1	FH+SZ	**12,07250**	0,439187	11,21111	12,93389	259
2	SZ	**10,64469**	0,381083	9,89726	11,39211	344
3	K	**10,18242**	0,287357	9,61883	10,74602	605
4	FH	**9,72985**	0,303040	9,13549	10,32421	544

Cella szám	Hiba: MS=49.957, df=1748.0				
	Kezelés	{1} 12.072	{2} 10.645	{3} 10.182	{4} 9.7298
1	FH+SZT		0.00481	0.00028	0.00001
2	SZT	0.00481		0.36116	0.08741
3	K	0.00028	0.36116		0.37131
4	FH	0.00001	0.08741	0.37131	

17. melléklet: Karódugványok száraz tömege 3 tenyészidőszak alatt, 2011-2013.

Karódugvány 3 év alatti hozam (at/ha) 2013						
	Kezelés	**Átlag**	**Std. Hiba**	**-95,00%**	**95,00%**	**Elemszám**
1	FH+SZ	**16,29624**	0,592843	15,13349	17,45900	259
2	SZ	**14,36889**	0,514411	13,35997	15,37782	344
3	K	**13,74490**	0,387893	12,98412	14,50568	605
4	FH	**13,13398**	0,409063	12,33168	13,93629	544

Cella szám	Hiba: MS=91.029, df=1748.0				
	Kezelés	{1} 16.296	{2} 14.369	{3} 13.745	{4} 13.134
1	FH+SZT		0.00481	0.00028	0.00001
2	SZT	0.00481		0.36116	0.08741
3	K	0.00028	0.36116		0.37131
4	FH	0.00001	0.08741	0.37131	

18. melléklet: Parcellánkénti nedves tömegadatok 2012-ben és 2013-ban

Kezelés	Parcella	Tömeg (kg)		Tömeg (t/ha)	
		2012	**2013**	**2012**	**2013**
Fahamu és szerves trágya	3	1835,30	3011,86	22,73	37,30
	20	1738,40	2418,29	21,53	29,95
	24	1215,40	2138,60	15,05	26,48
Összesen:		4789,10	7568,75	59,31	93,73
Átlag:		1596,37	2522,92	**19,77**	**31,24**
Szerves trágya	8	1259,07	2217,22	15,59	27,46
	15	1431,02	2365,94	17,72	29,30
	29	1338,20	2405,20	16,57	29,79
Összesen:		4028,29	6988,36	49,89	86,54
Átlag:		1342,76	2329,45	**16,63**	**28,85**
Kontroll	33	1508,37	2837,62	18,68	35,14
	46	1048,96	1984,19	12,99	24,57
	52	1128,69	2444,17	13,98	30,27
Összesen:		3686,02	7265,98	45,65	89,98
Átlag:		1228,67	2421,99	**15,22**	**29,99**
Fahamu	38	1249,85	2128,13	15,35	26,35
	41	1491,45	2640,10	18,47	32,69
	57	1212,29	1561,48	15,01	19,34
Összesen:		3943,59	6329,70	48,84	78,39
Átlag:		1314,53	2109,90	**16,28**	**26,13**
Mindösszesen:		16 446,99	28 152,78	203,68	348,64
Átlag:		4111,75	7038,20	**16,97**	**29,05**

19. melléklet: Karódugványok hozam adatainak statisztikai összegzése

Kezelés		2 éves hozam (kg/tő)	3 éves hozam (kg/tő)
Kontroll	Átlag	4,7196	9,3034
	Range	17,25	26,13
	Szórás	2,98933	7,04989
	Maximum	17,25	26,13
Fahamu	Átlag	5,6723	9,5111
	Range	17,36	38,56
	Szórás	2,88323	7,37883
	Maximum	17,36	38,56
Szerves trágya	Átlag	5,2726	9,1232
	Range	12,90	30,93
	Szórás	2,72265	6,77625
	Maximum	12,90	30,93
Fahamu+szerves trágya	Átlag	6,3014	10,0917
	Range	14,60	27,86
	Szórás	2,90343	7,18457
	Maximum	14,60	27,86
Total	Átlag	5,4734	9,5028
	Range	17,36	38,56
	Szórás	2,93596	7,08647
	Maximum	17,36	38,56

20. melléklet: Karódugványok mellmagassági – és tőkerület adatai a 2. és 3. tenyészidőszakban kezelésenként

Kezelés	2. tenyészidőszakban mért adatok (3 m²)		3. tenyészidőszakban mért adatok (3 m²)	
	Mellmagassági kerület (cm)	Tőkerület (cm)	Mellmagassági kerület (cm)	Tőkerület (cm)
Fahamu és szerves trágya	14,3	20,5	22,7	29,7
Szerves trágya	13,0	21,2	21,0	28,0
Kontroll	12,4	21,7	21,8	30,6
Fahamu	13,8	22,5	21,6	29,6
Kezelések átlaga	13,3	21,4	21,8	29,4

21. melléklet: Karódugványok mellmagassági – és tőkerület adatai kezelésenként, eltérő növőtér esetén

Kezelés	2. tenyészidőszakban mért adatok (3 m²)		2. tenyészidőszakban mért adatok (6 m²)	
	Mellmagassági kerület (cm)	Tőkerület (cm)	Mellmagassági kerület (cm)	Tőkerület (cm)
Fahamu és szerves trágya	22,7	29,7	23,2	31,0
Szerves trágya	21,0	28,0	21,6	29,6
Kontroll	21,8	30,6	22,2	31,5
Fahamu	21,6	29,6	24,0	33,4
Kezelések átlaga	21,8	29,4	22,8	31,3

22. melléklet: Szárazanyag-tartalom mérés adatai

	Nedves tömeg (kg)	Száraz tömeg (kg)	Szárazanyag tartalom (%)
2013. március 30.			
1.	0,705	0,285	40,43
2.	0,690	0,260	37,68
3.	0,605	0,215	35,54
4.	1,095	0,425	38,81
5.	1,020	0,380	37,25
6.	0,690	0,270	39,13
7.	0,870	0,325	37,36
Átlag:			**38,02**
2013. december 17.			
1.	1,752	0,840	47,95
2.	1,374	0,560	40,76
3.	1,479	0,750	50,71
4.	1,232	0,495	40,18
5.	1,987	1,108	55,75
6.	1,878	0,880	46,86
7.	1,530	0,550	35,94
Átlag:			**45,45**

23. melléklet: Szárazanyag-tartalommal számított tömeg értékek

Kezelés	Parcella	Élőnedves tömeg (t/ha)		Atrotonna (t/ha)	
		2012	**2013**	**2012**	**2013**
Fahamu és szerves trágya	3	22,73	37,30	8,64	16,95
	20	21,53	29,95	8,19	13,61
	24	15,05	26,48	5,72	12,04
Összesen:		59,31	93,73	22,55	42,60
Átlag:		**19,77**	**31,24**	**7,52**	**14,20**
Szerves trágya	8	15,59	27,46	5,93	12,48
	15	17,72	29,30	6,74	13,32
	29	16,57	29,79	6,30	13,54
Összesen:		49,89	86,54	18,97	39,33
Átlag:		**16,63**	**28,85**	**6,32**	**13,11**
Kontroll	33	18,68	35,14	7,10	15,97
	46	12,99	24,57	4,94	11,17
	52	13,98	30,27	5,32	13,76
Összesen:		45,65	89,98	17,36	40,90
Átlag:		**15,22**	**29,99**	**5,79**	**13,63**
Fahamu	38	15,35	26,35	5,84	11,98
	41	18,47	32,69	7,02	14,86
	57	15,01	19,34	5,71	8,79
Összesen:		48,84	78,39	18,57	35,63
Átlag:		**16,28**	**26,13**	**6,19**	**11,88**
Mindösszesen:		203,68	348,64	77,44	158,46
Átlag:		**16,97**	**29,05**	**6,45**	**13,20**

24. melléklet: Tápanyag-utánpótlás gazdasági megtérülésének számítása a dejtári kísérleti ültetvényben

Fahamuval kezelt területek bekerülési, megtérülési eredményeinek összefoglaló táblázata

	1. aratási ciklus			2. aratási ciklus		3. aratási ciklus		4. aratási ciklus		5. aratási ciklus		6. aratási ciklus		7. aratási ciklus		összesen
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
Ft/ha	1. év	2. év	3. év	1. év	2. év	1. év	2. év	1. év	2. év	1. év	2. év	1. év	2. év	1. év	2. év	
terület előkészítés/rekultiváció	0															0
szántás	22 000															22 000
talajelőkészítés /tárcsázás/	16 000	8 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	176 000
tápanyag: fahamu	50 000									50 000						100 000
szaporító anyag	200 000															200 000
dugványozás	250 000															250 000
ápolás /vegyszer kiszórás/	25 000	25 000														50 000
vegyszer költség	11 000	11 000														22 000
öntözés																
növényvédelem aratás évében			25 000				25 000				25 000					75 000
betakarítás			104 000		120 000		120 000		136 000		136 000		120 000		104 000	840 000
beszállítás			39 000		45 000		45 000		51 000		51 000		45 000		39 000	315 000
felszámolás															350 000	350 000
kiadás összesen	574 000	44 000	176 000	16 000	173 000	16 000	198 000	16 000	195 000	66 000	220 000	16 000	173 000	16 000	501 000	2 400 000
faapríték (atro t/rotáció)			13		15		15		17		17		15		13	105
faapríték ár (Ft/atrotonna)			22 000		23 000		24 000		25 000		26 000		27 000		28 000	175 000
faapríték bevétel			286 000		345 000		360 000		425 000		442 000		405 000		364 000	2 627 000
bevétel összes	0	0	286 000	0	345 000	0	360 000	0	425 000	0	442 000	0	405 000	0	364 000	2 802 105
egyenleg	-574 000	-44 000	110 000	-16 000	172 000	-16 000	162 000	-16 000	230 000	-66 000	222 000	-16 000	232 000	-16 000	-137 000	402 105
kummulált összeg ha-ként	**-574 000**	**-618 000**	**-508 000**	**-524 000**	**-352 000**	**-368 000**	**-206 000**	**-222 000**	**8 000**	**-58 000**	**164 000**	**148 000**	**380 000**	**364 000**	**227 000**	
kummulált összeg teljes területre	-2 870 000	-3 090 000	-2 540 000	-2 620 000	-1 760 000	-1 840 000	-1 030 000	-1 110 000	40 000	-290 000	820 000	740 000	1 900 000	1 820 000	1 135 000	

Fahamuval és szerves trágyával kombináltan kezelt területek bekerülési, megtérülési eredményeinek összefoglaló táblázata

	1. aratási ciklus			2. aratási ciklus		3. aratási ciklus		4. aratási ciklus		5. aratási ciklus		6. aratási ciklus		7. aratási ciklus		összesen
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
Ft/ha	1. év	2. év	3. év	1. év	2. év	1. év	2. év	1. év	2. év	1. év	2. év	1. év	2. év	1. év	2. év	
terület előkészítés/rekultiváció	0															0
szántás	22 000															22 000
talajelőkészítés /tárcsázás/	16 000	8 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	176 000
tápanyag: fahamu+szerves trágya	225 600									225 600						451 200
szaporító anyag	200 000															200 000
dugványozás	250 000															250 000
ápolás /vegyszer kiszórás/	25 000	25 000														50 000
vegyszer költség	11 000	11 000														22 000
öntözés																
növényvédelem aratás évében			25 000				25 000				25 000					75 000
betakarítás			104 000		120 000		120 000		136 000		136 000		120 000		104 000	840 000
beszállítás			39 000		45 000		45 000		51 000		51 000		45 000		39 000	315 000
felszámolás															350 000	350 000
kiadás összesen	749 600	44 000	176 000	16 000	173 000	16 000	198 000	16 000	195 000	241 600	220 000	16 000	173 000	16 000	501 000	2 751 200
faapríték atro t/rotáció)			13		15		15		17		17		15		13	105
faapríték ár (Ft/atrotonna)			22 000		23 000		24 000		25 000		26 000		27 000		28 000	175 000
faapríték bevétel			286 000		345 000		360 000		425 000		442 000		405 000		364 000	2 627 000
bevétel összes	0	0	286 000	0	345 000	0	360 000	0	425 000	0	442 000	0	405 000	0	364 000	2 802 105
egyenleg	-749 600	-44 000	110 000	-16 000	172 000	-16 000	162 000	-16 000	230 000	-241 600	222 000	-16 000	232 000	-16 000	-137 000	50 905
kummulált összeg ha-ként	**-749 600**	**-793 600**	**-683 600**	**-699 600**	**-527 600**	**-543 600**	**-381 600**	**-397 600**	**-167 600**	**-409 200**	**-187 200**	**-203 200**	**28 800**	**12 800**	**-124 200**	
kummulált összeg teljes területre	-3 748 000	-3 968 000	-3 418 000	-3 498 000	-2 638 000	-2 718 000	-1 908 000	-1 988 000	-838 000	-2 046 000	-936 000	-1 016 000	144 000	64 000	-621 000	

Tápanyag-utánpótló anyaggal nem kezelt területek bekerülési, megtérülési eredményeinek összefoglaló táblázata

	1. aratási ciklus			2. aratási ciklus		3. aratási ciklus		4. aratási ciklus		5. aratási ciklus		6. aratási ciklus		7. aratási ciklus		összesen
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
Ft/ha	1. év	2. év	3. év	1. év	2. év	1. év	2. év	1. év	2. év	1. év	2. év	1. év	2. év	1. év	2. év	
terület előkészítés/rekultiváció	0															0
szántás	22 000															22 000
talajelőkészítés /tárcsázás/	16 000	8 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	176 000
tápanyag																0
szaporító anyag	200 000															200 000
dugványozás	250 000															250 000
ápolás /vegyszer kiszórás/	25 000	25 000														50 000
vegyszer költség	11 000	11 000														22 000
öntözés																
növényvédelem aratás évében			25 000				25 000				25 000					75 000
betakarítás			104 000		120 000		120 000		136 000		136 000		120 000		104 000	840 000
beszállítás			39 000		45 000		45 000		51 000		51 000		45 000		39 000	315 000
felszámolás															350 000	350 000
kiadás összesen	524 000	44 000	176 000	16 000	173 000	16 000	198 000	16 000	195 000	16 000	220 000	16 000	173 000	16 000	501 000	2 300 000
faapríték (atro t/rotáció)			13		15		15		17		17		15		13	105
faapríték ár (Ft/atrotonna)			22 000		23 000		24 000		25 000		26 000		27 000		28 000	175 000
faapríték bevétel			286 000		345 000		360 000		425 000		442 000		405 000		364 000	2 627 000
bevétel összes	0	0	286 000	0	345 000	0	360 000	0	425 000	0	442 000	0	405 000	0	364 000	2 802 105
egyenleg	-524 000	-44 000	110 000	-16 000	172 000	-16 000	162 000	-16 000	230 000	-16 000	222 000	-16 000	232 000	-16 000	-137 000	502 105
kummulált összeg ha-ként	**-524 000**	**-568 000**	**-458 000**	**-474 000**	**-302 000**	**-318 000**	**-156 000**	**-172 000**	**58 000**	**42 000**	**264 000**	**248 000**	**480 000**	**464 000**	**327 000**	
kummulált összeg teljes területre	-2 620 000	-2 840 000	-2 290 000	-2 370 000	-1 510 000	-1 590 000	-780 000	-860 000	290 000	210 000	1 320 000	1 240 000	2 400 000	2 320 000	1 635 000	

Szerves trágyával kezelt területek bekerülési, megtérülési eredményeinek összefoglaló táblázata

	1. aratási ciklus			2. aratási ciklus		3. aratási ciklus		4. aratási ciklus		5. aratási ciklus		6. aratási ciklus		7. aratási ciklus		összesen
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
Ft/ha	1. év	2. év	3. év	1. év	2. év	1. év	2. év	1. év	2. év	1. év	2. év	1. év	2. év	1. év	2. év	
terület előkészítés/rekultiváció	0															0
szántás	22 000															22 000
talajelőkészítés /tárcsázás/	16 000	8 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	16 000	8 000	176 000
tápanyag: szerves trágya	175 600									175 600						351 200
szaporító anyag	200 000															200 000
dugványozás	250 000															250 000
ápolás /vegyszer kiszórás/	25 000	25 000														50 000
vegyszer költség	11 000	11 000														22 000
öntözés																
növényvédelem aratás évében			25 000				25 000				25 000					75 000
betakarítás			112 000		128 000		128 000		144 000		144 000		128 000		112 000	896 000
beszállítás			42 000		48 000		48 000		54 000		54 000		48 000		42 000	336 000
felszámolás															350 000	350 000
kiadás összesen	699 600	44 000	187 000	16 000	184 000	16 000	209 000	16 000	206 000	191 600	231 000	16 000	184 000	16 000	512 000	2 728 200
faapríték (atro t/rotáció)			14		16		16		18		18		16		14	112
faapríték ár (Ft/atrotonna)			22 000		23 000		24 000		25 000		26 000		27 000		28 000	175 000
faapríték bevétel			308 000		368 000		384 000		450 000		468 000		432 000		392 000	2 802 000
bevétel összes	0	0	308 000	0	368 000	0	384 000	0	450 000	0	468 000	0	432 000	0	392 000	2 977 112
egyenleg	**-699 600**	**-44 000**	**121 000**	**-16 000**	**184 000**	**-16 000**	**175 000**	**-16 000**	**244 000**	**-191 600**	**237 000**	**-16 000**	**248 000**	**-16 000**	**-120 000**	**248 912**
kummulált összeg ha-ként	**-699 600**	**-743 600**	**-622 600**	**-638 600**	**-454 600**	**-470 600**	**-295 600**	**-311 600**	**-67 600**	**-259 200**	**-22 200**	**-38 200**	**209 800**	**193 800**	**73 800**	
kummulált összeg teljes területre	-3 498 000	-3 718 000	-3 113 000	-3 193 000	-2 273 000	-2 353 000	-1 478 000	-1 558 000	-338 000	-1 296 000	-111 000	-191 000	1 049 000	969 000	369 000	