

SOPRONI EGYETEM
Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskola
Erdészeti műszaki ismeretek program
DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS

**ENERGETIKAI CÉLÚ DENDROMASSZA TERMESZTÉS ÉS
HASZNOSÍTÁS LEHETSÉGES SZEREPE A LIGNOCELLULÓZ
BIOHAJTÓANYAG ÜZEMEK ALAPANYAG ELLÁTÁSÁBAN**

Írta:

SZALAY DÓRA
okl. környezetmérnök, okl. energiagazdálkodási szakmérnök

Témavezetők:

Prof. Dr. -Ing. habil PALOCZ-ANDRESEN MICHAEL
ny. egyetemi tanár, egyetemi magántanár

Prof. Dr. Sc. habil MAROSVÖLGYI BÉLA
ny. egyetemi tanár, professor emeritus

SOPRON
2018

**ENERGETIKAI CÉLÚ DENDROMASSZA TERMESZTÉS ÉS HASZNOSÍTÁS
LEHETSÉGES SZEREPE A LIGNOCELLULÓZ BIOHAJTÓANYAG ÜZEMEK
ALAPANYAG ELLÁTÁSÁBAN**

Értekezés doktori (PhD) fokozat elnyerése érdekében
a Soproni Egyetem Roth Gyula Erdészeti és Vadgazdálkodási Tudományok Doktori Iskolája
Erdészeti műszaki ismeretek programja keretében.

Írta:
SZALAY DÓRA

Témavezető: Prof. Dr. –Ing. habil PALOCZ-ANDRESEN MICHAEL

Elfogadásra javaslom (igen / nem)
(aláírás)

Témavezető: Prof. Dr. Sc. habil MAROSVÖLGYI BÉLA

Elfogadásra javaslom (igen / nem)
(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton % -ot ért el,

Sopron,
a Szigorlati Bizottság elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen /nem)

Első bíráló (Dr.) 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 EDHT elnöke

Tartalom

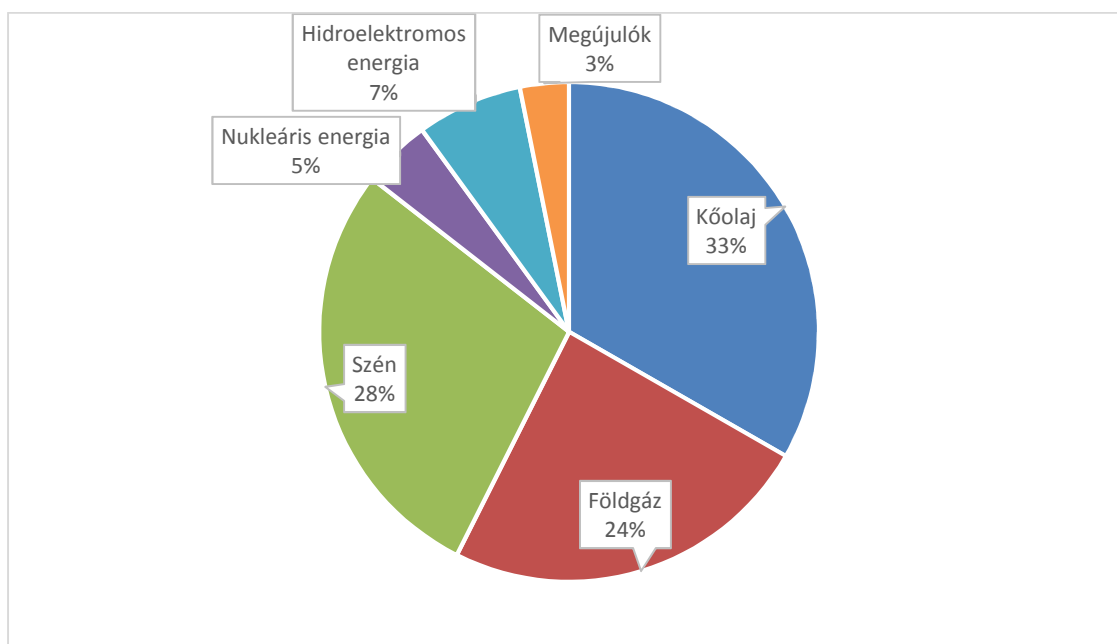
1. Bevezetés.....	7
2. Szakirodalmi áttekintés	9
2.1 Biomassza, mint megújuló biohajtóanyag alapanyag	9
2.2 A biohajtóanyag előállítás jogszabályi háttere	10
2.3 Lignocellulóz biohajtóanyag előállítási technológiák az alapanyag függvényében.....	14
2.3.1 Biohajtóanyag előállítás biokémiai módszerekkel	16
2.3.2 Biohajtóanyag előállítás termokémiai módszerekkel	17
2.3.3 A lignocellulóz biohajtóanyagok összehasonlítása, alkalmazásuk előnyei, hátrányai	20
2.4 A lignocellulóz biohajtóanyag gyártás fejlődését gátló tényezők	22
2.4.1 Magyarországi helyzet.....	22
2.4.2 Nemzetközi helyzet	24
2.4.2.1 Működő technológia, gazdaságtalan üzemelés.....	25
2.4.2.2 Technológiai problémák következtében bezárt üzemek.....	27
2.4.3 A lignocellulóz biohajtóanyag projektekből levonható következtetések, a célkitűzések függvényében	27
2.5 A lignocellulóz biohajtóanyag üzemek melléktermék alapú alapanyag potenciálja	29
2.5.1 Dendromassza alapú melléktermékek	30
2.5.1.1 Erdészeti melléktermékek	30
2.5.1.2 Szőlővenyige és gyümölcsfanyesedék	31
2.5.1.3 Faipari melléktermékek	32
2.5.2 Lágyszárú mezőgazdasági melléktermékek	32
2.6 Energetikai célú fás szárú ültetvények, mint biohajtóanyag alapanyagforrások.....	33
2.6.1 Fás szárú ültetvényekre vonatkozó hatályos jogszabályi háttér és támogatások.....	34
2.6.2 Ültetvények energetikai és ökológiai szerepe	36
3 Célkitűzések	41
4. Anyag és módszer	43
4.1 Szakirodalmi adatok és Statisztikai Hivatalok adatainak feldolgozása, kiértékelése.....	43
4.2 Alapanyagbázis felmérés Magyarországon.....	43
4.3 Alapanyag lábnyom vizsgálat	45
4.4 Földrajzi információs rendszer (GIS) alkalmazása	47
4.5 Terepi vizsgálatok	47
4.5.1 Vizsgálati helyszín és a mintanövények bemutatása.....	47
4.5.2 Meteorológiai adatok összesítése	48

4.5.3 Dendrometriai felvételezések és hozamvizsgálatok	49
4.5.4 Lombtömeggel kapcsolatos vizsgálatok	49
4.5.5 Alaki vizsgálat, sűrűség és a kéreghányad megállapítása	50
4.6 Laboratóriumi vizsgálatok	51
4.6.1 Nedvességtartalom vizsgálat	51
4.6.2 Fűtőérték vizsgálat	51
4.6.3 Hamutartalom vizsgálat	52
4.6.4 Elemtartalom meghatározás	53
4.6.5 Tüzelőanyag minőségi index	54
4.7 Statisztikai elemzések	54
4.7.1 Telítési-függvények alkalmazása	54
4.7.2 Karbonkörforgalom vizsgálat	55
5 Eredmények és értékelésük	57
5.1 A potenciál vizsgálatok eredményei és értékelésük	57
5.1.1 Vágástéri apadék	57
5.1.2 Szőlő-és gyümölcstermesztés melléktermékei	59
5.1.3 Dendromassza alapú melléktermékek potenciálja	61
5.1.4 Energetikai célú fás szárú ültetvények	63
5.1.5 Szántóföldi lágyszárú növénytermesztés melléktermékei	64
5.1.6 Faipari melléktermékek	68
5.1.7 Érzékenységvizsgálat a biohajtóanyagok alapanyagának potenciáljára	69
5.1.7.1 Éghajlatváltozás hatása a készlet alakulására	69
5.1.7.2 Konkurens felhasználók megjelenése	72
5.1.7.3 Új alapanyagok megjelenése	74
5.2 Biohajtóanyagok alapanyag lábnyom vizsgálata	75
5.3 Energetikai ültetvények biohajtóanyag célú termesztése	82
5.3.1 Kéreghányad és hamutartalom jelentősége az energetikai hasznosíthatóságra	82
5.3.2 Fűtőérték és sűrűség vizsgálata	87
5.3.3 FVI index meghatározása	89
5.4 Energetikai célú ültetvények ökológiai szerepe	90
5.4.1 Időjárási adatok összesítése	91
5.4.2 Hozammérés és a fenometriai paraméterek vizsgálata	91
5.4.3 Lombtömeg mérés és alaki vizsgálat	94
5.4.4 Biohajtóanyag célú fás energetikai ültetvények karbon mérlege	100

5.5 Alapanyagellátás tervezése.....	105
6. Összefoglalás, konklúzió.....	110
7 Javaslatok	112
8. Új kutatási eredmények	113
Köszönetnyilvánítás	115
Kivonat	116
Abstract	116
Ábrajegyzék	118
Irodalomjegyzék.....	121
MELLÉKLETEK	I

1. Bevezetés

A globális energiafelhasználás az elmúlt két évben bár stagnálást mutatott, a Párizsi világkonferencia célértékeinek elérése még messze áll. Napjainkban a legmeghatározóbb energiaforrás a kőolaj. Felhasználása a közlekedési szektorhoz kapcsolódóan folyamatosan növekszik, 2016-ban a globális energiafelhasználás 33,3%-át fedezte [BP, 2017], lásd 1. ábra.



1. ábra: A világ primerenergia felhasználásának alakulása 2016-ban [BP, 2017]

A fosszilis energiahordozók szerves anyagokból évmilliók alatt alakultak ki. Az utóbbi években történő nagymértékű felhasználásukkal a sok évvel ezelőtt lekötött szén felszabadult, ezzel a légkör szén-dioxid koncentrációja az iparosodás előtti 300 ppm-ről napjainkra tartósan 400 ppm fölé emelkedett. A szén-dioxid a vízgőz után a második legfontosabb üvegházhatású gáz, ezzel a globális felmelegedés egyik kiváltó tényezője.

Az éghajlatváltozás megfékezésében a biohajtóanyagoknak kiemelt jelentősége lesz a jövőben. Kutatások szerint a gabonaalapú vagy cukornád alapú etanolos motorbenzin használata kisebb üvegházhatású gáz (CO_2 , N_2O) kibocsátással jár, mint a tisztán kőolajalapú motorbenziné. Az elmúlt évtizedben az EU által a tagországok számára előírt biohajtóanyag részarányok célértékei is ezek alkalmazását ösztönözték. Ugyanakkor a döntéshozók felismerték, hogy a terményalapú biohajtóanyagok a közvetett földhasználat révén elvonja a termőföldet az élelmiszertermelés elől. Becslések szerint a biohajtóanyag alapanyagának termesztésére felhasznált földterület a teljes mezőgazdasági terület kb. 2,9%-át fedte le 2014-ben [WBA, 2017]. A gabona, a cukornád vagy a pálma termőterületét a szűz esőerdők és füves területek megművelésével bővítették, ezzel a nettó szén-dioxid elnyelő kapacitás csökkent, az emisszió nőtt. A légköri CO_2 emelkedés következtében fellépő éghajlatváltozás napjainkban is érzékelteti hatását az aszályok, erdőtüzek, biotikus károk kialakulásával. Ezzel további az erdők biomasszájában raktározott szén kerül az atmoszférába, amely pozitív visszacsatolásként erősítheti az éghajlatváltozást.

A konvencionális biohajtóanyagok alapanyagának esetenkénti hozamkiesése már napjainkban is problémát jelent. Ehhez társul, hogy a 21. században várhatóan a népességnövekedés és a fogyasztási szerkezet átalakulása révén az ételmezésre és az állatok etetésére fordított gabona-felhasználás duplájára emelkedik [Spiertz-Ewert, 2009]. A fokozódó igények kielégítésére, a hatalmas műtrágya-felhasználással és öntözéssel együttjáró gépi talajművelési technológia alkalmazása ad lehetőséget. A műtrágya előállítás azonban az egyik legnagyobb energiabefektetést igénylő iparág [Neményi, 2009].

A fenti okok miatt az Európai Unió a jövőben a mainál is fokozottabban korlátozni kívánja az élelmisznövények energetikai célú felhasználását. Alternatívát az ipari, erdészeti, mezőgazdasági melléktermékekre alapozott lignocellulóz biohajtóanyagok nagy mennyiségben történő előállítása jelenthet, fokozott alkalmazásuk már a közeljövőben indokolt. Jelenleg 67 üzem működik a világon, amelynek csupán egyharmada kereskedelmi méretű [Ngueyen et al., 2017]. Az üzemek típusa jelentősen eltér egymástól az egyes országokban, amely egyértelműen a helyben rendelkezésre álló biomassza típusától függ. A faalapú biomassza hasznosító üzemek főként Észak-Európában, míg a cukor/keményítő alapú biomassza hasznosítók főként Közép-Európában találhatók.

Azonban a körkörös gazdaság modellje szerint a legkisebb értéket akkor nyerjük ki a biomasszából, ha abból energiát termelünk és ezzel sem a szerkezetét, sem a vegyületeit nem hasznosítjuk. 2015 decemberében az Európai Bizottság elfogadta a Cirkuláris Gazdasági Csomagot, amelynek az egyik prioritási területe a biomassza és bio-alapú termékek előállításának fokozása. Segítségével a dendromasszában tárolt szén hosszú távon kötésben tartható. A hosszú szén ciklusú erdészeti ágazat a körkörös gazdaság egyik hajtómotorja, a fa minden részéből magas minőségű termék állítható elő. A termékek újrahasznosíthatók és legvégül bioenergiatermelésre is felhasználható. Ugyanakkor az „ultra” hosszú fosszilis energiahordozókon alapuló fokozódó energiaigény kielégítését is meg kell oldani, a lineáris gazdasági modelltől a biomassza-alapú gazdaság felé történő elmozdulás megvalósítása mellett. Ehhez a növénytermesztési rendszereink átgondoltabb kialakítására van szükség, amelybe jól illeszthető a rövid szén ciklusú dendromassza termesztés.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1 Biomassza, mint megújuló biohajtóanyag alapanyag

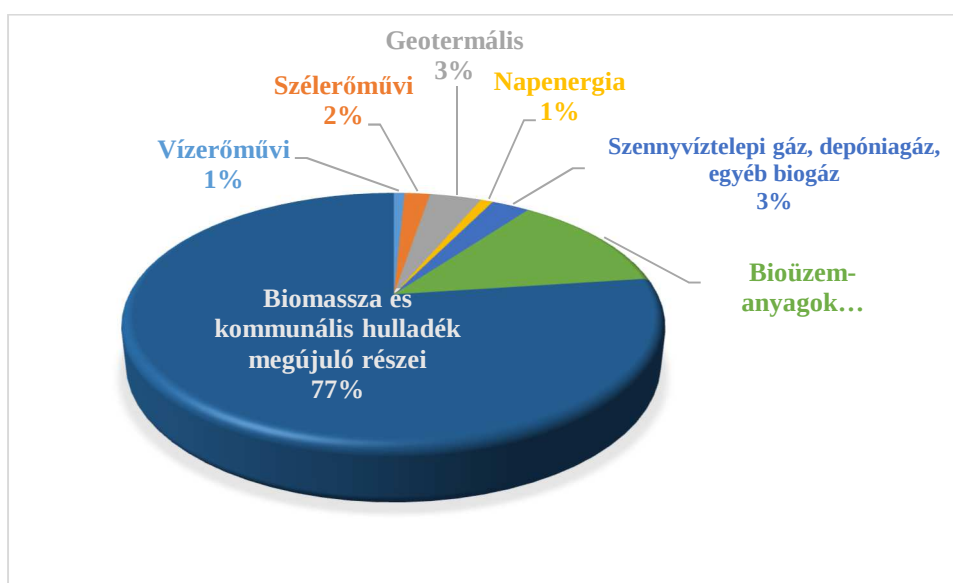
A megújuló energiaforrások fokozott hasznosítása egyre nagyobb hangsúlyt kap a világ, de különösen az EU országainak energiastratégiájában [Simon, 2010]. A megújuló energiaforrás olyan energiaforrások összefoglaló elnevezése, amelyek egy jellemző időciklus alatt újra termelődnek, illetve a kimerülés veszélye nélkül felhasználhatók [Ádám-Holló, 2001]. Ide soroljuk a közvetett napenergia hasznosítása során keletkező biomassza energiáját is [Lukács, 2010]. Azonban egyes irodalmak [Rátonyi, 2013; Haffner, 2017] inkább a megújítható energiaforrások közé sorolják, amelyek jellemzője, hogy csak gondos gazdálkodással tarthatók fenn hosszú ideig [Világlex]. Termesztésük történhet kifejezetten a szén tárolására, vagy energetikai célból a fosszilis energiahordozók közvetlen helyettesítőjeként. Az igény egyre fokozódik irántuk, hiszen a kőolajkészletek a jelenlegi kitermelési és felhasználási trendek szerint csupán 40–80 év hosszúra tartanak ki [BP, 2014; Wikipédia, 2014; Worldometers, 2015; CNBC, 2011]. Azonban az sem elhanyagolható tény, hogy az elmúlt évtizedben a kőolaj bizonyított globális készletei 27%-kal nőttek a kitermelés technológiai fejlődése következtében [BP, 2014]. Így jelentőségük a jövőben sokkal inkább a szénmegkötésben mutatkozik. A dendromassza termesztése zárt karbon-ciklust alkot, a növényi és gyökérlégzés, valamint az avar bomlásával felszabaduló szén-dioxid, az energetikai hasznosításuk során felszabaduló CO₂-mennyiséggel együttesen annyi szénatombocsátanak ki a légkörbe, mint amennyit a növények a növekedésük alatt a fotoszintézis során megkötnek. Figyelembe véve az energianövények termesztése és szállítása során alkalmazott gépek által kibocsátott káros anyagokat is, hasznosításuk teljes karbon mérlege bár negatív, a fosszilis energiahordozók teljes életciklusa során történő károsanyag kibocsátásnál kedvezőbb képet mutat.

A lignocellulózok biohajtóanyag célú hasznosítása a közlekedésben nem újkeletű. Az első gőzautó 1769-ben katonai célokra épült, eleinte fát [Foster, 2001], később benzint, kerozint, olajat és szenet használt gőzfejlesztésre. A technológia a második világháborúban számos európai országban elterjedt, a fosszilis energiahordozók hiánya következtében. Összesen több mint egymillió fagázsgenerátort használtak. A háború után ismét elérhetővé vált a benzin, és azonnal elindult a technológia-fejlesztés a fosszilis energiahordozók irányába. Az erős olajlobbi azóta is meghatározó, ami a gazdaságosságban is megmutatkozik. A biomasszából nyerhető biohajtóanyagok napjainkban még versenyképtelenek a fosszilis tüzelőanyagokhoz képest. Piaci megjelenésének feltétele általában valamilyen állami támogatás, a költségek fogyasztói árakba való beépülése, ezért jelenlegi hasznosításuk elsősorban hagyományos módon tüzeléssel történik, kiemelten hőenergia előállítás céljából [Gyulai, 2006]. 2016-ban a világ energiafelhasználásának 11%-át fedezte biomassza, míg a biohajtóanyag részaránya a közúti közlekedési szektorban 2,8-4%-ot tesz ki [WBA, 2017; Enerdata, 2017; IEA, 2017]. A biomassza energetikai célú hasznosításán belül a leginkább intenzív emelkedés a folyékony biohajtóanyag előállítása esetében történt az elmúlt években (15,6%) [WBA, 2017].

A közlekedési ágazat bioenergia iránti keresletét leginkább a nagyobb országok biohajtóanyag bekeverési előírásai és a világszerte növekvő üzemanyag-fogyasztás vezérli [OECD/FAO, 2016]. Az EU tagországokban 2016-ban a bioetanol és a biodízel bekeverése a konvencionális hajtóanyagokba 3,3 és 5,8 százalék volt az energiatartalom alapján számítva, míg a fejlett biohajtóanyagok részaránya körülbelül 1,2 százalék volt. Az utóbbi években a hidrogénezett növényi olajok (HVO) felhasználása is egyre nagyobb jelentőséggel bír, 2016-ban az EU-ban

2,4 milliárd literre becsülhető. Ettől jóval elmarad a cellulóz-etanol termelés jelenlegi kapacitása, amely körülbelül évi 60 millió literre becsülnek, azonban becslések szerint 2021-re termelése akár az évi 200 millió litert is elérheti [USDA, 2017].

Magyarországon jelentős szerepet tölt be a biomassza az energiaellátásban, lásd 2. ábra. A több mint ezer PJ primerenergia igényt 2016-ban 12,5%-ban fedezték megújuló alapú energiaforrásból, amelynek $\frac{3}{4}$ -ét a biomassza és egyéb kommunális hulladék fedezte [KSH, 2018]. Azonban egy új EU-s rendeletnek köszönhetően (Európai Bizottság 431/2014) megváltozott a statisztikai számítás módszertana, ezáltal ugyanebben az évben az EUROSTAT adatai szerint a magyar energiafelhasználás több mint 14 százaléka származott megújuló energiaforrásokból. A Magyarország által kitűzött, 2020-ig teljesítendő 14,65%-os célértéket már erősen megközelíti.



2. ábra: A megújuló energiaforrásokból és hulladékból termelt primerenergia mennyiségének százalékos megoszlása Magyarországon [KSH, 2018 adatai alapján]

A növényi biomassza jelenlegi energetikai hasznosítása Magyarországon elsősorban a hő- és villamos erőművekben történik, kisebb mértékben a biogáz erőművekben. A közvetlen energetikai célú hasznosításon túl a faipari melléktermékek a pellet- és brikettgyártás, valamint a forgácslapgyártás fő alapanyagát képezik.

A megújuló hajtóanyag előállítás Magyarországon 7,4%-ot tett ki 2016-ban figyelembe véve a 2.2 fejezetben ismertetett szorzókat, míg a szorzók nélkül az arány 5,04% a közlekedés teljes energiafelhasználásához viszonyítva [Bioenergy Europe, 2018]. A biohajtóanyag előállítás elsősorban az első generációs biohajtóanyagok termelésében nyilvánul meg.

2.2 A biohajtóanyag előállítás jogszabályi háttere

A közúti szállításban használt gépjárművek energiaátalakító egységeit több mint 98%-ban belső égésű motorok alkotják [Hancsók et al., 2004]. A motorhajtóanyagokat gyakran üzemanyagoknak nevezik, pedig csak az egyik legjelentősebb energiát szolgáltató csoportját alkotják, lásd 3. ábra.



3. ábra: Belsőégésű motorok üzemanyagainak rendszerszemléletű osztályozása [Hancsók, 2012]

A bio-hajtóanyagokhoz kapcsolódó főbb fogalmakat és azok jogszabályi megjelenését az 1. melléklet mutatja be.

Az Európai Unió számára nagyon fontos az energiatülség minimalizálása, és ezzel párhuzamosan a természeti környezet megkímélése érdekében a megújuló energiaforrások alkalmazásának növelése. Emiatt számos intézkedést vezettek be az évek során, a jelenleg hatályos jogszabályok az alábbiak:

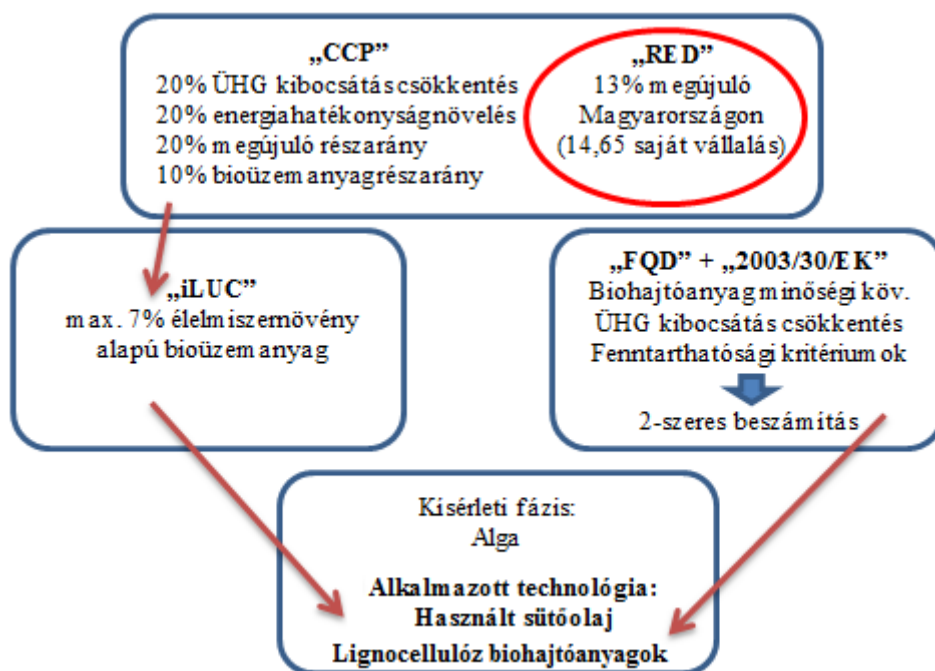
2009. április 6-án fogadta el az Európai Tanács az EU Energiaügyi és éghajlat-változási csomagját (CCP EU Energy and Climate Change Package). A csomag 3 fő célt fogalmaz meg 2020-ra, amelynek egyik pontja a 20% megújuló energia részarány elérése az EU teljes energiaellátásában. Ennek részét képezi a közlekedési ágazat legalább 10%-os megújuló energia részesedése.

2009/28/EK Megújuló Energia Irányelv (RED Renewable Energy Directive) irányelv az éghajlat-változási csomag részét képezi, amely meghatározza az egyes tagállamok számára a 2020-ra teljesítendő megújuló energia részarányt a teljes energiafelhasználáson belül. Magyarország számára 13%-os célértéket írt elő, amelynél az ország a Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Tervben optimistább vállalást tett (14,65%). Ugyanakkor a közlekedésben elérendő 10%-os megújuló részarány kötelező érvényű minden EU tagállam számára 2020-ra.

2009/30/EK irányelv a benzinre, a dízelolajra és a gázolajra vonatkozó követelmények tekintetében létrehozott irányelv fenntarthatósági kritériumokat fogalmaz meg. A kritériumok közé tartozik, hogy a biohajtóanyag használata életciklusra vetítve legalább 35%-os ÜHG kibocsátás megtakarítást jelentsen a referencia fosszilis tüzelőanyagokhoz képest. Ez az érték lépcsőzetesen szigorodik, 2017-től legalább 50%-os, 2018 után 60%-os megtakarítást kell elérni. További előírás, hogy a biohajtóanyagok alapanyagait nem lehet a biológiai sokféleség szempontjából nagy értéket képviselő földterületekről előállítani. Ez hulladékot vagy mellékterméket feldolgozó technológiák megvalósítását ösztönzi. Az így előállított

biohajtóanyagok hozzájárulását kétszeresen kell figyelembe venni a 2020-ra kitűzött biohajtóanyag részarány teljesítésében.

2015/1513 Földhasználat közvetett megváltoztatása elnevezésű irányelv (*ILUC Indirect Land Use Change*). Az irányelv szerint a termőföldön termesztett élelmiszer növényekből nyert biohajtóanyagok legfeljebb 7%-át képezhetik a 2020-ra elérendő 10% biohajtóanyag részaránynak. Az irányelv szintén a fejlett biohajtóanyagok előállítását ösztönzi, lásd 4. ábra.



4. ábra: A biohajtóanyagok alkalmazásának jogi ösztönzése

2018/841 Európai Parlament és a Tanács rendelete, amely az egyes országokra jutó teherviselés mértékéről rendelkezik, az európai kibocsátás-kereskedelmi rendszeren (ETS) kívüli szektorokban, mint az épületek, a mezőgazdaság, a hulladékgazdálkodás és a közlekedés terén (kivéve a légi közlekedést és a nemzetközi tengeri áruszállítást). A megállapodás eredményeképpen 2030-ig uniós szinten 30, Magyarországnak pedig 7 százalékkal kell csökkentenie a kibocsátást a 2005-ös szinthez képest. A 30 százalékos, jogilag kötelező EU-cél ezeknek az ETS-en kívüli szektoroknak a hozzájárulása az EU által a párizsi klímakonferencián tett vállaláshoz, miszerint 2030-ra legalább 40 százalékkal csökkentik az 1990-es szinthez képest az üvegházhatást okozó gázok kibocsátását.

A RED II tervezetét, azaz a megújuló energia direktíva (Renewable Energy Directive revision) felülvizsgálatának tervezetét az EU Tanácsa június 27-én hagyta jóvá. Az új keret azt a célt tűzte ki, hogy 2030-ra az Európai Unió energiafogyasztásán belül a megújuló energiaforrások részaránya kötelező jelleggel legalább 32%-ot érjen el. A tagállamoknak teljesítenie kell továbbá 14%-os megújuló részarányt a közúti és vasúti közlekedés energiafelhasználásán belül 2030-ra. Ezen belül további alcélokat fogalmaztak meg, a jogszabály IX. Mellékletének „A” részében meghatározott alapanyagokból előállított fejlett hajtóanyagok elérendő részarányára vonatkozóan:

- 2022-re legalább 0,2%,
- 2025-re legalább 1%,
- 2030-ra legalább 3,5%.

Ebbe a kategóriába tartozó alapanyagok, mint például az erdőgazdálkodás során keletkező apadék, valamint a rövid vágásfordulójú fás szárú energetikai ültetvények energiatartalma az elszámlálás során dupla szorzóval kerülnek regisztrálásra. A megújuló alapú villamosenergia hozzájárulását a közúti közlekedésben 4-szeres szorzóval, a vasúti közlekedésben 1,5-szörös szorzóval kell figyelembe venni. A jogszabály IX. Mellékletének „B” részében található alapanyagokból előállított biohajtóanyagok energiamennyiségét 2030-ra 1,7%-ban maximalizálja, energiatartalmuk a 14%-os célkitűzésben duplán kerülnek beszámításra. A jogszabály IX. Mellékletének „A” és „B” része a dolgozat 2. mellékletében került feltüntetésre.

Az élelmiszer- és takarmánynövényekből előállított biohajtóanyagok hozzájárulása az egyes tagállamok közúti és a vasúti közlekedésének energiafelhasználásához a 2020-as felhasználási szint fölött 1%-kal kerülnek befagyasztásra, maximum 7%-os határértéket meghatározva. Amennyiben az élelmiszer- és takarmánynövényből előállított biohajtóanyag határérték valamely tagállamban kevesebb, mint 7%, akkor a különbség mértékével csökkenthető a közúti és vasúti közlekedésben elérendő 14%-os határérték. A másodvetések és hüvelyes növények nem számítandók bele a 7%-os határértékbe.

Tekintettel a fenntartható és a konvencionális biohajtóanyagok 7%-ban megállapított felső határára, a fejlett alternatív üzemanyagok esetében alkalmazott implicit cél 7%, de a kettős elszámlálási rendelkezések miatt a tényleges nagysága valószínűleg jelentősen alacsonyabb lesz.

A jelentős közvetett földhasználatváltozási kockázatot jelentő alapanyagból előállított üzemanyagokat a 2019-es fogyasztási szinten kell befagyasztani majd 2030-ig fokozatosan 0%-ra kell csökkenteni, kivéve, ha azokat újraértékelik és tanúsítják kicsi kockázatukat. Kicsi kockázatot jelentenek a közvetett földhasználat-változás tekintetében pl. a korábban nem hasznosított mezőgazdasági területeken termesztett alapanyagok. Az EU 2030-ig megkezdi a pálmaolaj biohajtóanyag előállítás fokozatos megszüntetését is, az importált mennyiséget a 2019. évi szinten fagyasztja be.

A RED II. a fenntartható és az üvegházhatást okozó gázok kritériumát a közlekedésben felhasznált bioüzemanyagok mellett a villamosenergia előállításra, a fűtésre és hűtésre használt szilárd és gáznemű biomassza tüzelőanyagokra is bevezette. Az üvegházhatású gázok kibocsátáscsökkentésére vonatkozó elérendő célértékek a közlekedési bioüzemanyagok és a bioenergia tekintetében az 1. táblázatban szerepel.

1. táblázat: Az üvegházhatásúgáz-megtakarítási küszöbök a közlekedési bioüzemanyagokra és a szilárd és gáznemű biomassza előállítási teljesítményére, fűtésére és hűtésére

Az üzem indulása	Közlekedési célú biohajtóanyag	Közlekedési célú, nem biológiai eredetű megújuló hajtóanyag	Villamos- és hőenergia előállítás, hűtés
2015. október előtt	50%	*	*
2015. október után	60%	*	*
2021. január után	65%	70%	70%
2026. január után	65%	70%	80%

*2021-ig nem tartalmaz kötelező ÜHG megtakarítási küszöbértéket

Magyarországon a **279/2017. (IX. 22.)** Korm. rendelet határozza meg a jelenleg hatályos kötelező bioüzemanyag-részarány mértékét, számításakor a tárgyévben forgalomba hozott motorbenzin és dízelgázolaj energiatartalomban meghatározott együttes mennyiségét kell alapul venni.

- a 2017. szeptember 1. és 2018. december 31. közötti időszakban 4,9%,
- a 2019. január 1. és 2020. december 31. közötti időszakban 6,4%.

Emellett megadja azon alapanyagok és üzemanyagok listáját, melyek kétszeres energiaértéken számíthatók be, lásd 3. melléklet.

A korábban alkalmazott üzemanyagok jövedéki adókedvezménye 2011-ben megszűnt. Először 40 forint, majd év végén 70 forint adót vetettek ki literenként az E85 alkoholtartalmára. A bioetanol utáni érdeklődés hatodára esett vissza [Bajomi, 2014]. 2013. január elsejétől végül teljesen megszűnt az E85 adókedvezménye, és alkoholtartalma után ugyanannyi jövedéki adót kell fizetni, mint a motorbenzin esetében

2.3 Lignocellulóz biohajtóanyag előállítási technológiák az alapanyag függvényében

A szénhidrogén ipar a globális felmelegedés egyik nagy közvetett okozója, ugyanakkor az ígéretes új energiaforrások, mint algák, új generációs biohajtóanyagok, szél-, napenergia és hidrogén, valamint a CCS technológia az éghajlatváltozás mérséklésének forrása is egyben [Rácz, 2010].

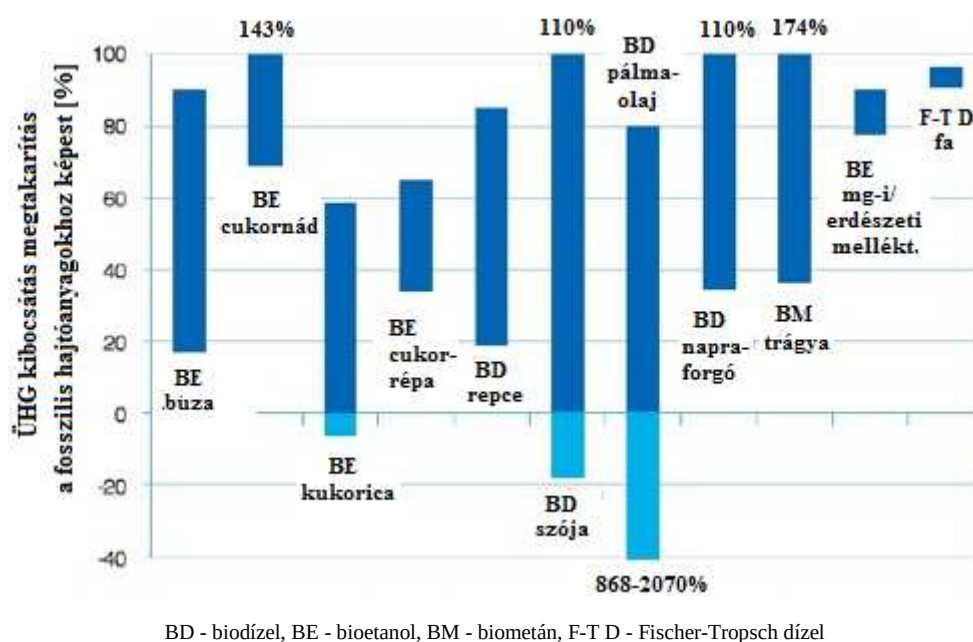
A biomassza alapú motorhajtóanyagokat három nagy csoportba sorolhatjuk a szénforrások alapján:

- Első generációs motorhajtóanyagok esetében a biohajtóanyag szénforrása az élelmiszernövényekből származó cukor, keményítő vagy olaj. A terméket szerte a világon nagymértékben hasznosítják. A technológia rendelkezésre áll, hazánkban is megtalálhatóak az előállító üzemek. Esetenként a konvencionális biohajtóanyag üzemek melléktermékeket is felhasználnak, többek között használt sütőolajat, állati zsírokat, vagy a biodízel gyártás melléktermékét, a glicerint biogáz előállítására [Rétfalvi et al., 2011].
- Második generációs motorhajtóanyagok esetében a szén a cellulózból, hemicellulózból, ligninből vagy pektinből származik. A kategória magában foglalja a

mezőgazdasági, és erdészeti melléktermékeket, illetve egyéb nem élelmiszer növényeket, mint például a rövid vágásfordulójú fás szárú energetikai ültetvényeket vagy az energiafűvet. A második generációs motorhajtóanyagok bevezetése folyamatban van, az utóbbi években megjelentek a kereskedelmi méretekben gyártó üzemek, azonban többségében a kísérleti üzemek képviselik a kategóriát. Számos kutatás folyik a minél hatékonyabb előállítás érdekében.

- Harmadik generációs motorhajtóanyagok a vízi autotróf szervezetből származnak, ide soroljuk például az algákat algák. A nyersanyag előállításához fényt, szén-dioxidot és egyéb tápanyagokat használnak fel. Előállításuk iránt egyre növekszik az érdeklődés, azonban nagyon költséges. A jelentősebb ipari mennyiségben történő gyártását és felhasználását csak 2020-as évek után tartják megvalósíthatónak.

Az alkalmazott új lignocellulóz alapanyagok átalakítása biohajtóanyagokká sokkal összetettebb technológiát igényel, mint az első generációs biohajtóanyagok. A konverziós ráta és termelési kapacitás is alacsonyabb, ugyanakkor a beruházási költség akár tízszerese is lehet a fejlett hajtóanyagok esetében. Előnyük azonban, hogy az elmúlt évek technológiai fejlődésének köszönhetően a biohajtóanyagok előállításához egyre szélesebb alapanyagspektrum áll rendelkezésre, amelyek az élelmiszerellátást nem korlátozzák. Továbbá a biohajtóanyagok alkalmazásának előnye a fosszilis hajtóanyagokkal szemben az üvegházhatású gázok kibocsátás csökkentésében van. Mértéke függ az alkalmazott alapanyag megválasztásától és azok termesztési körülményeitől, lásd 5. ábra.



5. ábra: Biohajtóanyagok ÜHG kibocsátás megtakarítása [WEB 6]

A magas lignocellulóz tartalmú növényeket főként három váz polimer alkotja. A cellulóz a földön előforduló leggyakoribb szerves anyag, glükóz egységekből álló lineáris polimer. A természetben hemicellulózzal és egyéb strukturális poliszacharidokkal összekapcsolódva, egy ligninnel körülfont, komplex szerkezetet alkot, és ilyen formában lignocellulózként áll rendelkezésre, lásd 4. melléklet.

A lignocellulóz biohajtóanyagok előállítása biokémiai és/vagy termokémiai módszerekkel történik. Általában a termokémiai folyamatok nagyobb hatékonyságot és rövidebb reakcióidőt mutatnak, mint a biokémiai eljárások [Dou et al., 2017b]. A termokémiai folyamatok néhány másodperc alatt végbe mennek, míg a biokémiai folyamatok esetében több nap, hét szükséges. Ezentúl, a technológia képes a legtöbb szerves vegyület konverziójára [Zhang et al., 2010].

2.3.1 Biohajtóanyag előállítás biokémiai módszerekkel

Bioetanol biokémiai eljárások során cellulózból speciális előkezelés és hidrolízis utáni erjesztéssel állítható elő [Hancsók, 2004]. A hidrolízis elvégzésére 3 lehetőség van [Bai, 2013]: enzimatis hidrolízis, híg savas hidrolízis és tömény savval végzett hidrolízis.

Cellulóz alapú etanol elsősorban magas cellulóz és hemicellulóz tartalommal rendelkező biomasszából állítható elő. Számos kísérlet folyt mezőgazdasági melléktermékek, mint kukoricaszár, gabonaszalma, cukorcirok bagasz [Ruiz et al., 2006], erdészeti melléktermékek [Frankó et al., 2016] papír- és faipari hulladékok [Lakshmidēvi-Muthukumar, 2010] és az energetikai célra létesített fás és lágyszárú ültetvények termékeit [Wang et al., 2012] vizsgálva. Frankó és munkatársai (2015) kéreg hatását vizsgálta az etanol előállítására és arra a megállapításra jutott, hogy a kéregtartalom hátrányosan befolyásolhatja a biokonverziós folyamatot a kisebb mértékű enzimatis hidrolizálhatóság miatt, amely azonban előkezeléssel javítható. Emellett az eszközökben a kéregre tapadt szennyeződések kopást okoznak. Az erdészeti melléktermékek és energetikai ültetvényekről származó dendromassza magas kéregtartalommal bíró alapanyag, így előkezelésük szükséges a hasznosíthatóságához.

A fő problémát a lignin okozza, mivel csökkenti a hidrolízist végző enzim aktivitását és növeli a reakcióelegy sűrűségét, valamint viszkozitását. Szakirodalmi adatok szerint 1 t fából 62% szárazanyag-tartalom mellett, 0,31 t etanol nyerhető [Bai-Kormányos, 2006]. A folyamat gazdaságossága javítható a kinyert lignin energetikai hasznosításával. Legtöbbször az elkülönítés után elégetik, ezzel biztosítva a technológiához szükséges hőenergiát. A hozam növelésére számos előkezelési eljárás ismert, amelyek közül legígéretesebbnek az ún. gőzrobbantásos eljárást tartják [Bai, 2013; Egyházi et al., 2001; McMillan, 1994]. A különböző előkezelési eljárások összehasonlítása az 5. mellékletben látható. A Szegedi Tudományegyetemen is foglalkoznak a bioetanol előállítás alapanyagainak előkezelési lehetőségeivel. A cukorrépa feldolgozás során keletkező melléktermékeket mikrohullámú sugárzásnak vetették alá a bioetanol kihozatal növelésére [Beszédes et al., 2012]. Ábel (2016) emellett cukorrépapellet, dohánynövény és nyírfakéreg apríték bioetanol célú feldolgozásának vizsgálatát végezte. Az utóbbi esetben gőzrobbantásos előkezelést alkalmazott, amely kedvező hatással volt a cukorkihozatal szempontjából.

Európában kereskedelmi méretben elsősorban lágyszárú mezőgazdasági és élelmiszeripari melléktermékek fermentációja történik. Európán kívül az USA-ban, Kínában és Brazíliában üzemelnek még kereskedelmi méretben fermentáción alapuló bioetanol üzemek. Ezek alapanyaga változó, kukorica bagasz, szalma, kukoricaszár és cső, búzaszalma, lakossági szerves hulladék. Erdészeti melléktermékeket elsősorban a kísérleti üzemekben hasznosítanak.

Ígéretes technológia a gáznemű biohajtóanyag kinyerésére a lignocellulóz alapanyagokból anaerob fermentációs úton. Hatékonyságának kulcsa az alapanyagot felépítő polimerek

hidrolízisében rejlik. A hidrolízis hatékonyságának növelése érdekében különböző előkezelési eljárásokat alkalmaznak. A magas lignin tartalmú alapanyagok mikrobiális lebomlása nagyon lassú és viszonylag alacsony biogáz hozam érhető el [Makk, 2017]. Az anaerob fermentáció hőmérsékleti tartománya 5–66°C. Az eljárástól függően a gázhozamot meghatározza az alapanyag nedvességtartalma, C/N aránya. A biogáz termelés sebessége pedig elsősorban az alapanyag összetételétől függ [Kocsis, 2011]. A Soproni Egyetemen előkezelésre vonatkozó kutatásokat végeztek, a biogáz kihozatal emelésére. Alapanyagként 3–10 cm töátmérőjű fekete bodzát és tölgyfakérget használtak. Makk (2017) eredményei szerint mindkettő alapanyag biogáz előállításra alkalmas termofil, anaerob körülmények között. Továbbá megállapította, hogy gombákkal történő biológiai előkezeléssel a metánkihozatal javítható. További kutatások a mikroalga alkalmazhatósága tekintetében folytak. Szabó (2017) eredményei szerint a mikroalga, cukorrépaszelet, használsütőolaj hármas koferementáció segítségével kedvező, közel 20%-os metánkihozatal emelkedést ért el, az alga monofermentációjához képest. Fontos szempont a megfelelő mikroelem adagolás.

Biogáz előállítása elsősorban ipari és állattartási melléktermékekből, valamint silókukoricából történik, lignocellulóz melléktermékből, szalmából egyedül Schwedtben állítanak elő biometánt.

2.3.2 Biohajtóanyag előállítás termokémiai módszerekkel

A lignocellulóz biomassa termokémiai módszerekkel történő biohajtóanyag célú átalakítása lehet pirolízisen, elgázosításon és közvetlen termikus cseppfolyósítási eljáráson alapuló [Alonso et al., 2010]. A különböző technológiai folyamatok reakciókörülményeit a 2. táblázat ismerteti.

2. táblázat: Termikus kezelési technológiák tipikus reakciókörülményei [Demirbaş, 2000; Bodnár, 2016]

Eljárás	Hőmérséklet [°C]	Termék	Nyomás [bar]	Száritási igény
Hidrotermális cseppfolyósítás	250–500	bio-olaj	5–20	nincs
Pirolízis	450–600	pirolízisolaj (bioolaj)	0,1–0,5	van
Elgázosítás	700–1100	szintézisgáz	1–20	van

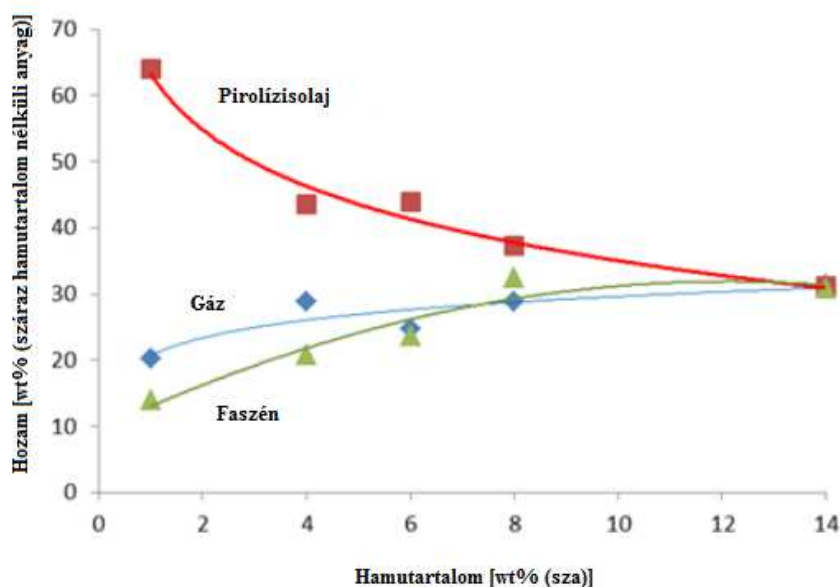
A biomassa hidrotermális cseppfolyósítását széles körben vizsgálták már a nyolcvanas években is, mint ígéretes módszert [Bouvier et al., 1988]. A cseppfolyósítás alacsony hőmérsékletű (250–400°C) és nagynyomású (5–20 MPa) termokémiai folyamat, amelynek során a biomasszát három termékke alakítják át vízben vagy más alkalmas oldószerben, ahol a bioolaj frakció céltermék mellett gázfrakció és szilárd maradék frakció keletkezik. Az eljárás nagy előnye más termokémiai eljárásokkal szemben, lehetőség nyílik 50% nedvességtartalom feletti biomassa cseppfolyósítására, ilyen lehet pl. az alga vagy a szennyvíziszap [Elliott et al, 2014; Pavlovič et al., 2013].

A pirolízis során a szerves anyagok megfelelően kialakított reaktorban, hő hatására, oxigénszegény vagy oxigénmentes közegben – esetleg inert gáz (pl. nitrogén) bevezetés közben –, szabályozott körülmények között bekövetkező kémiai lebontása megy végbe. A folyamat

során szerves gőzök, gázok és faszén keletkezik. Az elgázosítás ennél magasabb hőmérsékleten, zárt térben történik, így a szilárd biomasszából éghető gáz nyerhető. A keletkező szintézisgáz keverék alkotói: CO, CO₂, H₂, metán, vízgőz, nitrogén, valamint kevés szén, hamu és kátrány [Gyuricza (szerk.), 2014]. A pirolízis tulajdonképpen a gázosítási és égetési folyamatok kezdeti lépése, az illékony termékek elsődleges létrehozásáért felelős [Ranzi et al., 2017].

Termokémiai eljárásoknál technológiai szempontból nagyon fontos a bemenő biomassza tulajdonsága, amelyek közül a víztartalom a legfontosabb paraméter. Minden kilogramm nedvességhez 2260 kJ vissza nem nyerhető energia szükséges ahhoz, hogy elpárologjon, ezzel rontva a gazdaságosságot [Basu, 2010]. Továbbá az alapanyag nagy nedvességtartalma a folyékony végtermék víztartalmát emeli, ezáltal rontva annak minőségét. A nyersanyag nedvességtartalmának optimális esetben 7% alatt kell lennie [Bridgwater et al., 2002]. Az alapanyag előszárításához szükséges hő fedezhető például a pirolízis olaj mellett keletkező faszén és gázok elégetésével.

A pirolízis technológiai folyamata során a biomassza szervesen összetevői rontják a konverziós rátát [Asadullah et al., 2003]. Agblevor és Besler (1996) feltételezései szerint különösen a kálium és a kalcium katalizálja a biomassza bomlását és a szénképződést. Tröger és munkatársai (2013) eredményei jól mutatják a pirolízis olaj csökkenő hozamát a teljes hamutartalom függvényében, amelyet egy 10 kg/h kapacitású reaktorban vizsgáltak, lásd 6. ábra.



6. ábra: A pirolízis olaj hozamának változása a hamutartalom függvényében [Tröger et al., 2013]

Az alapanyag szervesen összetevői mellett, gyakran a biomassza betakarítása és begyűjtése során kéregre tapadt talajrészecskék okozzák a magas hamutartalmat. A túlzott mennyiségű szennyezőanyag a kezelési és feldolgozási rendszerek fokozott kopását, a pirolízis olajok megnövekedett instabilitását, a reaktorban salakosodást okoz. A hamutartalom csökkentésében fontos szerepe van az alapanyag megfelelő kiválasztásának és előkezelésének, valamint a termesztés során az alkalmazott gazdálkodási technológiának [Kenney et al., 2014].

A reaktor kialakítása is nagyban elősegítheti a nagy hamutartalommal rendelkező alapanyagok feldolgozását [Rajvanshi, 1986; Sikarwar et al., 2016]. Dou et al. (2017a) 2 éves rövid vágásfordulójú nyár ültetvényről és 12 éves rövid vágásfordulójú energiaerdőből származó faanyagot vizsgált pirolízis során keletkező bioolaj hozamot illetően. Mérték többek között a lomboszat eltávolításának jelentőségét a pirolizálás előtt. Eredményeik szerint a levél eltávolítása nem befolyásolta a bioolaj hozamot, de a szilárd és gázfázis eltolódását okozták. A bioolaj hozam a rövid vágásfordulójú ültetvény esetében 5%-al kisebb volt, párhuzamosan a hamutartalom növekedésével. Egy másik kutatásuk során a rövid vágásfordulójú 2 éves nyár ültetvények faanyagát biokémiai eljárásokkal kívánták etanollá feldolgozni. Ez azonban a minták kémiai összetételének következtében kevésbé jó hozamot biztosított, amit tovább rontott a levelek magas fenoltartalma. A magas fenoltartalom a termikus kémiai folyamatokban kevésbé okoz nehézséget, így megállapításaik szerint a nyár alapanyagot inkább a termikus eljárások során érdemes hasznosítani [Dou et al., 2017a; Dou et al, 2017b].

Sebestyén (2014) vizsgálatai szerint a gőzrobbantás hatékonyan távolítja el a nátrium-, és káliumionokat a fa mintákból. Ennél még hatékonyabb módszernek a 60 °C-os vizes mosás bizonyult, amely a káliumionok 90%-át, a nátriumionok 80%-át extrahálta ki, ezáltal csökkentve a minták hamutartalmát. Mészáros et al. (2004) rövid vágásfordulójú energiaültetvényekről származó fiatal faanyag (nyár, fűz, akác) termogravimetriai/tömegspektrometriás elemzését végezték el, a fa és a kéreg termikus bomlási jellemzőit hasonlították össze. Méréseik alapján a kéreg ásványianyag tartalma jelentősen magasabb, amelyek jelentős részét mosási eljárással távolították el. Eredményeik alapján az előkezelés után a faanyag és a kéreg termikus viselkedése még mindig jelentősen különbözött, de a makromolekuláris komponenseik hasonló hőmérsékleteken bomlottak.

A biomassa részecskemérete vagy részecske-sűrűsége egy másik jelentős tényező a termokémiai eljárások során. Bár az aprítás kedvezően befolyásolja a kihozatait, növeli a költségeket nagy energiaigénye révén. A fix ágyas reaktorok kevésbé érzékenyek az alapanyag méretére, 0,15–51 mm közötti tartomány optimális [Sikarwar et al., 2016], míg a fluidágyas reaktorok kisebb alapanyag méretet igényelnek (<6 mm) [Fu et al., 2009].

A legújabb kísérletek már mobilpirolizáló eszközök kifejlesztésén dolgoznak, amely faforgácsot vagy mezőgazdasági hulladékot bioolajjá alakít át. A Battelle által kifejlesztett egység egy tonna fenyőaprítékot, forgácsot és fűrészport képes átalakítani naponta, mintegy 500 liter nedves bioolajjára. A technológia tesztelés alatt áll [Battelle, 2013]. A mobil pirolizáló egységek optimális alkalmazási helyeinek azonosítására GIS alapú programot fejlesztettek ki az Egyesült Államok északi és középső régiójában, annak érdekében, hogy minimálisra csökkentsék a kukoricaszár és cirok alapanyagok szállítási távolságát, ezzel minél kedvezőbb energiamérleget elérve [Ha et al., 2011].

Gödöllőn a VM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet akkreditált energetikai laboratóriumában folytatók kísérletek pirolitikus elven működő bivalens-duo hőhasznosító rendszer fejlesztésére és tesztelésére. Méréseik során fás és lágyszárú anyagokat, valamint szennyvíziszapot és ezek keverékeit vizsgálták. Eredményeik szerint energetikai szempontok alapján a termékgázok két értékes komponense a metán és a hidrogén. A vizsgált alapanyagok közül a legmagasabb fűtőértékű termékgáza a fűzfa aprítéknak adódott, ezt követik a fás és lágyszárú mintákkal kevert szennyvíziszap minták, valamint a kender és a nád minták termékgázai [Tóvári et al., 2013].

A Fischer-Tropsch-eljárás egy katalizált kémiai reakció, amelyben a szintézisgázt, a szén-monoxid és hidrogén elegyét alakítják át különböző folyékony szénhidrogénekké. A leggyakoribb katalizátor a vas és kobalt, de a nikkel és ruténium szintén használatos. Az eljárás olyan hajtóanyagokat szintetizál, mint például a benzin vagy a gázolaj, melyek közel állnak a nyersolaj finomításával létrehozott termékekhez. Kereskedelmi mennyiségű termelés jelenleg elsősorban földgázra vagy szén elgázosítása során nyert szintézisgázra alapozottan folyik. Malajziában a Shell, Dél-Afrikában a Sassol vállalat a legnagyobb képviselője ennek az iparágaknak. A Red Rock Biofuels 2018-ban tette le egy fahulladékra alapozott elgázosító üzem alapkövét, amelyet Fischer-Tropsch katalitikus oxidáció követ. Magyarországon Pölczman (2013) doktori munkája során foglalkozott a biomassza alapon nyert szintézisgázból F-T szintézissel előállított nehéz paraffinelegy izomerizáló hidrokrakkolásával. A kísérleti munka fő célja a különböző katalizátorok alkalmasságának vizsgálata volt.

2.3.3 A lignocellulóz biohajtóanyagok összehasonlítása, alkalmazásuk előnyei, hátrányai

Az anaerob fermentáció során nyert biogáz összetételét tekintve mintegy 50-70% metánt, 30-40% szén-dioxidot és 1-2% egyéb gázt, elsősorban kén-hidrogént és nitrogént tartalmaz [Filyó-Olajos, 2013]. A Schwedtben szalmából előállított biogáz mintegy 60% metánt tartalmaz, hasznosítási lehetősége rendkívül sokoldalú. Kisebb biogáz-üzemekben keletkező biogázt közvetlenül istállók, üvegházak fűtésére használják, míg nagyobb üzemek esetében a biogázt villamos energiává alakítják át, majd a kiépített villamoshálózatba táplálják. A biogáz cseppfolyósítva a földgázhálózatba is betáplálható, ehhez azonban földgázminőségre való tisztítása szükséges, egyes gázkomponensek eltávolításával, mint pl. a kénhidrogén, és szén-dioxid. A CNG üzemű gépjárművekbe történő üzemanyag célú tankolás elterjedését hátráltatja a földgáz üzemű személygépjárművek hiánya. Terjedését a tisztítás, a sűrítés, a feltöltőhely kialakítás, a szállítási infrastruktúra kiépítésének drága beruházási költsége tovább nehezíti [Bai, 2013b]. A működő gépjárművek többsége ezért napjainkban a tömegközlekedésben működik.

A bioetanol ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$) az egyik legjelentősebb megújuló alapú folyékony hajtóanyag. Lignocellulózból történő előállítása során nagyon jelentős az előkezelés szerepe. Így termelése során az egyik legjelentősebb kihívás a nagy mennyiségű glikozid-hidroláz enzim biztosítása a lignocellulóz, a hemicellulóz és a cellulóz fermentálható cukrokká történő hatékony átalakításához [Jiménez-Sánchez-Philip, 2016]. A keletkező végtermék azonnal felhasználható a belsőégésű motorok meghajtására, az optimális bekeverési arány a hagyományos fosszilis benzin hajtóanyaghoz 15-20% között van. Hátrányai között szerepel, hogy az etanol energiatartalma kisebb a benzinénél. A bioetanol üzemanyagként történő alkalmazásának előnye, hogy a bioetanol-benzin keverékkel üzemeltetett gépjárművek CO- és SO₂-emissziója kisebb, mint a csak benzinnel hajtott gépkocsiké. Továbbá az etanol a benzin oktámszámát megemeli, emiatt adalékolásra is alkalmazzák.

A pirolízis végterméke a pirolízisolaj számos kedvezőtlen adottsággal rendelkezik, emiatt nem használható fel közvetlenül a gépjárművek üzemanyagába keverve. Nagy a víztartalma, poláris tulajdonsága révén nehezen keverhető szénhidrogénekké, 100 °C-t meghaladó hőmérsékleten instabil, savas kémhatása miatt speciális kezelése szükséges, energiasűrűsége kicsi (16–19 GJ/t), folyékony hajtóanyagokkal összehasonlítva, nagy az oxigéntartalma 40–50 wt%, ami kedvezőtlen a dízelmotorokban történő hasznosításhoz. A pirolízisolaj elsősorban a közepes és

lassú fordulatszámú hagyományos dízelmotorokban használható. Alkalmazásuk során felmerülhetnek kritikus problémák, mint lerakódások a dugattyúkon és a motor égésterében, szűrő dugó, injektor kokszolása, hidegindítási nehézségek, túlzott motorkopás [Jahirul et al., 2012].

A pirolízis olajból közúti közlekedéshez hasznosítható üzemanyag a meglévő olajfinomítóknál való további feldolgozás után nyerhető. Ehhez azonban az oxigén vegyületek csökkentése szükséges hidrogénező heterogén katalitikus oxigéneltávolítás (HDO) segítségével [de Miguel Mercader, 2011], lásd 3. táblázat.

3. táblázat: A pirolízis olaj tulajdonságainak összevetése további feldolgozás előtt és után és a hagyományos fűtőolaj és a biodízel minőségek [SenterNovem, 2013 Table 4-2.]

	Pirolízis olaj	Hidrogénező oxigénmentesítés után (HDO)	Dízel	Konvenc. fűtőolaj	Konvenc. biodízel
Sűrűség [kg/m³]	1150–1220		820–845	963	860–900
C [%]	40–48		86,3	86,1	
H [%]	6–8		12,8	11,8	
O [%]	42–52	10	0	0	12
Víz [%]	20–25		<0,02	0,1	<0,05
Dinamikus viszkozitás [cP]	5,7–16	51	1,6–3,8	3,4	3,4–4,5
Lobbanáspont [°C]	66		>55	100	>101
Fűtőérték [GJ/t]	17–17,5	37	42,9	40,7	39
pH	3	7	7	7	

Az eljárás energiaigényes és nagy H₂ felhasználással jár, a hagyományos katalizátorok gyorsan deaktiválódnak, míg az új nemfémes katalizátorok még kutatási fázisban vannak [Yuste, 2016]. Az eljárás során a katalizátortól és technológiától függően 24–65 tömeg%-ban keletkezik a javított tulajdonságokkal rendelkező olajfázis [Wildschut et al., 2010]. A nyert anyag már képes a nyersolajjal elegyedni, így maximum 10–20%-ban bekeverve a fluid katalitikus krakkolás folyamatába a keverék (90+10%) a tiszta kőolaj feldolgozás során nyert végtermékhez hasonló termékspektrumot eredményez. [de Rezende Pinho et al., 2017; de Miguel Mercader, 2010]. A keletkező termékek: LPG (13-22 w%), naphta (40-56 w%), LCO (gázolaj) (13-20%) [Széchy, 2003; de Rezende Pinho et al., 2017].

A másik lehetőség a pirolízis olaj elgázosítása során nyert szintézisgáz Fischer-Tropsch eljárással történő feldolgozása. A BTG-BTL technológia során nyert pirolízis olajjal végzett nagyüzemi elgázosítások Németországban és Svédországban sikeresnek bizonyultak [Technip, 2017]. A pirolízis olaj további hasznosítási lehetőségei vegyipari alapanyagként, valamint a hő- és villamosenergia termelésben lehetséges, ahol a további feldolgozási igény elkerülhető.

A gázosítás során szilárd biomasszából szintézisgázt nyerünk, mely 32-41%-ban CO-t, 17-19%-ban CO₂-t, 24-26%-ban H₂-t tartalmaz, emellett kevesebb metán, nitrogén, hamu, kátrány is megjelenik [Czupy-Vágvölgyi, 2011]. Felhasználása szintén sokoldalú, a gáz elégetésével ipari és lakossági hőenergia nyerhető, ezen túl mechanikai- és villamos energiát is elő lehet állítani. A szintézisgáz a metanol ipari előállításának egyik alapanyaga [Bodnár, 2014]. A

metanol direkt módon vagy dimetil-éterre történő átalakítással üzemanyagként vagy benzinhez keverve jól hasznosítható, továbbá a nyers növényi olajok átészterezése során használják. A tisztított szintézisgáz F-T szintézis útján szintetikus kőolajjá alakítható, melyből az izomerizáló hidrokrakkolás után motorbenzin (25%), dízelgázolaj (70%) nyerhető [Hancsók et al., 2006, Zöldy, 2011]. A termék gyakorlatilag kén-, nitrogén- és aromamentes, korlátozás nélkül felhasználható a hagyományos gépjárművekben és motorokban. Hátrányként említhető, hogy kisebb a térfogategységre eső energiatartalma (7-8%), valamint a megfelelő kenőképeség csak adalékolással érhető el [Hancsók, 2004].

2.4 A lignocellulóz biohajtóanyag gyártás fejlődését gátló tényezők

2.4.1 Magyarországi helyzet

Magyarországon jelenleg négy biohajtóanyagot előállító üzem működik. A Hungrana Kft. évente mintegy 1,2 millió tonna kukoricát dolgoz fel fermentációs eljárással, ezzel több, mint 350 ezer tonna etanolt nyerve. Alapanyagát belföldről szerzi be, az üzem 100–350 km-es körzetéből. A Pannonia Bio Zrt. dunaföldvári üze me hasonló kapacitással működik. Alapanyagát szintén belföldről szerzi be és a termékét 20 országba exportálja. Az Etanol-Line Kft. bioetanol üze me 2008-ban kezdte meg a működését Vácszentlászlón és 7 300 t bioetanolt állít elő. Jelenleg 60 ezer t kukorica/év a feldolgozó kapacitása. Az üzem 400 millió Ft-os beruházással indult, amelyet belföldi magánszemélyek biztosítottak. A kiskapacitású létesítményt kifejezetten azzal a céllal hozták létre, hogy decentralizált módon, kistérségi szinten lehessen az alapanyagellátást biztosítani. Jelenleg a társaságnál hatékonyságnövelő fejlesztések zajlanak, ugyanis a beruházással párhuzamosan az alapanyagának szánt kukorica ára erősen emelkedett, amely a gazdaságosságot kedvezőtlenül befolyásolta. 2017 októberében adták át Tiszapüspökiben a Kall Ingredients Kft. új izocukor üzemét, amelyet 45 milliárd Ft-os beruházással hoztak létre. Az üzem évente 530 ezer tonna magyar kukoricát dolgoz fel élelmiszeripari alapanyagokat, cukor- és keményítőtermékeket, magas minőségű alkoholt, valamint takarmányokat állítva elő főleg exportra. Ehhez hasonlóan a Győri Szeszgyár Zrt. is vegyipari- és élelmiszeripari etilalkoholt állít elő.

A már működő üzemek mellett számos etanolgyár építése volt tervben a 2006/2007-es években. Az összesen mintegy 1 millió tonna bioajtóanyag előállítására képes üzemek azonban nem valósultak meg, amely több okra vezethető vissza. A Magyar Bioenergetikai (Mabio) Zrt. pl. öt üzemet kívánt építeni, amelyek 2008 közepén kezdték volna meg a termelést és 2010-re összesen 600 ezer liter bioetanolt állítottak volna elő 1,75 millió t kukoricából. A berobbanó gazdasági válság következtében azonban anyagi problémák léptek fel. Az euró árfolyama megugrott, így a német technológia külföldről történő beszerzéséhez nem volt elegendő a rendelkezésre álló beruházási keret. A bankhitelekhez pedig ebben az időszakban nehezen lehetett hozzájutni. Tovább nehezítette a projektek megvalósítását, hogy a 2007-es erősen aszályos év volt, az alacsony hozamok következtében megemelkedett a kukorica ára, miközben harmadára csökkent a fosszilis üzemanyagár. Ez jelentette a SEKAB Bioenergia Magyarország Zrt. és a Spice Biofuels négy helyszínen tervezett üzemének kudarcát is. A társaságok legfeljebb 150 EUR/t kukoricaár mellett tartották volna rentábilisnak a termelést, helyette az ár 2007-ben 200 EUR/t volt. A gazdák a teljesítési nehézségek miatt nem kívántak hosszú távú szerződéseket kötni, ennek hiányában a banki támogatások is elmaradtak. Összességében a problémához egy nem kellően megalapozott biohajtóanyag stratégia vezetett. A biohajtóanyag célú kukoricafeldolgozás a jelenlegi duplájára emelkedett volna, azonban ekkora igény

fenntartható kielégítése erősen aszályos évben nem megvalósítható más ágazatoktól való elvonás nélkül. Amennyiben mégis megvalósultak volna, akkor az ILUC irányelv 7%-os élelmiszer növény alapú biohajtóanyagokra vonatkozó korlátja az elkövetkező években okozná az üzemek vesztét, sok más külföldi példa alapján. A kukorica hozamának ingadozása jelentősen kihat az etanol iparra. A jelenleg is működő jelentős felfűvő kapacitással rendelkező üzemek aszályos évben csak magas áron juthatnak alapanyaghoz, amely rontja a gazdaságosságot. A RED II irányelv tervezete a jelenlegi kapacitás fenntartását is veszélyezteti.

A biodízel iparág sem tudott teljes egészében fennmaradni. A Rossi Biofuel Zrt. évi 150 ezer tonna biodízelt állít elő Komáromban észterezés útján, mintegy 450 ezer tonna alapanyag feldolgozásával. Ezek fő tömegét olajos magvak, használt sütőolaj, állati zsírok adják. A vállalat az alapanyagot elsősorban Magyarországról szerzi be, de határváros lévén a környező országokból is importál. A másik magyarországi biodízel üzemet Nagyigmándon az ÖKO-LINE Kft. alapította 2003-ban. A tulajdonosok közel négymilliárd forintból hozták létre az évi 25 ezer tonna kapacitású termelő üzemet. A gazdasági válság hatására a tulajdonosok a cég értékesítéséről döntöttek, amelyet végül 2009 decemberében külföldi befektető vásárolt meg. Ígérete alapján folytatta volna a termelést, amely azonban nem valósult meg és a tartozások felhalmozódása miatt elindult a felszámolás.

Magyarországon második generációs lignocellulóz melléktermék alapú biohajtóanyag üzemre nincs példa. A jelenleg működő biogáz üzemek elsősorban ipari melléktermékeket, állati trágyát valamint silókukoricát hasznosítanak, azonban az utóbbi mezőgazdasági főtermékként kerül előállításra. Hulladékpírolízisre több példa is van az országban. Az üzemek elsősorban gumit és műanyagot dolgoznak fel, főtermékként bioolajat létrehozva. Az ország legnagyobb üzeme Dunaharasztniban található, 10 ezer t/év kapacitással rendelkezik. A pírolízis olaj értékesítése többirányú: finomítói, erőművi, ipari fűtőolaj, valamint villamosenergia termelés. Ezek mellett több kisebb pírolízisüzem is működik. A Pannon Tyre Recycling Zrt. balatonfűzfői üzemében évi 5 ezer t gumi hulladékot dolgoznak fel. A kapacitást mintegy háromszorosára kívánják bővíteni a jövőben. Bányaterenyén 2014-ben hozta létre üzemét a KGF Hungary Kft., amely alacsony hőmérsékletű pírolízissel gumihulladékot hasznosít energetikai célra. A kétmilliárd forintos beruházás a Gazdasági Operatív Program (GOP) egymilliárd forintos támogatásával, emellett önerőből, bankhitelből, valamint az Új Széchenyi Kockázati Tőkeprogram keretéből valósult meg. Az évi 6 ezer tonna gumibroncs hulladék feldolgozására képes üzem fő végterméke hajómotorokban, dízelgenerátorokban felhasználható pírolízis olaj. Azonban jelenleg nem üzemel, mivel a működés nem rentábilis, új technológia bevezetésén dolgoznak.

További üzemek létrehozására is volt próbálkozás pl. Sajóbáonyban, Kazincbarcikán, Gyöngyösön, Százhalombattán vagy Kaposváron, azonban többségében lakossági ellenállásba ütközve, emissziós problémákra hivatkozva hiúsultak meg az elképzelések.

Vannak biztató tervek mezőgazdasági melléktermékekre és dendromasszára alapozott hajtóanyag üzemek létrehozására is. A Hunethanol Kft. a Biochemtex-el együtt búzaszalmára alapozva 50 ezer t kapacitású lignocellulóz etanol üzemet tervez létrehozni Kecskeméten, a Beta Renewables PROESA technológiájára alapozva [Hunethanol, 2017]. Míg a Jákófa Ipari és Kereskedelmi Kft. saját telephelyén, Bakonyjácán hozna létre 25 millió EUR-ból bioolaj üzemet. Az eljárás során a saját és a környező településeken működő fafeldolgozó üzemek melléktermékeit hasznosítaná pírolízis útján. A fő termékként kapott olaj második generációs

biológiai komponensként kerülne az üzemanyaggyártásba. A finanszírozás köz- és magánszféra együttműködésével valósulna meg, amelyhez jelenleg befektetőket keresnek [Jákófa, 2017].

2.4.2 Nemzetközi helyzet

Európában 5 országban található kereskedelmi méretekben lignocellulóz biomasszát feldolgozó hajtóanyag üzem. Ezek elsősorban ipari és kisebb mennyiségben mezőgazdasági melléktermékeket hasznosítanak. Hollandiában a pellet tengeri szállítása során visszamaradó törmelék biomasszát alkalmaznak alapanyagként, pirolízisolvajat (bioolajat) létrehozva, hő és villamosenergia előállítás céljából. A projekt az Európai Bizottság (FP7 program) és a Gazdasági Minisztérium pénzügyi támogatásával, valamint Overijssel tartomány energiaalapja segítségével jött létre, egy további magánbefektető beruházásával. Ehhez hasonlóan a Fortum 2013-ban Finnországban, Joensuu városában alapított demonstrációs üzem, ahol pirolitikus eljárással erdészeti faaprítékból, évi 50 ezer tonna bioolajat hoznak létre. Az üzem az Európai Bizottság NER300 finanszírozási programjának 6,9 millió eurós támogatásával jött létre. Mindkettő üzem a nyert bioolajat hő- és villamos energia előállítására hasznosítja. A biohajtóanyag célú hasznosítás is tervben van a közeljövőben. 2013-ban kezdte meg működését egy 140 MW-os biomassza-gázosító üzem Vaasa városában, Finnországban. A projekt teljes 40 milliós beruházásához körülbelül 10 millió euró pénzügyi támogatást kapott a Foglalkoztatási és Gazdasági Minisztériumtól, míg a Nordic Investment Bank (NIB) 18 millió eurós kölcsönt nyújtott a projekthez. A gyár alapanyagként elsősorban erdészeti mellékterméket hasznosít. 2017-ben kezdte meg működését Finnországban Kajaani-ban egy lignocellulóz etanol üzem, amelyhez a finanszírozást finn befektetők (NEB, SOK Corporation, St1) vállalták. Alapanyagként elsősorban faipari melléktermékeket hasznosít. A legrégebben működő üzem második generációs üzem Norvégiában található, ahol papíripari melléktermékekből állítanak elő etanolt.

Szintén a NER300 támogatásával (28,4 mEUR) jött létre Olaszországban egy második generációs bioetanol üzem, amely 2012-ben kezdte meg a működését. Alapanyagként mezőgazdasági melléktermékeket és energianádat használ fel. Az egyetlen kifejezetten mezőgazdasági melléktermékekre alapozott üzem Schwedtben, Németországban található, ahol szalmából biometánt állítanak elő, gázüzemű gépjárművek számára. A projektet az Európai Unió NER 300 támogatási projektje 2014 és 2019 közötti időszakban 22,3 millió euróval támogatja. A lignocellulóz biohajtóanyag üzemek jellemzőit a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: Főbb kereskedelmi méretben termelő fejlett etanol üzemek Európában

	Start/ technológia	Alapanyag [ezer t]	Beruházás [mill. EUR]	Termék/kapacitás [mill. liter]
Crescentino, Olaszország	2013/Proesa	olasznád, rizshéj, kukoricaszár, búzaszalma 270	150	etanol (hajtóanyag) 75
Schwedt, Németország	2014/Verbio	szalma 40	22,3	biometán (hajtóanyag) 38
Sarpsborg, Norvégia	1938	papíripari melléktermék (fenyő lúg) (400)	n.a.	etanol (hajtóanyag, vegyipar) 20
Kajaani, Finnország	2017/St1 Cellunolix	fűrészpor n.a.	40	etanol (hajtóanyag) 10
Hengelo, Hollandia	2014/Empyro	pellet hulladék 37	19	bio-olaj (hő- és vill. e.) 24
Joensuu Finnország*	2013/Fortum	apríték 130	30	bio-olaj (hő- és vill. e.) 50

*demonstrációs üzem
na - nincs adat

Dendromasszára, azon belül is erdészeti melléktermékekre kettő 50 millió l/év kapacitású etanol üzemet terveznek, az egyiket Finnországban, Pietarsaari-ban, a másikat Norvégiában, Hønefoss városban [Biorefineries, 2017]. Emellett mezőgazdasági melléktermékek hasznosításával Szlovákiában kettő és Romániában további egy lignocellulóz üzem van tervben.

A megvalósult üzemek számát messze meghaladta a bedőlt projektek száma. Alapvetően kettő fő irányvonal különült el az okokat tekintve. Az egyik, hogy a technológia megfelelően működött, azonban a biohajtóanyag előállítás erősen gazdaságtalan az alacsony fosszilis hajtóanyag árak, valamint a magas lignocellulóz alapanyagárak és főképpen az üzem magas beruházási költségei miatt. A másik irányvonal, amikor a termelés a technológia gyengeségének köszönhetően volt gazdaságtalan.

2.4.2.1 Működő technológia, gazdaságtalan üzemelés

Az EU 2009-ben egy új, alacsony CO₂ kibocsátású technológiákat támogató programot fogadott el NER300 néven. Különösen a CO₂ leválasztás és tárolás ösztönzése volt a cél, de emellett a különböző innovatív megújuló technológiák támogatását is vállalta. A támogatás az árverés útján értékesített EUA-k összegéből származik, amelyet akkor 6–9 milliárd euróra becsültek. Végül azonban csak jóval kevesebbet, 2,1 milliárd eurót tudott felszabadítani erre a célra, amely a nagy volumenű projektek számát korlátozta. Így a nagy beruházást igénylő nagyüzemi biohajtóanyag projektek többségét a második körben megszüntették vagy

befagyasztották. A sikeres megújuló projektek a szélenergia, a kis- és közepes méretű bioenergia, valamint az óceáni- és geotermikus energia-hasznosító projektek lettek. Több támogatást nyert biomassza projekt azonban elhalt vagy kimenetele jelenleg is kétséges: Ajos BTL, CEG Plant Goswinowice, Pyrogrot, BIO, Woodspirit, Gobigas, UPM Stracel BTL. Többségük törlésének oka az üzemek tervezéséhez, kivitelezéshez, működéséhez szükséges NER300 támogatáson felüli források biztosításának hiánya, valamint a támogatások kifizetésének nem optimális időzítése volt.

Több üzem már a tervezés fázisában hiúsult meg. A Fortum bioolaj üzemet tervezett létrehozni Pamu városában, Dél-nyugat Észtországban 30 mEUR beruházással. A beruházás 2016-ban fejeződött volna be. Az alacsony olajárakra hivatkozva a finn energiacsoport felfüggesztette a megvalósítást. 2016-ban jelentette be a British Airways, hogy 600 ezer t lakossági hulladékból évi 50 ezer t biojet típusú és 50 ezer t biodízel típusú hajtóanyag előállítására irányuló projektjét szünetelteti az állami támogatás elnyerésének nehézségei miatt. A Solena Plasma elgázosítás technológiáját kívánták használni, amely 20–50%-al több hulladék feldolgozására képes, mint más technológiák.

A már működő üzemek is áldozatul estek a magas működési költségek és technológiai gondok következtében. A CHOREN vállalat új technológiát fejlesztett ki papíripari melléktermék, mint fekete- és barnalúg elgázosítására. Az így keletkező szintézisgázból biohajtóanyagot állított elő. A világ első BioDME üzemét 2010-ben nyitották meg Piteå-ban, majd 2016-ban gazdaságossági problémákra hivatkozva zárták be. A Göteborg Energi AB 2014-ben indította lignocellulóz bemutatató üzemét, amely a világ legnagyobb faelgázosító demonstrációs projektje volt. Működése során évi 11,2 ezer t szintézisgázt hozott létre. Alapanyagként erdészeti melléktermékeket és fapelletet hasznosított. Azonban a projektet felfüggesztették, mivel a biometán, mint járműhajtóanyag jelentősége és értéke nem nőtt a várt mértéknek megfelelően. A technológia azonban előrehaladott állapotban van és jó eredményeket tudott felmutatni.

A Neste Oil és a Stora Enso közös vállalata 2010-ben Finnországban hozta létre demonstrációs méretű, 12 MW-os elgázosító üzemét, amely évi 656 tonna faalapú gázt állít elő. Folytatásaként az NSE Biofuels a Stora Enso egyik cellulóz és papírüzemében kereskedelmi méretű termelő üzemet tervezett indítani évi 100 ezer t kapacitással. A tervek szerint 2016-ban kezdte volna meg a működést, azonban 2012-ben bejelentették, hogy a biodízel-üzem megépítését nem vállalják. Bár a technológia jól működött a demonstrációs üzemben, azonban támogatás hiányában a jelentős beruházást nem tudták volna finanszírozni.

Amyris Inc. (USA, Brazília) szintén felhagyott a biohajtóanyag tevékenységével. Cukornád teljes növényből fermentáció útján állított elő hajtóanyagot. Gazdaságilag azonban nem volt fenntartható az üzem működtetése az alacsony kőolajárak mellett, annak ellenére, hogy a technológia jól működött.

A DuPont 2017-ben jelentette be, hogy két éve működő etanolüzemében leállítja a termelést és értékesíti azt. Az Iowa-i üzem bezárására politikai döntések következtében került sor. Az Amerikai Egyesült Államok Környezetvédelmi Ügynöksége (EPA) 2017-ben határozott úgy, hogy a 2007-es mandátum alá csökkenti az ország hajtóanyagaiba keverendő cellulóz bioüzemanyagok mennyiségét, azzal érvelve, hogy az iparág nem termel eleget a bekeverési arány teljesíthetőségéhez. A DuPont körülbelül 225 millió dollárt költött a létesítmény

megépítésére, amely kukoricaszárat és egyéb lignocellulóz mezőgazdasági melléktermékeket használt etanol előállításához. Az üzemet évente 30 millió gallon termelésére tervezték.

A PetroSun egy kétlépéses folyamatot használ etanol (vagy biodízel) és hidrogén előállítására. Az eljárás során a szerves anyag égetése alacsony oxigéntartalom mellett történik, szén-dioxid, hidrogén és szén előállításához. A CO₂ az algák alapanyagaként szolgál bioüzemanyag előállítására, a hidrogént égetik villamos energiává, és a faszenet műtrágyaként használják. A PetroSun 2008-ban egy 30 millió gallon demonstrációs üzemot épített fel. Az üzemot úgy tervezték, hogy nagy méretben is tesztelje a vállalat technológiáját, és bizonyítsa a karbon-negatív folyamat megvalósíthatóságát. Azonban a beruházás a pénzügyi válság idején történt, amely túlterhelte a vállalatot. Eredményeként az algával kapcsolatos kutatásokat és beruházást leállították.

2.4.2.2 Technológiai problémák következtében bezárt üzemek

Abengoa értékesítette a 25 millió gallon kapacitású Kansas-ben található létesítményét 48,5 millió dollárért. Nyilatkozatukban a termelés leállításának fő okaként technológiai problémát jelöltek meg. Ugyanakkor a drága alapanyag is problémát okozott, amely a termelési költség 40%-át tette ki.

A Range Fuels, az első olyan cégek egyike, amely olcsó alapanyagból, mint például a faforgács kívánt etanolt előállítani elgázosítás útján. Az üzem szintén bezárta kapuit, és kénytelen volt eladni eszközeit, mivel a technológia túl drágának bizonyult. Az eljárás még 2006-ban kapott nagy figyelmet politikai hatásra, és 76 millió dolláros támogatásban részesült az Egyesült Államok Energiaügyi Minisztériuma részéről. Az üzemot úgy tervezték, hogy évente 20 millió gallon üzemanyagot termeljen, majd 100 millió gallon kapacitást érjen el. A kormányzat finanszírozása mellett Georgia Államtól 6 millió dollár támogatást kapott, míg az US Biorefinery Assistance Program további 80 millió dollár támogatást nyújtott. Azonban az üzem veszteséggel működött, és 2011-ben leállították. Fő problémaként a gázosítási folyamat során fellépő kátrányképződést nevezték meg.

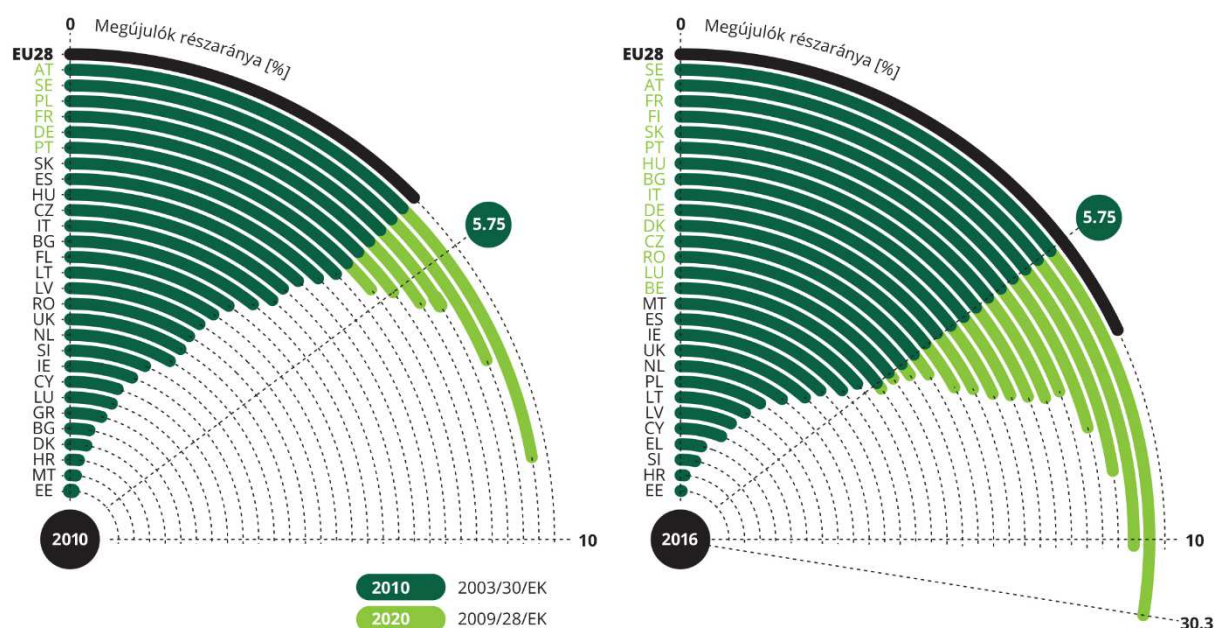
A KiOR 2010-ben mutatta be a biomassza katalitikus pirolizáló demonstrációs egységét, ami a pilot üzem 400-szoros méretében valósult meg. Miután 2011-ben igazolta a technikai megvalósíthatóságot a KiOR áttért a kereskedelmi termelésre. Azonban 2013 nyarán bebizonyosodott, hogy az üzem nem érte el a tervezett gyártási mennyiséget, így 2014 januárjában a KiOR leállította termelő létesítményét, majd csődöt jelentett.

2.4.3 A lignocellulóz biohajtóanyag projektekből levonható következtetések, a célkitűzések függvényében

Kezdetben a biohajtóanyagok főként élelmiszernövényből kerültek előállításra a 2003/30/EK direktívának megfelelően. Hat év elteltével a 2009/28/EK irányelv előírásai enyhé fenntarthatósági korlátozásokat vezettek be, és csak a tíz év elteltével a 2015/1513 irányelv (ILUC) segítségével került hatékonyan szigorításra a korábbi szabályozás. A RED II tervezett bevezetésével azonban a korábban kialakult konvencionális biohajtóanyag iparág kiegészül a fejlett hajtóanyagokat, hulladékból előállított hajtóanyagokat, valamint elektromos energiát előállító iparágak felé. Ez az élelmiszerkonfliktust ugyan kevésbé veszélyezteteti lignocellulóz

melléktermékekre alapozott biohajtóanyag előállítás azonban rendkívül magas befektetési kockázattal jár a még kiforratlan technológia következtében.

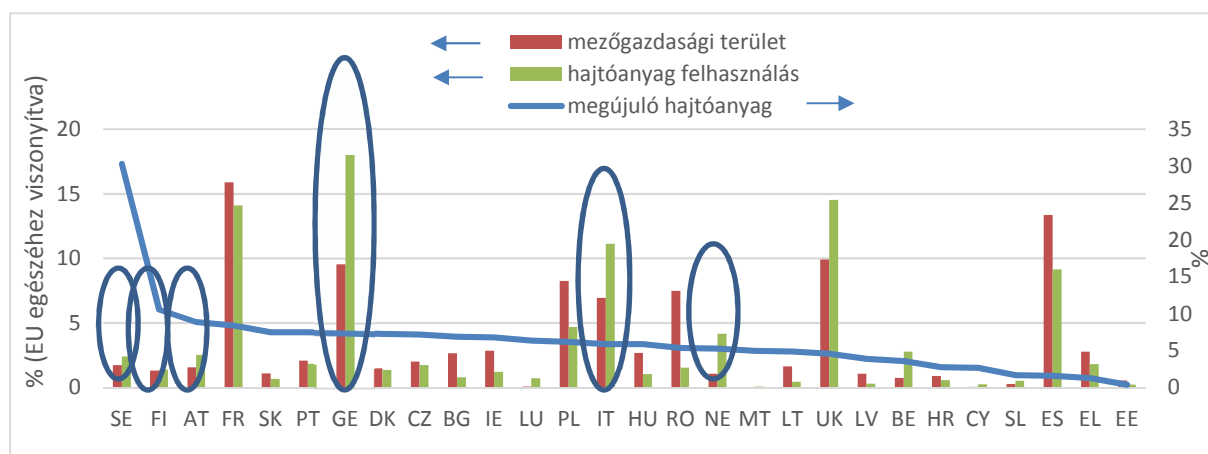
A célkitűzések teljesítése nehézkes, mivel a tagállamok többsége nem érte el még a 2010-re kitűzött 5,75%-os biohajtóanyag részarányt sem az EUROSTAT adatai alapján, lásd a 7. ábrát.



7. ábra: Megújuló hajtóanyag részaránya az EU 28-ban, összevetve az előírások célkitűzéseivel [EUROSTAT adatai alapján saját szerkesztés]

Azokban az EU tagországokban, ahol a megújuló hajtóanyag részaránya nem éri el az ILUC direktíva 7%-os élelmiszer alapú biohajtóanyag határértékét, lehetőség van a konvencionális biohajtóanyag előállítás növelésére. Azonban azok az országok, amelyek a 7%-os megújuló hajtóanyag részarány felett teljesítenek, a meglévő üzeim egy részének bezárására kényszerülnek, vagy a termékeiket exportálják. Ez azonban további energiatüggőséget okoz a tagállamok között és nem pedig a helyi alapanyagok felhasználását ösztönző folyamat.

Az egyes tagállamokra egységes biohajtóanyag szabályozás vonatkozik, amelyet a RED II. valamelyest rugalmassá tesz. A lignocellulóz biohajtóanyagok kutatás-fejlesztése elsősorban azokban az országokban indult meg, ahol a mezőgazdasági területeknek az EU teljes mezőgazdasági területéhez viszonyított részaránya elmarad a hasonlóan vizsgált üzemanyag felhasználás részarányától. Ilyen pl. Hollandia, Olaszország, Németország, Ausztria, lásd 8. ábra.



8. ábra: A lignocellulóz biohajtóanyag fejlesztés meghatározó országai
[EUROSTAT adatai alapján saját szerkesztés]

Összességében az elemzés során nyilvánvalóvá vált, hogy a lignocellulóz biohajtóanyag üzemek kizárólag állami támogatásokkal valósíthatók meg, a magas kockázattal járó technológiai fejlesztést a magán befektetők nem vállalják. Az előállítás gazdaságtalan, a drága alapanyag és a magas energiaigény következtében. A fő problémát az jelenti, hogy az EU szigorú előírásainak teljesítése csak abban az esetben valósítható meg, ha az EU vagy valamilyen központi forrás a kutatásokat és az üzemek telepítését támogatja. A célkitűzések elvárásai meghaladják az előállítási technológia jelenlegi állását, gyors fejlődés azonban nem várható a technológia bonyolultsága miatt. Bár az alapanyag választék bővül a fejlett hajtóanyagok irányába, azonban minden alapanyagfajta eltérő technológiai igényt támaszt, amely mind-mind nagyszámú kutatás-fejlesztéssel valósítható csupán meg. Meglátásom szerint a feladat olyan Európában magas potenciállal rendelkező alapanyagok kiválasztása lenne a feladat, amelyek kiemelt támogatást élveznek, ezzel összpontosítva a mielőbbi gazdaságosan működő technológia elérésére. A fejlett biohajtóanyaggyártás kereskedelmi méretű üzemei elsősorban a faipari vagy éppen papíripari melléktermékekre alapozva valósultak meg és nem erdészeti és mezőgazdasági melléktermékekre.

2.5 A lignocellulóz biohajtóanyag üzemek melléktermék alapú alapanyag potenciálja

A magyarországi biomassza potenciál és hasznosítható mennyisége tekintetében számos becslés megjelent. Magyarország teljes biomassza készlete 350–360 millió tonnára becsülhető, ebből 60-110 millió tonna elsődleges biomassza, amely évente újratermelődik. A mező- és erdőgazdasági melléktermék teljes mennyiségének jelenleg alig 10%-át használjuk fel, a fennmaradó mennyiségre sem a talajerő-visszapótlásnál, sem az állattartásban nincs igény, ipari célokra hasznosítható. Az irodalmi források szerint a ténylegesen hasznosítható mennyiség nagy szórást mutat, 60-417 PJ/év [Fábián-Jóri, 2012; Gyuricza (szerk.), 2014].

Az erdészeti, mezőgazdasági, faipari melléktermékek hasznosításának elősegítésére irányuló programok már megjelentek. Az AGRIFORVALOR projekt (2016-2019) az EU Horizon 2020 programjának támogatásával jött létre. Célja a kutatás-fejlesztési, innovációs szektor és a piaci cégek közti kapcsolat megerősítése erdészeti és mezőgazdasági szereplők bevonásával. A magyar konzorciumi tag, a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft. 132 500 eurót nyert a szektor szereplőinek összefogására. A BZN Kft. mellett még három

magyar partnerintézmény vesz részt a projektben (a NAIK ERTI, a Lavina Alapítvány és a Pilze-Nagy Kft.) [Bay Zoltán AKKN Kft].

2.5.1 Dendromassza alapú melléktermékek

2.5.1.1 Erdészeti melléktermékek

Az erdészeteknél évente 1–1,5 millió t mennyiségű melléktermék, vágástéri apadék keletkezik, melynek begyűjtése főleg a tarvágással érintett területeken lehet gazdaságos. A technológia fejlődésével az utóbbi 10–15 évben a vágástéri apadék korábbi 18–23%-os mennyisége 12–15%-ra csökkent [Bíró, 2012; Molnár-Börcsök, 2009; Molnár, 2013; Cosi, et al., 2011; Szakálosné et al., 2013]. Ez elsősorban a megváltozott fakitermelési technológiáknak köszönhető, ami a termelési apadék csökkenésével jár. A termelési apadék a teljes bruttó fatérfogat 5%-a, ami a tuskóban visszamaradó még használható törzsrész fatömegéből, a döntési hajk elfaragásából származó faveszteségből, fűrészvágások résbőségének fa veszteségből, túlméretekből származó faveszteségből, ferdevágásokból származó faveszteségből, törési és gallyazási faveszteségből és végül a berakásra nem kerülő 0–2 cm-es gallyak fatömegéből tevődik össze. Az utóbbi a termelési apadék 50%-át teszi ki. A 3 cm-es és ennél vastagabb ágrészek az összes fatömegnek már közel a 3%-át teszik ki. Ha a 4 vagy 5 cm vastagságú ágrészeket is hozzáadjuk, akkor a különleges apadék az állománytól függően 10–12%-ra is növekedhet [Gordos, 1969]. A begyűjtés azonban napjainkban csak kevés helyen megoldott. A vékonyfa, azaz az 5 (7) cm átmérő alatti ágak, gallyak, koronarészek összegyűjtése növelheti jelentősebb mértékben az energia-nyerésre kb. 2/3 mennyiségben átadható faanyagot, pl. erdei apríték formájában [Szakálosné et al., 2013]. Ökológiai szempontból a kicsi ágak és levelek eltávolítása sokkal nagyobb veszteséget okoz a terület tápanyagkörforgalmában, mint a fa [Mátyás, 1997].

A vágástéri apríték minősége elsősorban fűtőművi, vagy erőművi felhasználásra alkalmas, mert anyagminősége, különösen homogenitása miatt a kis berendezések adagoló rendszere nem tudja kezelni. Hamutartalma jellemzően nagyobb a faaprítékok szabványban előírt értékénél, de ez nagyban függ a tárolási, aprítási és anyagmozgatási feladatokról, a technológiai fegyelemtől [Gyuricza (szerk.), 2014]. A biohajtóanyag előállítás során mérlegelni kell azt is, hogy a melléktermékek tiszta fánál magasabb hamutartalma nehezíti hasznosításukat.

Az apadék keletkezése decentralizált, begyűjtése nagy élőmunkához kötött [Gyuricza (szerk.), 2014]. A jelenlegi piacon keletkező munkaerőhiány nem teszi lehetővé ezért az intenzív begyűjtést. Az észak-európai országokban, ahol jelentős és nagy területeken történő erdőgazdálkodás folyik, ezen anyagok begyűjtésére speciális célgépeket alkalmaznak. Ezek beruházási költsége nagy, így a magyarországi birtokméretek és termelési rendszerek alapján jelenleg nem terjedt el. Sok esetben vagy a területen hagyják, vagy az összegyűjtést követően a helyszínen eltüzelik. Ökológiai szempontból kedvezőbb megoldás, ha a helyszínen aprítógéppel felaprítják, s a keletkezett aprítékot szétterítik a területen.

Az elmúlt években a fejlesztés az apadékgyűjtés tekintetében Magyarországon is megindult. A speciális erdészeti gépeknek a végtermék szempontjából több módoszata is kialakult. A letermelt biomassa lehet apríték, bálázott, illetve kötegelt formában. Az apríték formájában letermelt biomassa jelenleg a legelterjedtebb, annak gépparkja és technológiai feltételrendszere megoldott. Egyik legnagyobb hátránya, hogy a nedves anyag közvetlenül kerül aprításra, így a

tárolás során jelentősebb veszteségek keletkeznek, valamint a szükséges tárolási idő így hosszabb. Továbbá a laza halmazsűrűségű anyag szállítása és tárolása költségesebb.

A kötegelés esetén maga a köteg a telepi aprítón kerül aprításra. Ezek előnye, hogy az élőnedves faanyagot jól szállítható és tárolható formába rendezi, így a nedvességtartalom csökkenés is intenzívebb, mint az aprítékban történő tárolás esetében. A vágástéri melléktermék energetikai hasznosítása érdekében mobilkötegelőgéppel végeztek biztató kísérleteket a SEFAG Rt. és a PANNONPOWER HOLDING Rt. közösen. A kísérlet eredményeként létrejött kötegelt, és nagy teljesítményű aprítógéppel aprítható faanyag az elvégzett laborvizsgálatok szerint a fával egyenértékű, de az így keletkező termék ára várhatóan a tűzifánál magasabb [WEB 1].

A Nyugat-magyarországi Egyetem Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézetének részvételével került kifejlesztésre egy vágástéri melléktermék és egyéb vékony faanyag, pl. rövid vágásfordulójú energetikai faültetvények faanyagának közelítésére alkalmas erdészeti többcélú munkagép. Mozgatható rakoncái segítségével, a gyűjtéssel, rakodással párhuzamosan a felterhelt vékony faanyag szakaszos tömörítésére is képes, amely ökonómiai szempontból kedvezőbb anyagmozgatást tesz lehetővé [Horváth-Horváth, 2014].

Az erdészeti melléktermékekhez tartozik a tuskók faanyaga, azonban a begyűjtés csak kevés esetben oldható meg gazdaságosan, illetve az ökológiai szempontokat is figyelembe véve. Költséges művelet, ezért csak ott indokolt elvégzése, ahol a termőhely vagy a telepítendő célállomány igényli a forgatást, illetve az alapos mélylazítást [Szakálosné et al., 2013]. Évente 3–5 ezer ha területen végeznek az országban tuskókiemelést, a kiemelt tuskó hasznosítása ellenben nem megoldott [Szabó, 2012]. Továbbá itt is figyelembe kell venni a nagy mennyiségű talajszennyeződést a kérgeken, amely megnehezíti a bioüzemanyag célú hasznosítást.

2.5.1.2 Szőlővenyige és gyümölcsfanyesedék

A szőlő és gyümölcsös ültetvények metszése során viszonylag kisebb mennyiségű melléktermék keletkezik, begyűjtésük az egybefüggő nagyüzemi ültetvényekről valószínűsíthető. Szőlőültetvények esetében az évente keletkező melléktermékek mennyisége nagy szórást mutat, hektáronként évente fajtától függően 1–4 tonna venyige, azaz országosan 150–700 ezer tonna keletkezik. [Hajdú, 2009; Német, 2013], amelynek fűtőértéke viszonylag nagy 17–18 MJ/kg, ezért jól tüzelhető [Hajdú, 2015; Rátonyi, 2013]. A venyige energetikai célú hasznosításának a gépesítése megoldott, ennek ellenére csak kevés helyen foglalkoznak a begyűjtéssel, jelentős részét ma még a szőlészetek helyszínén, a szabadban elégetik. Kisebbségi részét pedig, ahol erre az eszközök rendelkezésre állnak, összezúzzák és a talajba visszaforgatják.

A gyümölcsfák ritkító metszése során évente kevesebb, 4–5 évenként a felújítások során nagyobb mennyiségű nyesedék keletkezik, átlagosan 1–2 t/ha, azaz összesen mintegy 500 ezer tonna éves mennyiséggel lehet kalkulálni. Fűtőértéke a venyigéhez hasonlóan viszonylag nagy, aprítva jól tüzelhető. A száraz körülmények között készített apríték kazalban jól tárolható [Rátonyi, 2013; Juhász, 2006]. Hamutartalma viszonylag nagy, átlagosan 2,7%. Folyamatosan végeznek gazdasági és környezetvédelmi kísérleteket, a begyűjtés technológiájának kidolgozása folyamatban van Nyugat-Európában is [Velazquez-Marti et al., 2011; Németh, 2007].

2.5.1.3 Faipari melléktermékek

Magyarországon az évente mintegy 1,9 millió ha erdővel borított területről kitermelt nettó faanyagterfogat 6,7 millió m³, melyből megközelítőleg 3,2 millió m³ ipari célú, míg 3,5 millió m³ energetikai célú kitermelés folyik [NÉBIH, 2015]. Becslések szerint az évi 3,2 millió m³ ipari fa felhasználás mellett mintegy 2 millió m³, azaz kb. 1 millió tonna másodnyersanyag keletkezik, lásd 5. táblázat.

5. táblázat: Kihozatal és melléktermék arányok főbb faipari ágazatokban, 1 m³ hengeres előfára vetítve [Alpár et al., 2011]

Faipari ágazatok	Termék [%]	Melléktermék [%]
Fűrészipar	50–70	30–50
Faházgyártók	45–55	45–55
Bútoripar	20–45	55–80
Parketta gyártók	30–35	65–70
Építőipar: Ajtó-ablakgyártás	30–45	55–70
Rétegelt lemezgyártás	35–45	55–65
Forgácsotlapgyártás	~95	~5

Az elsődleges fafeldolgozó-ipar, azaz a fűrészipar állítja elő a fűrészipari fatermékeket vagy fűrészárukat, amelyeket a további feldolgozás szempontjából alapanyagnak tekint a másodlagos fafeldolgozó-ipar, vagyis az asztalosüzemek, bútorgyártók és egyéb fafeldolgozók. Közvetlenül ide érkezik be az iparifa nagy része.

Ez alapján becslések szerint a faipari feldolgozás során keletkező melléktermékek mennyisége 0,5–0,7 millió m³, míg a használt termékek („Altholz”) 0,6–0,8 millió m³-t tesznek ki. Ez azt jelenti, hogy 1,3 millió m³ (0,65 millió t) energetikai faforrással számolhatunk e területről [Molnár et al., 2013]. A felületkezelt termékeken kívül hasznosításuk jelenleg megoldott. Becslések szerint mintegy 150 ezer tonna (~300 ezer m³) faalapú csomagolási hulladék is keletkezik évente, amely apríték formájában forgácsotlapgyártás során kiválóan hasznosítható. Magyarországon a Falco Zrt. ennek az ágazatnak a legnagyobb képviselője.

2.5.2 Lágyszárú mezőgazdasági melléktermékek

Magyarország adottságainak köszönhetően a mezőgazdasági melléktermékek potenciálja kiemelkedő. Az energetikai hasznosítás mellett azonban a szalma és szár maradványok az állattartásban és a talaj tápanyag-utánpótlására is hasznosíthatók. Az almozás során megjelenő búza- és árpszalmaszükséglet jelentős, bár az utóbbi években az újabb állattartási technológiák miatt kevesebb alom anyagot hasznosítanak. Aszályos években, mikor a termés nem fedezi az állattartáshoz szükséges mennyiséget, a szalmát is kis mennyiségben tápokhoz keverik. Az energetikailag hasznosítható potenciálnál figyelembe kell venni azt is, hogy a konkurens felhasználók piaca várhatóan bővülni fog. Pécsen már kifejezetten lágyszárú melléktermékek tüzelése folyik, évente 260 ezer tonna alapanyagot felhasználva. Jelentős lehet az agripellet üzemek igénye is a jövőben, azonban napjainkban az éves előállított mennyiség csak 10–15 ezer tonna körül alakul [Papp et al., 2016].

Nagy mennyiségű szabad potenciál a kukorica termesztés során megjelenő szár és csutka maradványokból adódik. Hőenergia nyereség céljából évi akár 8–10 millió tonna mennyiség is hasznosítható [Fábián-Jóri, 2012]. Az utóbbi időben több próbálkozás is történt a Vértes Erőműben a kukoricaszár-bálák tüzelésére, amely száraz körülmények között készült bálákkal sikeresnek bizonyult [Vértes Erőmű, 2014]. A Mátrai erőműnél, Visontán is jelentős évi 100 ezer tonna szalma, kukoricaszár és csutka került felhasználásra [Mátrai Erőmű, 2015]. Emellett a kukoricabetakarítás után visszamaradó kukoricaszár értékes szerves tápanyag a talaj számára – a szárazabb években a szarvasmarhatartásban tömegtakarmány-kiegészítőként betöltött szerepe is jelentős.

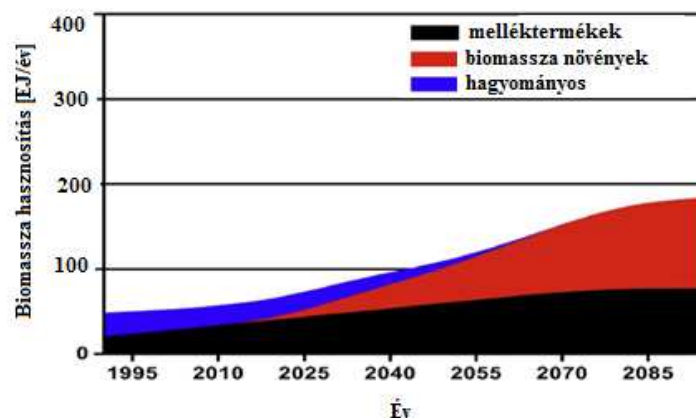
A tüzelésre való hasznosítást azonban a kukoricaszár nagy nedvességtartalma (40–65%-os) nagyon megnehezíti, amely nagyban függ a betakarítás időpontjától és a betakarításkor uralkodó időjárástól [Kocsis-Kelemen, 2011]. A kombájn után a kukoricaszár általában a földön fekvő, megdöntve, sok esetben – a betakarítógépek eltérő nyomtávolsága miatt – megtaposva hever [Farkas, 2016], ezzel nagyfokú az alapanyag szennyezettsége, ami tüzeléstechnikai szempontból károsan magas hamutartalmat eredményez [Agrárágazat, 2013]. Így látható, hogy a kukoricaszár fő meghatározó tényezője a megfelelő betakarítási technológia fejlesztése, hatékonyan csak speciális gépekkel oldható meg.

A másik komoly problémát a tárolás okozza. A kukoricaszár lehet potenciális tüzelőanyag, azonban a késő őszi betakarítás miatt a nagy nedvességtartalom nehezíti a közvetlen felhasználást, a természetes száradáshoz szükséges tárolás viszont a nagy tömeg miatt nem, vagy csak gazdaságtalanul oldható meg [Ádám, 2011]. A bálázással betakarított és szakszerűen tárolt, jó minőségű kukoricaszárat általában az őszi betakarítást, illetve betárolást követő 3–5 hónapon belül, de legkésőbb a tél végéig föl kell használni, mivel a tavasz beköszöntével a felmelegedéssel együtt beindul a nagyfokú penészképződés és romlás is [Farkas, 2016]. Ez korlátozza az alapanyag folyamatos rendszerbe juttathatóságát.

A Gödöllői MGI kutatásaiban foglalkozott a kukoricaszár bálázásával. Vizsgálataik alapján az intenzívebb aprítás következtében a szárrészek vízleadó felülete megnövekszik, és az anyag gyorsabban szárad. A szárzúzók munkája után visszamaradt egyenletes terített renden lévő anyag, még az esetleges megázás utáni 40–60%-os, elsősorban felületi nedvességét 4–6 napsütéses óra alatt leadhatja 25–27%-os nedvességtartalomra [Haszon Agrár, 2010].

2.6 Energetikai célú fás szárú ültetvények, mint biohajtóanyag alapanyagforrások

Az energetikai célú fás szárú ültetvények a 135/2017. (VI.9.) Kormányrendelet szerint szántó művelési ághoz termeszthető növények. A növekvő energiaigények és a fosszilis energiaforrásoktól való kisebb függőség elérésében szerepük a jövőben egyre fokozódik, a hagyományos biomassza energetikai hasznosításával szemben, lásd 9. ábra. A megjelölt energetikai célú biomassza növények a rövid vágásfordulójú energetikai ültetvényeken túl, a rövid vágásfordulóval termesztett energiaerdőket és évelő lágyszárú energianövényeket, pl. energifű, energianád is magukban foglalják.



9. ábra: A bioenergia múltja, jelene és jövője [Speight, 2010]

A Nemzeti Energiastratégia 2030 dokumentum kétpólusú mezőgazdaság létrehozását említi Magyarországon, olyan gazdasági ösztönző- és támogatási rendszer kialakításával, amely lehetővé teszi a biomassza energetikai célú termesztését. Megvalósítása kizárólag a piaci igényeknek és a fenntarthatósági kritériumoknak megfelelően történhet, kerülve az interferenciát az élelmiszer és takarmányozási célú növénytermesztéssel. A cél a lokális adottságokat kihasználó decentralizált biomassza erőművek létrehozása és alapanyag ellátása [NFM, 2014]. A tervezett intenzív ültetvénytelepítés azonban a várttól jócskán elmaradt.

A művelési technológiát illetően Magyarországon az ültetvények nagy többsége sarjzattatásos technológiájú. Ezek előnye, hogy nagy sűrűséggel ültethetők, rövid idő alatt betakaríthatók, ezáltal az egyik leginkább energiahatékony módszerként tartják számon, melyek termesztése komoly szerepet tölt be az üvegházhatású gázkibocsátás csökkentésében [Styles-Jones, 2007; Castaño-Díaz, 2018].

2.6.1 Fás szárú ültetvényekre vonatkozó hatályos jogszabályi háttér és támogatások

135/2017 (VI.9.) Kormányrendelet

A fás szárú energetikai ültetvények telepítésével kapcsolatos, jelenleg hatályos követelményeket és előírásokat a 135/2017. (VI.9.) Kormányrendelet tartalmazza. A kormányrendelet szerint fás szárú ültetvénynek nevezzük

- a legalább 5000 négyzetméter összefüggő területi kiterjedésű,
- a rendeletben meghatározott fás szárú ültetvény telepítésére meghatározott alapfafajok és azok erdészeti és energetikai célra engedélyezett fajtaikból álló,
- legfeljebb 20 évig fenntartott, energetikai hasznosításra szánt hengeres energetikai célú fás szárú ültetvényt,
- energetikai hasznosításra szánt legfeljebb 5 éves vágásfordulóval kezelt sarjzattatásos energetikai célú fás szárú ültetvényt és
- a faipari alapanyag termelését szolgáló ipari célú fás szárú ültetvényt.

Fás szárú ültetvény telepítésére a 135/2017. (VI.9.) Kormányrendelet 1. melléklete szerint használható alapfafajokat a 6. melléklet tartalmazza.

A fás szárú energiaültetvényekre vonatkozó az Európai Mezőgazdasági Garancia Alapból (EMGA) és a Központi Költségvetésből előfinanszírozható közvetlen támogatások típusai az alábbiak:

Egységes területalapú támogatás (SAPS)

Igénybevételére az a termelő jogosult aki/amely a tárgyév június 16. napján jogszerű földhasználattal rendelkezik, továbbá olyan mezőgazdasági területtel rendelkezik

- amelyet mezőgazdasági tevékenység keretében hasznosítanak, vagy
- amelyen nem kizárólag mezőgazdasági célú tevékenységet folytatnak, de amelyet többnyire mezőgazdasági tevékenység keretében hasznosítanak

A SAPS támogatás csak abban az esetben nyújtható, ha a támogatható terület eléri az 1 hektárt. Az igénylési területegységek (tábla) alapján jogcímenként kialakítandó tábla/parcella támogatható területének el kell érnie a 0,25 hektárt. Ugyanarra a bejelentett táblára csak egy egységes területalapú támogatási kérelem alapján fizethető ki támogatás.

A 51/2017. (X. 13.) FM rendelet az egyes agrártámogatások 2017. évi összegeinek megállapításáról rendelkezik. Az 5/2015. (II. 19.) FM rendelet alapján járó egységes területalapú támogatás keretösszege 227 830 155 170 Ft. A támogatható terület nagysága legfeljebb 4 966 738 hektár. A bekezdés szerinti támogatásból 2017. október 16-tól kifizethető előleg mértéke hektáronként legfeljebb 32 110 Ft.

A zöldítés támogatása

2015-től minden gazdálkodó számára kötelező betartani az éghajlat és környezet szempontjából fontos mezőgazdasági gyakorlatokat (zöldítés), aki egységes területalapú támogatásban részesül és a tárgyévben egységes kérelmet nyújt be. Követelményrendszerét a 1307/2013/EU rendelet mellett, a 10/2015. (III.13.) FM rendelet fekteti le. Célja a meglévő környezeti/természeti értékek és az éghajlati adottságok megőrzése. A zöldítés támogatásának összege ~81 euró, azaz mintegy 25 000 Ft hektáronként, amely éves kifizetésű, vissza nem térítendő támogatás. A közvetlen támogatások tekintetében alkalmazni kell a területalapú támogatásokhoz kapcsolódó csökkentés (degresszió) rendszerét, amelyet az 5/2015. (II.19.) FM rendelet szabályoz. Abban az esetben, ha a SAPS éves összege meghaladja a 150 000 eurót, akkor 5%-os elvonást kell alkalmazni az ezt meghaladó támogatásokra, 176 000 euró SAPS támogatás felett, a SAPS támogatás teljes mértékben elvonásra kerül, lásd 6. táblázat.

6. táblázat: A zöldítés és a SAPS támogatási összegei [NAK, 2018]

A gazdaság egységes kérelme alapján megállapított SAPS támogatás (€)	A gazdaság egységes kérelme alapján támogatásra megállapított összterülete (ha)	SAPS összeg (€/ha)	A SAPS elvonás (degresszió) mértéke (%)	A hektáronkénti SAPS mértéke (%)	A hektáronkénti zöldítés mértéke (%)
≤150.000	~1048 hektárig	~143 €/ha	0%	100%	100% (~81€)
150.001–176.000	~1048–~1230 ha között	~136 €/ha	5%	95%	100% (~81€)
>176.000	~1230 ha felett	0 €/ha	100%	0%	100% (~81€)

A támogatás keretösszege 125 milliárd Ft, a támogatható terület nagysága legfeljebb 4,9 millió hektár. A támogatásból 2017. október 16-tól kifizethető előleg mértéke hektáronként legfeljebb 17 643 Ft.

Az előírások három gyakorlatot fogalmaznak meg, melyeket teljesíteni kell a zöldítés kifizetéséhez. Ebből az egyik, hogy a 15 hektár fölötti szántón gazdálkodóknak a szántóterületük 5%-ának megfelelő kiterjedésű ökológiai célterülettel kell rendelkezniük, ezeket a területeket EFA (ecological focus area) területeknek is hívjuk. Rövid rotációs idejű fás szárú energetikai ültetvény abban az esetben számolható el EFA területként, amennyiben azon nem használnak műtrágyát és növény-védőszert és csak a jogszabályban megfogalmazott 10 fafajból állhat.

2.6.2 Ültetvények energetikai és ökológiai szerepe

Az EU-ban a közelmúltban jelentős szerepet kapott a különböző fás szárú növényi és faipari melléktermékek tüzelési célú energetikai hasznosítása. Az olyan mezőgazdasági melléktermékek, mint a szalma, részei lehetnek az állati takarmánykeveréknek, és így közvetetten kapcsolódhatnak az élelmiszerláncához [Mohr-Raman, 2013]. Továbbá a talaj szerves szénttartalmát hátrányosan befolyásolja a szalma nagymértékű kivonása a termőföldről. [Thornley et al., 2009]. Így az egyre bővülő lignocellulóz bázisú energiatermelés alapanyagigénye a melléktermékek korlátozott mennyisége és hasznosíthatósága miatt egy idő után már csak a termesztett növényekkel elégíthető ki [Marosvölgyi, 2008]. A centralizált üzemek nagy alapanyagigénye csak az agrár-, ipar- és energiapolitika megfelelő összehangolásával valósítható meg.

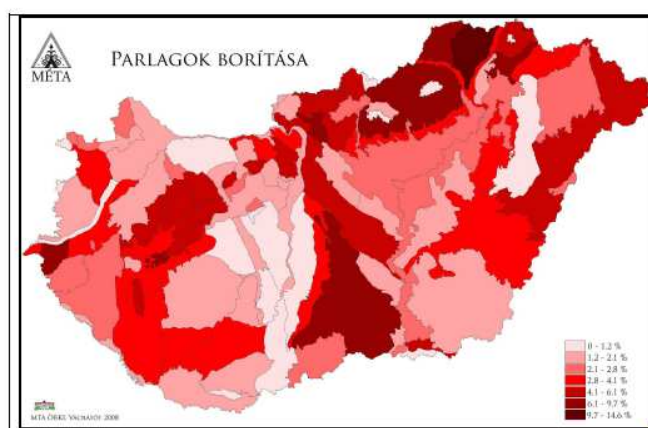
A fás energetikai ültetvények telepítése komoly szerepet játszhat az energiaszegénység mérséklésében és a vidéki lakosság foglalkoztatásában [Mentes-Szemmelveisz, 2018; Mohr-Raman, 2013; Gyuricza, 2007]. Különösen igaz ez a nem egybefüggő parlagterületek esetében. A pár hektárnál nagyobb, üzemszerűen működtetett rövid vágásfordulójú energetikai faültetvény állományokban már kizárólag gépekkel érdemes végezni a betakarításokat, mivel a gépek hatékonysága ilyen körülmények között jobb, mint az élőlombké [Marosvölgyi, 2002].

A biomassza energetikai hasznosításának három szakaszát különböztetjük meg, mint termesztés, betakarítás és előkészítés az energetikai hasznosításra, majd a tényleges hasznosítás [Marosvölgyi, 2002]. Az alapanyag energetikai hasznosíthatóságának komplex vizsgálatát a teljes élelciklusra érdemes elvégezni.

A rövid vágásfordulójú energetikai ültetvények termesztése során számos talajökológiai előnnyel rendelkeznek, amely az erodált helyeken is várhatóan 3-5 éven belül kimutathatóvá válik [Mann et al., 2002; Pellegrino et al., 2011]. A hagyományos mezőgazdasági növénytermesztéshez képest a megemelkedett mennyiségű szervesanyag talajba juttatása révén csökkentik az eróziós potenciált és javítják a tápanyagfelvételt, emellett szén kerül a légkörből, amely aztán a talajban kötésbe kerül. Számos irodalmi forrás említi, hogy Magyarországon megfelelő fafaj megválasztásával és gondos talajelőkészítés után, lehetőség van a gyenge minőségű mezőgazdasági területeken fás energetikai ültetvények telepítésére [Bakti, 2016], azonban gazdaságosságuk nem biztosítható [Molnár-Böröcsök, 2009]. Ilyenek például az aszály, árvíz súlytotta területek, a sekély termőréteggel rendelkező elhagyott parlagterületek, az erózióra, deflációra hajlamos területek [Gyuricza (szerk.), 2014; Führer et

al., 2008; Szajkó et al., 2009]. Ezen túlmenően, kutatások bizonyítják, hogy a rövid vágásfordulójú energetikai ültetvények telepítésére a rekultiválásra váró bányászati területek, valamint a vörösiszap szennyezés után kármentesített területek is alkalmasak [Kovács, 2010; Drzewiecka, 2012; Bungarta-Hüttl, 2001]. Ezeken a területeken egyes vélemények szerint a nyár és akác ültetvények hozama 3–4 t/ha/év alatt is alakulhat, míg más kutatások bizonyítják, hogy eléri, sőt meghaladják az átlaghozamokat, a megfelelő fafaj megválasztásával [Jung-Gergely, 2011; Heil et al., 2017; Bergante et al., 2014; Blanco-Canqui, 2016]. A felhagyott mezőgazdasági területek újra termelésbe vonása csökkenti a még érintetlen ökoszisztémákra gyakorolt nyomást, javíthatja a biológiai sokféleséget és a vízminőséget a nitrogéntartalmú műtrágyák és a peszticidek bevitelének csökkentett követelménye miatt [Karp et al., 2009; MacDonald et al., 2000].

A parlagon fekvő mezőgazdasági földek és rekultiválásra váró területek pontos elhelyezkedése Európában ismeretlen, azonban fokozott érdeklődés mutatkozik kiterjedésük és elhelyezkedésük regisztrálására. Magyarországon egyetlen komolyabb vizsgálat történt a MÉTA felmérés által 2007–2008 között, eredményeik szerint akkor 350 ezer ha, 2–50 év közötti parlag volt Magyarországon, lásd 10. ábra.



10. ábra: A parlagok mennyisége vegetációtíjanként [Molnár et al., 2008]

Tájszinten vizsgálva nagy arányban borítják parlagok a homokvidékeket, ártéri területeket, a Bakony környékét és az Észak-Magyarországon található dombvidékeket. Kicsi a parlagok borítási aránya a löszhátakon, a Kisalföldön, a Dunántúl domb- és hegyvidékei. Mára ennél kevesebb maradt az élelmiszerárak világméretű növekedése, valamint az Európai Unió támogatási rendszere miatt. 2016 júniusában az ország területének 47%-át művelték szántóterületként, amely mintegy 3 ezer hektárral haladta meg az egy évvel korábbi értéket [KSH, 2016].

Ösztönző lehet a szántóföldi gazdálkodásra Európában az éghajlatváltozási célkitűzések következtében kialakuló növekvő biohajtóanyag-alapanyag iránti kereslet is. Továbbá az EU éghajlatváltozási és energiacsomagja keretében megvalósuló tehermegosztási intézkedés előírja, hogy a 2020-as szén-dioxid-kibocsátáscsökkentési célkitűzések eléréséhez szükséges kibocsátáscsökkentés 10%-ának olyan forrásokból kell származnia, amelyek nem vesznek részt az EU kibocsátáskereskedelmi rendszerében (ETS). Ide tartozik a földhasználat is [Keenleyside-Tucker, 2010]. Eléréséhez a szántóföldi növénytermesztési gyakorlatok megváltoztatására, valamint csökkentett talajművelésre, esetleg évelő növények termesztésére

és a felszínborítás növelésére van szükség. További ösztönző lehet, hogy a RED II előírása szerint kicsi kockázatot jelentenek a közvetett földhasználatváltozás tekintetében a korábban nem hasznosított mezőgazdasági területek termesztett alapanyagok.

A talajfelszínre, illetve a talajba két forrásból kerülhet nagyobb mennyiségű szerves anyag és azon keresztül a szén: egyrészt levelek évenkénti hullása révén, másrészt a gyökérszétből.

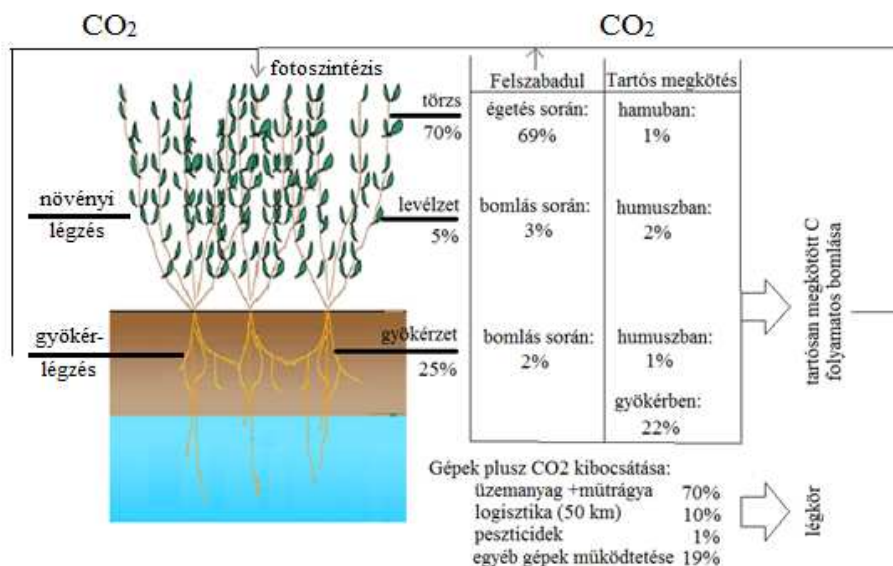
Az évente keletkező lombhullás mennyisége irodalmi források szerint átlagosan 1–5 t/ha [Verwijst-Makeschin, 1996; Boman-Turnbull, 1997]. Az avarösszetétel a megnövekedett C/N arány és lignintartalom következtében a hagyományos szántóföldi kultúrákhoz képest lassabb bomlási sebességgel rendelkezik, ami 8–9 hónap alatt zajlik le [Stefanovits et al., 1999]. Bonthatóságuk a C/N arány alapján az alábbiak szerint sorolható be [Mátyás, 1997]:

- C/N 12–25: könnyen bomlók: akác, nyár
- C/N 25–40: közepesen bomlók: fűz.

Az avar szén megkötésének és a talaj mikrobiális aktivitásának emelkedéséhez vezet, csökkenti az állományban a víz felületi lefolyását és fokozza a beszivárgást a talajba, ezzel javítva a vízgazdálkodást. A lombtömegnek a hozamban betöltött szerepe is rendkívül nagy. A lombtömeg mennyisége függ a növény életkorától, továbbá szoros kapcsolatban van a felszíni fahozam mennyiségével [Ibity, 1955; Fontana et al., 2018]. A lombos fák életük első szakaszában rendkívül gyorsan növekednek, miközben asszimiláló felületük abszolút nagysága kicsi. Később a növekedési ütemük fokozatosan csökken, az asszimiláló tömegük ellenben egyre nő [Radó, 1997]. Hazai vizsgálatok arra utalnak, hogy legalább az átlagnövedék maximumának eléréséig a lombfáknál a korral növekszik az alom mennyisége [Járó, 1958], ezáltal a talajba jutott szén mennyisége.

A gyökérszétből származó C-tartalom is jelentős, évente 1–3 t/ha-t is elérheti. Rövid vágásfordulójú fűz energetikai ültetvény esetében a gyökerek a teljes biomassza kb. 12%-át teszik ki, azonban a talaj magasabb tápanyag szintjénél kisebb mértékű is lehet a gyökértermelés. De arra is vannak példák, hogy a földalatti rendszer tömege akár egyenlő is lehet a föld feletti biomassza tömeggel [Rytter-Hanson, 1996]. A gyökérszét fő tömegét a finomgyökérszét adja, amely akár 60%-át is kiteheti a teljes gyökérszétnek, a talaj 0–60 cm-es mélységében helyezkedik el [Zan, 1998; Rytter-Hanson, 1996; Lettens et al., 2003]. Irodalmi adatok alapján a gyökérszét karbon tartalma 30–45% közötti [Samson et al., 1999; Al Afas et al., 2008]. A talajba kerülő növényi maradványok szerves-C tartalmának túlnyomó része, mintegy 2/3-a CO₂-dá oxidálódik és visszakerül a levegőbe, s csak közel 1/3-a marad a talajban, elsősorban humuszanyagok formájában. Ugyanakkor megjegyzendő, hogy az energetikai ültetvények széntároló képessége az erdőkétől elmarad [Boman-Turnbull, 1997], viszont a szénmegkötés hatékonyabb a magasabb évenkénti hektáronkénti biomasszahozam következtében [Abrahamson et al., 1998; Liberloo et al., 2004].

A dendromassza termesztése és energetikai hasznosítása a köztudattal ellentétben nem alkot zárt karbon-ciklust, mivel a termesztés és az energetikai hasznosítás során felszabaduló és megkötésre kerülő CO₂ az energianövények termesztése és hasznosítása során alkalmazott gépek által kibocsátott káros anyagokkal is kiegészül [Barótfi, 2009; Kazai, 2008; Johnson, 2008; Lettens et al., 2003]. Összességében azonban karbonnegatívnak tekinthető, ha azzal valamely kedvezőtlenebb CO₂ emisszióval rendelkező fosszilis tüzelőanyagot váltunk ki [Lukács, 1989]. A fás szárú energetikai ültetvények karbonkörforgalmát a 11. ábra mutatja be.



11. ábra: Fás szárú energetikai ültetvény karbon körfolyamata [Szalay, 2012]

A kívánt hozamok eléréséhez az energianövény termesztésének megfelelő talajvédelemmel együtt kell történnie, mert a gyors növekedésű fajok kimeríthetik a talaj erőforrásait [Rénes, 2008]. Gyengébb minőségű talajon történő termesztésük során különösen fontos a nitrogén trágyázás [Robertson et al., 2008; Loch-Nosticzius, 2004]. Az energetikai ültetvények tápanyag felvétele a hagyományos lágyszárú szántóföldi növények által felvett tápanyag mennyiségével összevetve nem tekinthető kiemelkedőnek, de a sokévi egyoldalú tápanyagfelvétel miatt fontos odafigyelni a rendszeres visszapótlásra [Gyuricza (szerk.), 2014]. A növények a talaj összes nitrogéntartalmának csak tört részét képző szerves formákat tudják hasznosítani, a levegő nitrogénje csak közvetve, a mikroszervezetek közreműködésével válik hozzáférhetővé. Vannak azonban növények, ide tartozik az akác is, amelyek hatékonyan meg tudják kötni a levegő nitrogénjét, a gyökereiken élő nitrogéngyűjtő baktériumok segítségével. Ezáltal évente mintegy 50 kg/ha nitrogén mennyiséggel gazdagítják a talaj tápanyagkészletét [Tamás-Blaskó, 2008].

Energetikai szempontból a fa tulajdonságai közül négy összetevő az, amely meghatározó: a sűrűség, a fűtőérték, a nedvességtartalom, valamint a hamu mennyisége és annak alkotói [Tóth et al., 2007]. A hamutartalmat elősorban a kéregtartalom és annak szennyezettsége határozza meg. A tiszta fa általában viszonylag alacsony hamutartalmú 1% alatti, a teljes fa kéreggel 1,5–3,5%, míg a vonszolva közelített fa kérge 6,0–14% közötti [Marosvölgyi-Ivelics, 2004]. A keménylombos fa gallyanyaga (apadék) 2,3–3,5%, míg faültetvényről származó nemesnyáré 0,9–3,2% [Barkóczy-Ivelics, 2008]. A fás szárú növények hamujában található K, Si tartalom kisebb, a Ca, Mg tartalom nagyobb, mint a lágyszárú lignocellulózoké. Az utóbbiak a hamuolvadás pontját megemelik, az előbbieket pedig lecsökkentik [Barkóczy-Ivelics, 2008]. A faanyag abszolút száraz sűrűségének ismerete lehetővé teszi a fűtőérték fatérfogatra történő átszámítását. E jellemző meghatározása elősegíti a tüzelőberendezés és az anyagmozgatási rendszer megfelelő kialakítását. A sűrűség energetikai ültetvények esetében jóval alacsonyabb, mint erdei fáknál, a korral általában növekedést mutat [Komán et al., 2010].

A nedvességtartalom erősen befolyásolja az energetikai hasznosítást. A víz párolgása révén hőt von el, ezzel csökkentve a hasznosítható energiát. A nedvességtartalom függ a fafajtól, a farész

korától, a vegetációs időszaktól, a kitermelést követő tárolástól stb. Fák esetében a nedvességtartalom élőnedvesen 40–50 (60)%, amely fél egy éves szakszerű tárolással 20-35%-ra csökkenthető [Ivelics, 2006]. A fűtőértéket a nedvességtartalmon kívül erősen meghatározza a törzs karbontartalma, valamint a kéregtartalom. A kéreg lignin tartalma, nagyobb fűtőértéket eredményez [Stevanovic Janezic et al., 1995]. Ugyanakkor a kéreg nedvessége körülbelül 20–25%-kal nagyobb, mint a fa nedvességtartalma, ami tüzeléstechnikai szempontból így nem jelent előnyt [Dibdiakova-Vadla, 2012].

Az energetikai ültetvények jellemző paramétereire az irodalmi források rendkívül eltérő adatokat mutatnak, lásd 7. táblázat. Oka, hogy ezeket a tulajdonságokat rendkívül sok paraméter befolyásolja, mint a vizsgált fajtája, egyed kora, a termőhelye, időjárás, termesztési technológia stb. [Thomas-Martin, 2012].

7. táblázat: Az alkalmazott fafajok átlagos hozama és a törzs karbontartalma
[Ivelics, 2006; Hajdú, 2009; Führer et al., 2008; Buzás, 2006; Singh-Lodhiyal, 2009; Yin et al., 2012; Fang et al., 2007; Stolarsky, 2008; Quinkenstein et al. 2012; Heil et al., 2017; Gyuricza, 2010; Czupy-Vágvölgyi, 2011; Tamás-Blaskó, 2008]

	Salix Spp.	Populus Spp.	Robinia pseudoa.	Erdei fafajok
Törzs átl. C tart. [%]	50,6	46,2–50,1	46,4–49,0	49,65*
Hozam [$t_{asz}/ha/év$]	12–17	7–15	7–12	2,5
Fűtőérték [MJ/kg]	18,2–22,0	19,4–19,8	19,0	18,8–21,1
Hamutartalom	1–2	2,5–3,10	2,4	1–1,7
Sűrűség [kg/m^3]	0,380	0,422–0,481	0,531–0,631	0,98–1,0

*Állandó viszonyszám

3 Célkitűzések

Napjainkban a biomassa energetikai hasznosítása egyre szélesebb körben jelenik meg, mivel fontos eszköze az üvegházhatás csökkentésének. Az élelmiszerkonfliktus elkerülése érdekében az új jogszabályok a melléktermékekből történő biohajtóanyag előállítását ösztönzik. A technológia fejlesztése folyamatban van, azonban az alapanyag fenntartható ellátása kevésbé kutatott témakör Magyarországon. Disszertációm egyik célja ezért az erdészeti és mezőgazdasági melléktermékek, mint lignocellulóz biohajtóanyag alapanyag rendelkezésre állásának vizsgálata. Magyarországon elsősorban a közvetlen tüzelési célú biomassa potenciál becslésére vannak országos eredmények, amelyek erős szórást mutatnak. A konkurens felhasználók és ökológiai szempontok figyelembe vételével megyei bontásban elkészített potenciálbecslés a jövőben tervezett üzemek technológiájának megválasztását és elhelyezését segíti. Választ ad arra a kérdésre, szükség van-e további alapanyagok rendszerbe iktatására.

A különböző fás és lágyszárú melléktermékek eltérő területi intenzitással jelennek meg. A begyűjtési és szállítási igények minimalizálása mind energetikai, mind ökológiai és mind gazdasági érdek. Célul tűztem ki a különböző gyártási technológiák fenntartható ellátásához alkalmazható alapanyagok gyűjtőterületeinek összehasonlítását, azok valós környezetre történő kiterjesztésével. A klímaváltozás hatásai már napjainkban is érzékelhető, így figyelembe vétele elkerülhetetlen mind a potenciálbecslés, mind az alapanyaglábnym vizsgálata során.

A Kyotói Jegyzőkönyv az egyes országok számára a nettó üvegházhatású gáz kibocsátás korlátozását írja elő, amely a bruttó kibocsátás és a szénlekötés különbsége. Mértéke azáltal is csökkenthető, ha a szénlekötés nagyobb mint a bruttó szénkibocsátás. Az erdei biomassa elégetése nyomán napjainkban felszabaduló szén-dioxidot csak hosszú távon, évtizedek, de némely esetben évszázadok alatt tudja a vegetáció felhasználni. Az erdők hosszú ciklusú növekedése révén ezért inkább a szénmegkötésben lehet elsődleges szerepe. A rövid vágásfordulójú ültetvények esetében azonban a rövid szén ciklusnak köszönhetően az energetikai hasznosítás során felszabaduló szén a vágásforduló időtartalmától függően, de maximum öt év alatt ismét teljes mértékben kötésbe hozható. A fás szárú energetikai ültetvények vékony faanyagának közvetlen tüzeléssel történő hasznosítása már széles körben elterjedt. Biohajtóanyag célú hasznosíthatóságát a 2.3 technológiát ismertető fejezetben megfogalmazott kritériumok miatt vizsgálni szükséges, amelyet terepi és energetikai laboratóriumi mérésekkel kívánok megvalósítani.

A rövid vágásfordulójú fás szárú energetikai ültetvények telepítésére lehetőség van jelenleg nem hasznosított mezőgazdasági területeken, ahol a talajba juttatott és megkötött szén segítségével csökkenthető a szektor karbonkibocsátása. A fás szárú energetikai ültetvények talajjavításban és karbon megkötésében játszott szerepe irodalmi források szerint jelentős, amelyben a lomboszat az egyik fő meghatározó tényező. Magyarországon lombtömeg vizsgálatokra nem találtam példát, így a három magyarországi köztermesztésben leggyakrabban előforduló fajta (fűz, nyár, akác) esetében, különböző vágásfordulók alkalmazása mellett fontosnak találtam elvégezni. Ismeretében kiegészítve a gyökértömeg és fahozam adatokkal meghatározható az ültetvény által lekötött szénmennyiség. Energetikai hasznosításuk teljes szénmérlegét tekintve azonban a termesztés, szállítás és feldolgozás során alkalmazott gépek CO₂ kibocsátása miatt karbonnegatív folyamat. Céljaim között szerepelt az energetikai ültetvényekre alapozott biohajtóanyag felhasználás teljes életciklusára vonatkozó szénmérleg felállítása, a fosszilis hajtóanyag kiváltásával elérhető kibocsátás megtakarítás

meghatározása.

Az elvégzett vizsgálatok a megalapozott döntéshozás egyik szükséges alappilléret képezik, hiszen a fejlett hajtóanyagokat előállító gyárak magas beruházási költséggel, az üzemeltetéshez szükséges magas energiaigénnyel, ugyanakkor a konvencionális biohajtóanyag-gyártáshoz képest kisebb előállítási hatékonysággal rendelkeznek. Ezért indokolt a hosszú távú stratégiai tervek megalapozása.

4. Anyag és módszer

Munkám során terepi vizsgálatokat és laboratóriumi méréseket végeztem a komplex eredmények nyérése érdekében.

4.1 Szakirodalmi adatok és Statisztikai Hivatalok adatainak feldolgozása, kiértékelése

A kutatási terv alapján kijelölt célkitűzéseimnek megfelelően összegyűjtöttem és feltártam a hazai és a nemzetközi szakirodalomban fellelhető nyomtatott és elektronikus forrásokat, szakkönyveket, folyóiratcikkeket, jogszabályokat, doktori disszertációkat, szabadalmi leiratokat és kutatási jelentéseket, valamint a biohajtóanyag üzemek honlapjait.

Több esetben használtam fel a statisztikai hivatalok adatait, mint kiinduló adatot. Vizsgáltam a biohajtóanyag részarány jogszabályi kötelezettségeinek teljesítési lehetőségeit az Európai Unió országaira, melyhez az Eurostat statisztikai információit vettem figyelembe. Az élelmiszernövény alapú hajtóanyag alapanyaglábnym célú vizsgálata során komplex elemzést valósítottam meg három országra vonatkozóan, melyhez az Eurostat, a Központi Statisztikai Hivatal és a General Statistic Office of Viet Nam adatait vettem alapul. A fás szárú energetikai ültetvényekkel kapcsolatos nyilvántartással a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (NÉBIH) Erdészeti Igazgatóságát kerestem meg.

4.2 Alapanyagbázis felmérés Magyarországon

Erdészeti apadék számításaimhoz kiindulásként a KSH 2013-as erdőgazdálkodás jellemzői statisztikai tükör megyei fahasználat adatait alkalmaztam. Majd ezt a fakitermelés 2016 évi erdőmérleg adattáblája alapján frissítettem és hoztam létre a megyénkénti, fafajonkénti bruttó kitermelt fatérfogatot. Az apadék mennyiségét átlagosan 17%-kal érdemes számolni, a bruttó kitermelt fatérfogathoz viszonyítva. Nagyobb mennyiségben apadék csak azokon a területeken gyűjthető be gazdaságosan, ahol a véghasználaton belül tarvágást hajtottak végre, 2016-ban átlagosan 47%-ban az országban. Ezt a típusú betakarítást a NÉBIH 2016-os fahasználati adataiból nyertem ki. A tarvágások során végrehajtott véghasználatok 3–5 (7) cm közötti vékonyfa része gyűjthető be technikailag és ökológiai szempontokat szem előtt tartva, amely a teljes fatömeg 12%-át adja. Az adatokat élőnedves állapotban adtam meg, ahol 50%-os nedvességtartalmat feltételeztem. A m³ tonna átszámításánál pedig a 2016-os erdőmérleg adattábla alapján az országban elvégzett tarvágásos véghasználatnál nyert fajok fatömegeinek arányát vettem alapul és ezt szoroztam az adott fajokra jellemző sűrűség értékekkel.

A tuskómennyiség felmérése során az apadéknál leírtak szerint számítottam a megyei fahasználat adatokat. Majd a NÉBIH erdőleltár Megyénkénti Élőfakészlet Fafajcsoport és Aktuális erdőtársulás csoport táblázata szerint meghatároztam az akác, nemesnyaras, erdeifenyves területeket, majd ezek bruttó fatérfogatát mértem fel. Akác esetében a tuskó a föld feletti fatömeg 15–25%-át, nyár és fenyő esetében 10–20%-át adja [Szakálosné et al., 2013].

A szőlővenyige és gyümölcsfanyesedék potenciálbecslésének alapjául a KSH 2017-es évre vonatkozó Földterület művelési ágak szerint megnevezésű táblát használtam. A KSH módszertana alapján a szőlőültetvény fogalomkörébe a szaporítóanyag előállítás céljából művelt területek is bele tartoznak. Szőlőültetvények esetében hektáronként évente fajtától függően 1–2,5 tonna venyige keletkezik, átlagosan 1,5 t/ha-al kalkuláltam. A gyümölcsfák

ritkító metszése során évente kisebb, 4–5 évenként a felújítások során nagyobb mennyiségű nyesedék keletkezik. Átlagban évente 2,5 t/ha mennyiséggel számolhatunk. Mivel a melléktermékek gazdaságosan csak a nagyobb egybefüggő területtel rendelkező gazdaságoknál gyűjthető be termelékenyen, így ennek megfelelően csupán a 3 ha feletti egybefüggő gazdaságok területarányának megfelelően begyűjthető mennyiségeket vettem figyelembe. Számításaimhoz a szőlő és gyümölcsös ültetvények KSH 2005-ös és 2007-es összeírása során készült nagyságkategóriák szerinti bontását használtam.

Mivel a fás szárú energetikai ültetvények is potenciális lignocellulóz biohajtóanyag alapanyagot képeznek, így ezek felmérését is elvégeztem, amelyet a NÉBIH Erdészeti Igazgatósága által szolgáltatott 2018-as adatok alapján készítettem el.

A dendromassza alapanyagokra vonatkozó jellemzőket a 8. táblázatban foglaltam össze.

8. táblázat: Dendromassza alapanyagok jellemzői

Megnevezés	Keletkező melléktermék	Fűtőérték 15–20 (w%) [MJ/kg]
Erdészeti apadék	12%	14–15
Szőlővenyige	1,5 t/ha	14,5–15
Gyümölcsfa nyesedék	2,5 t/ha	14,5–15,5
Energetikai ültetvények faanyaga	10 t _{asz} /ha	18

Összehasonlításként elvégeztem a szántóföldi lágyszárú növénytermesztés melléktermékeinek felmérését. A számolások alapját a különböző egyéves mezőgazdasági növények betakarított területének meghatározása képezte, melyet a KSH 2018-as adattáblái alapján végeztem el. A vetésforgó miatt évente változik ennek a területnek a nagysága, így öt éves átlagokat vettem figyelembe (2013–2017).

A melléktermékek tömegének meghatározása a főtermék tömege alapján lehetséges. A főtermékek hektáronkénti hozamát szintén a KSH 2018-ban közreadott adatai alapján gyűjtöttem ki. A termésingadozás miatt az elmúlt 5 évre (2013–2017) számított átlagokat használtam. A főtermék és melléktermék arányára vonatkozóan irodalmi adatokat gyűjtöttem és azok segítségével határoztam meg a melléktermékek mennyiségét. A táblázatot a 7. mellékletben helyeztem el.

Elméleti biomassa potenciál:

A vizsgált növénytípusokból évente keletkező biomassa mennyiségének energiatartalma (PJ/év). Az elméleti biomassa potenciál számítását az alábbi módon végeztem:

Erdészeti apadék esetében megyénként

$$E_e = \frac{V_{br} * a * k * F}{10^6}$$

ahol,

E_e – elméleti biomassa potenciál (PJ/év)

V_{br} – megyei fahasználat bruttó fatérfogata ($m^3/év$)

a – növény főtermékhez viszonyított apadékhozama (~17%)

k – m^3 -ből tonna átváltás során adódó átlagos szorzótényező (országos átl. ~0,6 asz. fára)

F – alapanyag melléktermékének fűtőértéke (MJ/kg).

Lágyszárú melléktermékek esetében

$$E_e = \frac{\sum_n T_n f_n m_n F_n}{10^6}$$

ahol,

E_e – elméleti biomassa potenciál (PJ/év)

T_n – n típusú növény termesztőterületének 5 éves átlaga (ha)

f_n – n típusú növény főtermék hozamának 5 éves átlaga ($t/ha \cdot év$)

m_n – n típusú növény főtermékhez viszonyított melléktermék hozamának aránya

F_n – n típusú növény melléktermékének fűtőértéke (MJ/kg).

Energetikai biomassa potenciál

Az a ténylegesen energetikai célokra hasznosítható biomassa mennyiség, amely meghatározása során figyelembe vettem a különböző fenntarthatósági és környezetvédelmi érdekeket, valamint a konkurens felhasználók által igényelt biomassa mennyiséget. Mezőgazdaság esetében a szár tömegének 20–30%-át lenne optimális talajjavítás céljából a talajba visszajuttatni [EBTP, 2013; Kline, 2010]. Erdészeti apadék esetében termelékenyen a 3-5 cm (~12%) közötti vékonyfa gyűjthető be termelékenyen a tarvágások során [Szakálosné et al., 2013]. Tarvágással történő fahasználat a teljes kitermelt bruttó országos fatérfogat 47%-ban történt 2016-ban a KSH OSAP 1254 adatgyűjtése szerint.

4.3 Alapanyag lábnyom vizsgálat

Az alapanyag lábnyom (Base Material Footprint BMF) fogalom egységnyi energiatartalmú biohajtóanyag alapanyagigényének elméleti begyűjtési területét adja meg. Elméleti begyűjtési terület esetében feltételezzük, hogy az adott területen kizárólag az alapanyagként alkalmazott növényt termesztik.

$$BMF = \frac{\frac{BM}{Y}}{BF * F}$$

ahol

BMF – alapanyag lábnyom (ha/GJ)

BM – üzem alapanyag igénye (t)

BF – termelt biohajtóanyag (t)

Y – alapanyag hozama a szükséges nedveségtartalomnál (t/ha) 5 évre vonatkoztatott medián

F – a termelt biohajtóanyag fűtőértéke (MJ/kg)

Vizsgálataimat három ország esetében is elvégeztem, öt biohajtóanyag típusra, négy mezőgazdasági főtermékre, valamint három melléktermékként keletkező magas lignocellulóz tartalmú alapanyagra, lásd 9. táblázat. Az alapanyagok terméshozamát az adatok rendelkezésre állásától függően az utóbbi 7 illetve 10 év helyzeti középérték számításával határoztam meg, ezzel a kiugró értékeket igyekeztem tompítani a minél realisabb hozam adatok megállapításához. Az erdészeti apadék esetében a Beszámoló az erdősítésekről és a fakitermelésekről a 2016. évben OSAP tábla alapján határoztam meg a tarvágással kitermelt erdők bruttó fajlagos hektáronkénti hozamából.

9. táblázat: A vizsgált alapanyagok hozamainak összehasonlítása [Eurostat, 2018; GSOVN, 2018; Vágvolgyi, 2014]

Biohajtóanyag	Alkalmazott technológia	Alapanyag	Hozam [t/ha/év]
1. generációs bioetanol	nagy cukor és keményítő tartalmú növények fermentációja	kukorica (GER)	9,7 ^a
		kukorica (HUN)	6,4 ^a
		kukorica (VIE)	4,3 ^a
		manióka (VIE)	17,6 ^a
1. generációs biodízel	növényi olajok és állati zsiradékok észterezése	repce (GER)	3,9 ^b
		repce (HUN)	2,7 ^b
		szójabab (VIE)	14,5 ^b
2. generációs bioetanol és bioolaj	lignocellulóz biomassa enzimatis hidrolízise és pirolízise	kukoricaszár (GER)	3,9 ^{ac}
		kukoricaszár (HUN)	2,6 ^{ac}
		rizsszalma (VIE)	4,8 ^{ac}
		erdészeti apadék (HUN)	7,7 ^c
		Rövid vágásf. energ. ültetvény (HUN)	10,0 ^c

^a medián 2007-2016; ^b medián 2010-2016; ^c szárazanyag

Az alapanyag folyamatos rendelkezésre állását is elemeztem, az üzemek fenntartható alapanyag ellátásának érdekében. A terméshozam fluktuációját az elmúlt 7, 10 évre vonatkozóan a helyzeti középértékekhez viszonyítva számoltam, majd abszolút értékben adtam meg.

A kukorica és az apadék esetében az elméleti területekre vonatkozó adatokat valós környezetre is kiterjesztettem. Vizsgálataimat kukorica esetében Magyarország kettő 50 km sugarú körzetében végeztem el GIS technika segítségével. A körzetek középpontja Százhalombatta és

Tiszaújváros volt. A körzetek teljes területe 785 000 ha, amelyből mintegy 10,5%-on folyik kukoricatermesztés, ez az érték a teljes ország területét nézve átlagosnak tekinthető. Erdészeti apadék esetében a különböző véghasználati módszereket is vizsgáltam, mint tarvágás, felújítógátás, szálalógátás, amelyhez a hektáronkénti bruttó fatérfogat adatokat a Beszámoló az erdősítésekről és a fakitermelésekről a 2016. évben OSAP táblát vettem alapul. Valós környezet esetében a Pilisi Parkerdő Zrt. területét és véghasználati adatait vettem figyelembe. A választott társaság esetében a tarvágásos üzemmód jóval az országos átlag alatt marad, de a jövő várható erdőfelújítási módszereit jól követi.

A kihozatali értékek és az üzemek alapanyagigénye esetében igyekeztem már kereskedelmi méretekben működő üzemek kihozatali adatait figyelembe venni, amennyiben ez nem állt rendelkezésre kísérleti eredményeket használtam az irodalomból.

4.4 Földrajzi információs rendszer (GIS) alkalmazása

Annak érdekében, hogy minél pontosabb képet kapjunk egy gyors és olcsó megoldással a térségben rendelkezésre álló kukoricatermesztés során keletkező alapanyagbázisról, a műholdas felvételek Digiterra program általi kiértékelésével kezdtünk el foglalkozni. Mivel a cél egyben az is volt, hogy összehasonlíthassuk az adatok pontosságát a KSH-tól kapott adatokkal, ezért igyekeztünk ahhoz közeli időpontban készült felvételeket kiértékelni. Arra az időszakra a Landsat 7 műhold felvételei voltak ingyenesen elérhetők és letölthetők kutatási célokra. A felhőborítottság miatt elsősorban a 2011-es évre tudtunk kiértékelhető műholdfelvételeket beszerezni. 2013 óta a Landsat 8 képei is elérhetőek, amelyek már sokkal jobb képet adnak.

A módszer lényege, hogy a különböző növénykultúrák eltérő hullámhosszú sugárzást reflektálnak, ami a virágzási időszakban különösen jó megkülönböztetési lehetőséget kínál. Ezek alapján határoljuk le a területeket, és a programban korrekciókat végzünk, a Landsat 7 műhold meghibásodása miatt a felvételeken megjelenő vékony fekete sávokra. A felvételekből általában 16 naponta áll rendelkezésünkre adat, így egy területen megfigyelhető a növények csírázásától az aratásig terjedő teljes vegetációs időszak. A teljes vegetációs időszak figyelembe vétele azért fontos, mert a felvételek alapján a hasonló színű növénykultúrák, mint például a kukorica, vagy cukorrépa csak nehezen elkülöníthetők. A növények termőterületének pontos behatároláshoz referencia területek beszerzésére van szükség, amely alapján a felvételek osztályozhatók.

4.5 Terepi vizsgálatok

4.5.1 Vizsgálati helyszín és a mintanövények bemutatása

A méréseket az ERTI Bajti Kísérleti Telepén végeztem, amelyen 2007 áprilisában 3,00 m-es sortávolságú 0,40 m-es tőtávolságú hálózatban, 3 ismétlésben, 65 sorban, soronként 100 egyed került ültetésre. A három különböző parcellában az egyes sorokban különböző klónok kerültek telepítésre, 53 nemesnyár, 6 feketenyár, 4 fehérfűz, 1 kosárkötő fűz klón, valamint akác. Az energetikai ültetvényt sarjaztatásos technológiával művelik. A 2,4 hektáros 3 parcellás véletlen blokk elrendezését kísérletben az I., a II., és a III. blokkot is vizsgáltam.

A területet 2007/2008 telén jelentős vadkár érte, így 2008 év elején a második és harmadik ismétlés a tervezett idő előtt betakarításra került. Ettől kezdve minden évben a három parcellán felváltva a három éves sarjak kerülnek letermelésre. Az ültetvény előnye, hogy egyazon területen azonos talaj és klimatikus viszonyok között több fafaj, illetve fajta is megtalálható, a betakarítástól számított első, második, harmadik vegetációs évben, lásd 12. ábra. Ezáltal kiváló összehasonlítási lehetőségem nyílt a különböző fafajok és klónok hozamára, lombtömegére, dendrometriai és energetikai jellemzőire vonatkozóan.

A vizsgálati terület gyertyános-tölgyes klímában lévő, többletvízhatástól független, középmedy termőrétegű, agyagos vályog fizikai féleségű öntés erdőtalaj. A területen tápanyagutánpótlás, illetve dugványozást követő beöntözés nem történt.



12. ábra: ERTI Bajti kísérleti ültetvénye, a vizsgálatok helyszíne

Terepi vizsgálataimhoz négy széles körben elterjedt, köztermesztésben lévő fajtát választottam ki. A cél az volt, hogy egy magyar és egy külföldi nemesítésű nyárfajta, egy akác és egy fűz legyen a vizsgáltak között. Az ERTI előzetes becslései szerint a vizsgált területen a legmagasabb hozammal rendelkező fajtákat választottam ki. Ezentúl másodlagos szempontként figyelembe vettem, hogy melyek ezek közül a Magyarországon leginkább széles körben alkalmazott fajták.

A vizsgálatba vont fajták:

- *Populus x euramericana* 'I-214'
- *Populus x euramericana* 'Koltay'
- *Robinia pseudoacacia*
- *Salix alba* 'Drávamenti'

A vizsgálatba vont fajták termőhelyi és talajigényeit, növekedési jellemzőit összefoglaló táblázatot a 9. mellékletben helyeztem el.

4.5.2 Meteorológiai adatok összesítése

A vizsgálati időszakra meteorológiai adatsort is figyelembe vettem, hiszen annak komoly szerepe van a hozamvizsgálatokban és a lombtömeg alakulásában. Mivel a terület lakott területtől kívül esik, így nem állt módomban helyi meteorológiai méréseket folytatni. Azonban Sárvár településen mért adatokat sikerült a MetNet magyar időjárási portálon keresztül begyűjtenem, majd ezeket Walter-Lieth klímadiagramban ábrázoltam a www.zivatar.hu oldalon található szolgáltatás segítségével. A diagram célja egy-egy mérőhely átlagos hőmérsékleti és csapadékviszonyainak ismertetése.

4.5.3 Dendrometriai felvételezések és hozamvizsgálatok

A mintaterület kísérleti ültetvény, ahol egyéb méréseket is folytatnak az ERTI munkatársai. Így a vizsgálataimat a 4 vizsgált fajtánál 3 különböző korban (1., 2., 3., vegetációs ciklusban) lévő tövek esetében 4-szeres, esetenként 5-szörös ismételtsben végeztem el, a mintatövek véletlenszerűen kerültek kiválasztásra. A sarjak eltávolítása a földfelszín felett ~10 cm-es magasságban történt, a gyakorlatnak megfelelően. A mérések kivitelezésére 2013-as év vegetációs időszakában került sor.

A terepi mérések során vizsgáltam az egy tőhöz tartozó sarjszámot. Az egyes sarjak tömegét élőnedves állapotban digitális halmérleg segítségével, dekagramm pontossággal, míg a tőátmérőt, valamint az 1,3 m magasságban felvételezett mellmagassági átmérőt digitális tolómérő segítségével, tized mm-es pontossággal vizsgáltam. Ezentúl mértem a sarjak magasságát mm-es pontossággal.

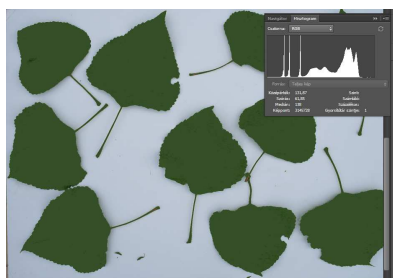
Az egyes fajok/fajták hektáronkénti biomassa hozamát a mintatövek súlyának ismeretében az ültetési hálózat figyelembe vételével határoztam meg, amely során t/ha/év értéket kaptam élőnedves állapotban vizsgálva. Az egy dekagrammnál kisebb súllyal és az 50 cm-nél kisebb magassággal rendelkező sarjakat a hozamvizsgálatok során nem vettem figyelembe. A mintatöveket megmintáztam, majd a minták nedvességtartalmát laboratóriumi körülmények között határoztam meg.

4.5.4 Lombtömeggel kapcsolatos vizsgálatok

A lombtömeggel kapcsolatos vizsgálatokra a 2013-as évben júliustól szeptemberig tartó hónapokban került sor, amikor a levelek már teljes méretükben és tömegükben jelen voltak, de a lombhullás még nem kezdődött meg. A dendrometriai felvételezések során betakarított tövek leveleit sarjanként begyűjtöttem és halmérleg segítségével élőnedves állapotban dekagramm pontossággal mértem. Ezt követően laboratóriumi körülmények között határoztam meg a lomb nedvességtartalmát. További vizsgálatokhoz a véletlenszerűen kiválasztott leveleket A3-as méretű lapra (297×420 mm, 0,1250 m²) terítettem ki, majd a kiterített levelekről digitális fényképezőgép segítségével felvételt készítettem. Az utóbbit minden tő esetében legalább 3 sarjra elvégeztem. A kapott terepi és laboratóriumi adatok segítségével meghatároztam a levél:fatömeg arányt (LWR), amely a növény összes levelének száraztömege (LW) és a fa száraztömege (W) közötti arány. Számítása a következő képlettel történt:

$$LWR = \frac{LW}{W}$$

A terepi felvételezés során készített levél felvételeket Adobe Photoshop CS6 képszerkesztő program segítségével elemeztem, lásd 13. ábra. Meghatároztam a levélzet által elfoglalt pixelek számát, majd ezt a lap teljes ismert területén található pixelek számával vettem össze, végül aránypárral határoztam meg a lapon lévő levelek által elfoglalt területet.



13. ábra: Adobe Photoshop CS6 program segítségével elvégzett levélterület meghatározás

A lapra fektetett leveleket sarjanként zacskóztam, majd laboratóriumban nedvességtartalmat és szárazanyagtartalmat mértem. Ennek ismeretében az egyes sarjhoz tartozó lombzat atro tömegének ismeretében kiszámítottam a sarjhoz tartozó lombfelületet.

4.5.5 Alaki vizsgálat, sűrűség és a kéreghányad megállapítása

Az alaki vizsgálatokhoz, a sűrűség és kéreghányad megállapításához egy újabb mintavételezésre került sor 2013. december–2014. január hónapokban, amikor a tényleges betakarítás ideje is esedékes, hiszen ebben az időszakban a legkisebb a száraz nedvességtartalma. Ezzel biztosítottam, hogy minél valósabb képet kapjak a kéreg és a fatest arányáról. Mind a négy fafajból/fajtából három éves korban egy-egy átlagos növekedésű tő került kivágásra, amelyek sarjait 50 cm-ként kb. 1 cm magas próbatesttel mintáztam, továbbá minden esetben az 1,3 m-es mellmagasságban is. A sűrűség számításokhoz meghatároztam először a mintakorongok térfogatát, feltételezve, hogy ezek alakja leginkább csonkakúpnak felel meg, majd meghatároztam a sűrűséget.

$$\rho = \frac{m}{\frac{h \cdot \pi (R^2 + R \cdot r + r^2)}{3}} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

ahol

m – abszolút száraz fatömeg [g]

h – csonkakúp magassága [cm]

R – alapkör sugara [cm]

r – fedőkör sugara [cm]

A kéreg esetében a csonkakúp alapkörének (D) és fedőkörének (d) átmérőjét határoztam meg, majd vettem ezek átlagát:

$$d_{\text{átl}} = \frac{D+d}{2} \text{ [cm].}$$

Ezután megmértem a korongokhoz tartozó kéreg és fatest absz. száraz tömegét, majd megkaptam az egyes átmérőkhöz tartozó jellemző tömegszázalékokat az alábbi képlet alkalmazásával:

$$\text{kéreg } m\% = \frac{m_k}{m_{kfa}} \cdot 100 \text{ [%]}$$

ahol

kéreg m% – tömegszázalékban kifejezett kéreghányad abszolút száraz fára vonatkoztatva

m_k – kéreg abszolút száraz tömege

m_{kfa} – kérges fa abszolút száraz tömege.

A kapott adatokat osztályoztam az átmérő szerint, majd a lombtömeg vizsgálatokhoz és dendrometriai mérésekhez kivágott 3 egymást követő vegetációs évben lévő sarjakra alkalmaztam, ezáltal nagyobb elemszámot elérve. Minden esetben a töátmérőtől indultam ki és adtam össze a csúcsig a próbakorongokra jellemző kéreg és kérges fa tömegeket, majd ezekből számoltam a sarjra jellemző kéregszázalékot. Végül a sarjak tömegével súlyozva kaptam meg a fafajra jellemző kéreghányadot, ugyanis a fa/kéreg arány a vékony ágakban fajlagosan nagyobb, mint a törzs vastagabb részein.

4.6 Laboratóriumi vizsgálatok

A vizsgálatokhoz begyűjtött fa-, és levélmintákat a laboratóriumi vizsgálatig műanyagzacskóban és hűtőtárolóban tároltam és szállítottam, hogy a kiszáradást elkerüljem. A laboratóriumi méréseket az EMKI energetikai laboratóriumában végeztem el. Mindegyik vizsgálatnál 5-szörös ismétlést alkalmaztam, majd az öt értékből határoztam meg az átlagokat.

4.6.1 Nedvességtartalom vizsgálat

A laboratóriumi mérések során az analitikai nedvességtartalom került meghatározásra, amely általában 105 °C-on eltávolított nedvességtartalom. A fa nedvességtartalma elsősorban a faanyag jellemzőitől, porozitásától, a levegő páratartalmától és a hőmérséklettől függ. A szilárd biotüzelőanyagok nedvességtartalmának meghatározását MSZ EN ISO 18134-1:2016 szabványsorozat írja le. A vizsgálatokhoz alkalmazott automatikus nedvességmérő típusa BOECO SMO 01.

A mérés során a fa- és a lombmintákat a műszer mintatartó tányérjába helyeztem, majd 105 °C-on tömegállandóságig szárítottam a műszerbe épített fűtőszál segítségével. A szárítás előtt és után mért tömegértékek ismeretében meghatározható a minta nedvességtartalma az alábbi képlettel:

$$u = (m_n - m_0) / m_0 \cdot 100 [\%]$$

ahol

u – a minta nedvességtartalma

m_n – a nedves minta tömege,

m_0 – az abszolút száraz minta tömege.

4.6.2 Fűtőérték vizsgálat

Az égéshő, vagy felső fűtőérték egységnyi mennyiségű tüzelőanyag tökéletes égése során felszabaduló hőmennyiség, ha az égéstermékeket a kiindulási hőmérsékletre hűtjük vissza. Laboratóriumi körülmények között ezt az értéket a legkönnyebb megmérni, az energetikailag jelentősebb alsó fűtőérték ebből számítható. Értékét úgy kapjuk meg, ha az anyag égéshőjéből kivonjuk a gőzként távozó vízmennyiség párolgáshőjét.

Az általam alkalmazott, IKA 2000C típusú bombakaloriméter automata mérőműszer, amely izoperibolikus és dinamikus üzemmódú mérésre is alkalmas, lásd 14. ábra. A vizsgálatot az MSZ EN 14918 szabvány alapján végeztem el. A műszer pontossága 0,05%–0,1%.

A bombakaloriméter működésének lényege, hogy sűrített oxigén atmoszférában égés következik be meghatározott körülmények mellett. A mérés során a feltáráredénybe RADWAG

WAX 220 típusú analitikai mérlegen bemért, megfelelően előkészített, aprított és szárított tüzelőanyag mintát helyeztem. A műszerhez kapcsolt fűtő-hűtő berendezés a hűtővizet a beállított hőmérsékletre fűti, és állandó értéken tartja, eközben a légmentesen záró kaloriferbombát oxigénnel tölti fel az automatika. A bemért minta ezután kerül meggyújtásra és oxigén dús közegben végbemegy a tökéletes égés, melynek hőmérséklet változását a hűtőközegen keresztül a számítógép rögzíti. A folyamat során a számítógépbe megadható a vizsgált anyag tömege és nedvességtartalma, melynek ismeretében megkapjuk az égéshőt és kiszámítható a korrigált fűtőérték.



14. ábra: IKA C-2000 típusú automata kaloriméter

A vizsgálat során a műszer segítségével közvetlenül az égéshő értékét kapjuk meg. A fűtőérték számítását ezt követően a következő képlet segítségével lehet meghatározni.

$$F = \dot{E} - 24,49278 (9H + U) \text{ [kJ/kg]}$$

ahol

F – vizsgált anyag fűtőértéke

$\dot{E}$ – vizsgált anyag égéshője (kaloriméter segítségével mért érték)

U – a vizsgált anyag bruttó nedvességtartalma (nedves minták esetében az összes nedvesség, száraz minták esetében „0”) [m/m %]

H – a vizsgált anyag éghető hidrogéntartalma (meghatározása az MSZ 24000/11) [~6 m/m %]-

4.6.3 Hamutartalom vizsgálat

A biohajtóanyag előállítás esetében az egyik meghatározó tényező a hamutartalom, amely az alapanyag szervesetlen alkotóinak és szennyezőinek mennyiségét jelzi és azon keresztül az előállítási folyamat hatékonyságát csökkenti.

Vizsgálataimat a Höker Kft. LS-12 típusú izzítókemencében végeztem el az MSZ EN ISO 18122:2016 szabvány követelményei szerint, lásd 15. ábra. A mérés során a teljes fa és külön a tiszta kéreg hamutartalmát is meghatároztam háromszoros ismételéssel. Irodalmi adatok alapján tüzeléskor a hamutartalom 80–85%-a a kéregből származik [Molnár-Bariska, 2002]



15. ábra: Laboratóriumi izzítókemence

A mérés során meghatároztam az aprított minták nedvességtartalmát, majd analitikai mérleg segítségével a tömegét abszolút száraz állapotban. A mintákat hőálló csészékbe tettem, majd az izzító kemencébe helyeztem. A mérés végén a hamu tömegét ismét analitikai mérlegen mértem le. Végül a hamutartalmat a következő képlet segítségével határoztam meg:

$$AS = m_o / m_1 \cdot 100 [\%]$$

ahol

AS – hamutartalom,

m_1 – a száraz minta tömege

m_o – hamu tömege.

4.6.4 Elemtartalom meghatározás

A levélminták szén-, nitrogén- és kén-tartalmának meghatározása a Soproni Egyetem Környezet- és Földtudományi Intézetének laboratóriumában történt Elementar varioMAX CNS elemanalizátor segítségével, lásd 16. ábra. A levelek az őszi hónapokban kerültek begyűjtésre, amikor a tápanyagok visszaraktározása a faanyagba megtörtént.



16. ábra: Elementar varioMax CNS elemanalizátor

A kvantitatív CNS analízis alapja a minta magas hőmérsékletű feltárása. A gáz halmazállapotú reakciótermékek keverékét a készülék, tisztítás után komponenseire választja szét, majd ezt követően TCD (hővezetőképesség) detektorral méri. A mintákból 80-100 mg-ot mértünk be egy kerámiatégelybe, wolfram-oxid katalizátort adtunk hozzá, így kerül a kemencébe, ahol 1140 °C-on történik az égés. A direkt oxigén injektálás, a katalizátor alkalmazása és az optimalizált időprogram biztosítja a tökéletes égést. A gáz halmazállapotú reakciótermékek – a nitrogén-oxidok – N-né történő redukciója után – hélium vivógáz áramban dinamikus szétválasztásra kerülnek. A nitrogén közvetlenül a hővezetőképesség detektorra kerül, miközben a CO₂ és a SO₂ specifikus adszorpciós tölteteken megkötődik. Amikor egy komponens mérése befejeződött, automatikusan megtörténik a következő komponens termikus

deszorpciója és detektálása. A detektorjelek integrálásra kerülnek és a szoftverben tárolt kalibrációs görbék alapján megtörténik az elemtartalom számítása.

4.6.5 Tüzelőanyag minőségi index

A fás biomassa minőségi paramétereinek osztályozására a tüzelőanyag minőségi index (fuel quality index FVI) az egyik lehetséges módszer, amelyet eredetileg Goel és Behl (1996) dolgozott ki. Ivelics (2006) szerint az energiafa értékelő index Magyarországon is alkalmazható képlete a következő:

$$FVI = \frac{F \cdot G}{AC \cdot WC}$$

ahol

F – az energiafa főtőértéke (KJ/g)

G – az energiafa sűrűsége (g/cm³)

AC – az energiafa hamutartalma (g/g)

WC – az energiafa víztartalma (g/g).

Az FVI index alapján értékelni lehet az egyes energiafa féleségeket, illetve a szilárd biomasszát az erőművek, köztük a pirolitikus eljárásokat alkalmazó biohajtóanyag üzemek számára is.

4.7 Statisztikai elemzések

4.7.1 Telítési-függvények alkalmazása

A lombtömeg roncsolásmentes meghatározásához kifejlesztett módszer esetében a terepi mérések során nyert adatok statisztikai szempontú kiértékelését a STATISTICA 13.1 szoftverrel végeztem.

A természetben előforduló különböző folyamatok vizsgálata során nyert, egy független és egy függőváltozós adatsorokra regressziós eljárással matematikai függvények illeszthetők, melyek meghatározzák a folyamatok törvényszerűségét. Több esetben végeztek kutatásokat rövid vágásfordulóú energetikai ültetvényeken töátmérő segítségével történő hozambecslésre, amelyek általában valamely nem-lineáris regressziós eljárás alapján alapultak [Ivelics, 2006; van Bussel, 2006; Vágvolgyi, 2014]. Lombtömeg meghatározásra hasonló eljárást nem végeztek.

Az adatsorok által meghatározott pontok grafikus szemlélete alapján mód van megfelelő illesztendő függvény vagy függvények kiválasztására. A helyes döntést alapvetően a számítógépes regressziós eljárás végrehajtása során nyert 1-hez legközelebb álló korrelációs együttható (R) indokolhatja, amellett, hogy a kiválasztott függvény nyert paraméterei a valóságnak megfelelően értelmezhetők legyenek [Csanády et al., 2013].

Az adatsor előzetes áttekintése és grafikus ábrázolása után megállapítottam, hogy a függvény illesztéséhez telítési vagy más néven korlátos növekedési-függvény alkalmazása a célszerű, amely az idő múlásával növekvő és felső korláttal rendelkező mennyiségek időbeli alakulásának leírására szolgálnak. Az 'S' alakú grafikonnal rendelkező szigmoid függvények szimmetrikus viselkedést mutatnak az induló- és a megállapodó tartományban. Van egy monoton felfutási szakaszuk, egy középső, lassú változást mutató szakasz, majd egy, a konstans növekedést megközelítő, egyre lassuló újabb monoton növekvő szakasz következik.

Több típusú növekedési függvény létezik, melyek közül a mért értékekre az Avrami féle telítési függvény illeszkedett a legszorosabban. A matematikai alak:

$$y = a(1 - e^{-(bx)^c}) + d$$

A Statistica 13.1 programban alkalmazott alak:

$$var2 = b3 * \left(1 - \exp\left(-1 * ((b2 * var1)^{b1})\right)\right) + b0$$

ahol

- var1 és var 2 változók,
- b1 és b2 alaki tényezők a függvényre nézve
- b3+b0 az elért legnagyobb érték
- b0 kezdő érték.

A korreláció-analízis során mindig két változó mennyiség közötti kapcsolatot vizsgáltam. A független változónak minden esetben a lombtömeget vettem, míg függő változónak a sarjtömeget, a tőátmérőt, a mellmagassági átmérőt és a sarjmagasságot. A korreláció analízist 4 fajtára (Koltay, I-214, akác, fűz) és 3 különböző vegetációs évben lévő egyedekre (1, 2, 3) végeztem el. A vizsgálataim során kiválasztottam a legmagasabb korrelációs együtthatóval rendelkező összefüggést és meghatároztam az összefüggésre felírható telítődési függvény egyenletét, amely segítségével becsülhető az adott tőátmérőhöz tartozó lombtömeg mennyisége.

4.7.2 Karbonkörforgalom vizsgálat

A mérlegek felírását terepi mérésekre és laboratóriumi vizsgálatok eredményeire alapoztam, de a mérleg komponenseinek sokrétűségére való tekintettel bizonyos adatok esetében az ERTI-től kapott szakirodalmi adatokra hagytam, amelyek egy kutatóprojekt keretében a vizsgált ültetvényen korábban meghatározásra került, pl. gyökértömeg és a sarjak karbontartalom eredményei.

Az energetikai ültetvények természetes C körforgalma az ültetvény 20 éves élettartama alatt az alábbi egyenlettel írható fel. Számításaim során átlagértékkel számoltam, eltekintettem attól, hogy az egyes vágásfordulók során a hozam változik, általában termesztési technológiától függően a 2. vagy a 3. rotációban érik el a maximumot [Borovics, 2008; Dobos et al., 2006]

$$T_{C_{inp}} = T_{C_{out}} = \frac{20}{n} (C_{L1-n} + C_D) + 20C_G r + C_G \text{ [t/ha]}$$

ahol

C_L – évente keletkező lombtömeg C tartalma

C_G – gyökérzet C tartalma

r – szorzótényező, a gyökérzet évente megújuló részének C tartalma

C_D – dendromassza C tartalma

n – vágásforduló.

Az energetikai ültetvények alapanyagát hasznosító pirolitikus eljárás alapuló biohajtóanyag előállítás során felszabaduló szén mennyisége egységnyi energiatartalomra kifejezve az alábbi egyenlettel írható le:

$$C_{outp} = \frac{T_{Cinp} + T_{Coutp} + C_T + C_M + C_F}{\frac{20}{n} * m_D * Y * F} \quad [\text{g/MJ}]$$

C_T – gépek által kibocsátott szén mennyisége (termesztés, betakarítás, szállítás, aprítás, szárítás)

C_M – műtrágya gyártás során felszabaduló C mennyisége

C_F – bioolaj további finomítása során felszabaduló C mennyiség

m_D – dendromassza tömege

Y – biohajtóanyag kihozatal

n – vágásforduló

F – fűtőérték.

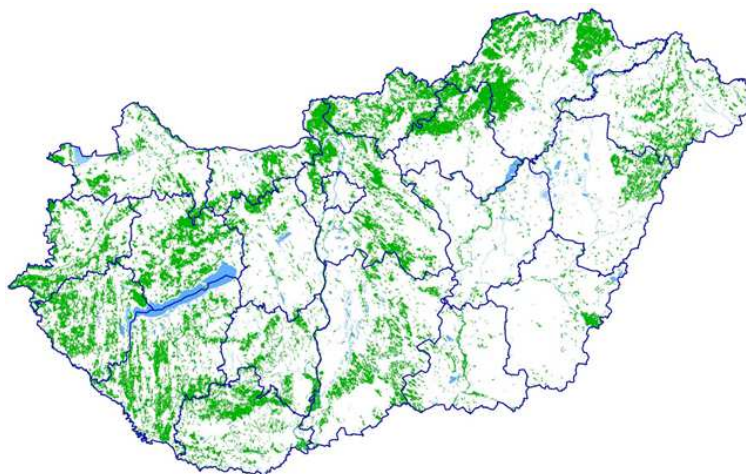
5 Eredmények és értékelésük

5.1 A potenciál vizsgálatok eredményei és értékelésük

A biomassa rendelkezésre állása fontos kérdés a biohajtóanyag-ipar számára. A beruházás kockázatainak csökkentése érdekében érdemes hosszú távú szerződésekkel biztosítani a folyamatos alapanyagellátást. A melléktermékek lehetővé teszik a biohajtóanyag termelést további mezőgazdasági területigény nélkül, azonban meg kell vizsgálni, hogy ezeknek az anyagoknak milyen a rendelkezésre állása, van-e szükség további kiegészítő alapanyagok, pl. kifejezetten energetikai célra termesztett növények előállítására az igények kielégítéséhez.

5.1.1 Vágástéri apadék

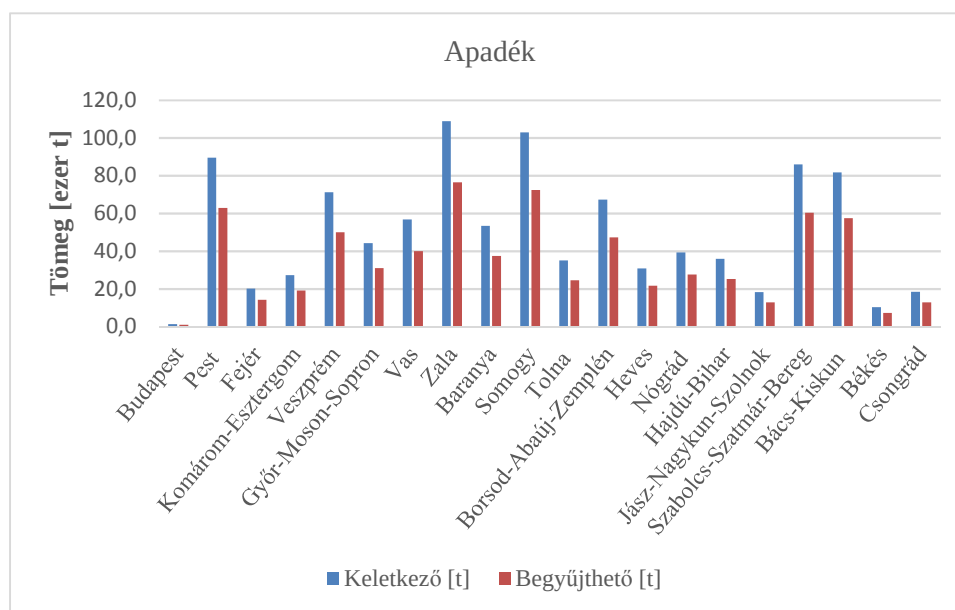
2016-ban 7,3 millió bruttó m³ fakitermelés történt az országban. Kiterjedt erdőterületek az országban koncentráltan helyezkednek el. Nagy kiterjedésű erdők, Észak-Magyarország és Dél-Dunántúl dombvidéki és hegyvidéki területein helyezkednek el. Megyék szerint osztályozva a legnagyobb erdőterület Borsod-Abaúj-Zemplén megyében található (217 ezer hektár), amely az ország erdőterületének 11%-át teszi ki. Somogy, Bács-Kiskun, Zala és Pest megyék szintén jelentős erdőterületekkel rendelkeznek, amint az a 17. ábrán látható.



17. ábra: Magyarországi erdőterületek kiterjedése a Corine Land Cover (CLC) felszínborítási térkép alapján

A legnagyobb területet a lombhullató fajok foglalják el. A lucfenyők (*Picea abies*) az elmúlt évek nagymértékű károsodása miatt egyre kisebb területtel rendelkeznek. A kitermelés során a fafaj összetételt vizsgálva az akác (*Robinia pseudoacacia*) részaránya a legnagyobb, de a nyararak, a tölgyesek és bükkösök kitermelése is jelentős, amelyet a fenyők követnek, éppen a károsodás miatti nagyarányú kényszerkitermelése okán.

Az apadék alakulása csökkenő tendenciát mutat a megváltozott fakitermelési technológiáknak köszönhetően. Míg nemrég még 20%-os hasznosítható apadék mennyiséget feltételeztek a számítások során, addig napjainkban csak 17% keletkező mennyiséggel érdemes számolni. Annak is csak egy része, a 3–5 cm közötti vékonyfa gyűjthető be termelékeny módon. Összességében a bruttó fatérfogat 12%-ának begyűjtésével érdemes számolni. Ennek ismeretében a módszertani fejezetben bemutatottak szerint meghatároztam a keletkező és energetikai célokra begyűjthető apadék mennyiségét megyei bontásban, lásd 18. ábra.



18. ábra: Keletkező és begyújthető apadék mennyisége megyei bontásban

A kitermelt bruttó országos fatérforrás 47%-a került tarvágással betakarításra 2016-ban. A fahasználati mennyiségek utolsó öt éves időszakát vizsgálva megállapítható, hogy mind a fakitermelés, mind a tarvágás az országban enyhén csökkenést mutat. A két meghatározó erdőgazdálkodói szektor az Erdőgazdaság Zrt.-k és a magánszektor. Az apadék biohajtóanyag célra történő kinyerése a magánszektorban kisebb eséllyel végezhető, a vékonyfa begyűjtése a lakosság számára, saját részre történik. Továbbá az elaprózott magánerdőkben gyakran hiányzik az együttműködés, a szakmai háttér és az infrastruktúra a gazdálkodáshoz, így a magasfokú gépesítés nem megvalósítható.

Az apadék begyűjtésére elsősorban az erdőgazdálkodóknál mutatkozik lehetőség. Nagyobb mennyiségben ott is csak azokon a területeken érdemes kalkulálni vele, ahol a véghasználaton belül tarvágást hajtottak végre. Átlagosan az országban a hegyvidékeken kisebb, míg a domb és síkvidékeken nagyobb ennek a mértéke [Lett-Stark, 2017]. Az utóbbi években egyre jelentősebb hangsúlyt kapnak a folyamatos erdőborítást biztosító módszerek, amelyek esetén egybefüggő vágásterület nem keletkezik. Ezek közé tartozik a szálaló, az átalakító és a faanyagtermelést nem szolgáló üzemmód [NÉBIH, 2015]. Ezek az apadék begyűjtését nagyobb költségfordítással, ökológiai behatással teszik lehetővé.

Összességében elmondható, hogy országosan évente közel 1 millió tonna apadék keletkezik, élőnedves állapotban számítva, amelyből a technikai és ökológiai szempontokat is figyelembe véve mintegy 700 ezer tonna gyűjthető be. Hasznosítása esetén mintegy 7,7 PJ energiát nyerhetünk. Amennyiben a fahasználati módok közül csak a tarvágást vesszük figyelembe akkor a vágásterületi apadékból nyerhető hasznosítható energia kevesebb, mint a fele. Kiemelkedő mennyiségű apadékkal Zala, Somogy, Pest, Szabolcs-Szatmár-Bereg és Bács-Kiskun megye rendelkezik.

Általánosan megállapítható, hogy a melléktermékként keletkező faanyagot csak részben gyűjtik össze, amelyet leggyakrabban erőművek, kisebb mennyiségben fűtőművek, kazánok, pellet- és brikettgyárak számára értékesítenek. A jelenleg hasznosított mennyiségről eltérő információk

állnak rendelkezésre, ennek egyik oka, hogy a legnagyobb begyűjtők és felvásárlók (Hepik, Lillygreen, Falco stb.) a melléktermékek egy részét külföldi erdészetektől szerzi be. Szakirodalmi források alapján a begyűjthető vágástéri apadék vékonyfa részének mintegy 4,5%-a kerül hasznosításra [Szakálosné et al., 2013].

A legnagyobb apadék hasznosító a Pécsi Erőmű, közlése szerint a fatüzelésű blokk igényének kielégítésében 40%-ban van szerepe. Így összegyűjtésük esetében az erőművet övező megyékben az apadék felvásárlása teljes egészében lefedett. Kisebb mennyiségben Pornóapáti, Hangony, Csitár-Nógrádgárdony, Mátészalka, Szakoly, Miskolc, Pannonhalma, Homrogd, Szombathely városokban találtam példát erdészeti apadék tüzelésére, Tiszaújvárosban fapellet előállítására használnak erdészeti apadékot, Ezentúl az apadék hasznosításának jelenlegi egyik gyakori formája a lakossági gyűjtés. KEFAG területén például 3–4 ezer m³ ágfát a lakosság gyűjt be, így jutva olcsó tüzelőanyaghoz. További 10 ezer m³ gépi apadék gyűjtés történik. Mivel az erdészetek munkaerőhiánnyal küzdenek, ezért az apadék begyűjtése nehézségekbe ütközik. Kizárólag gépesítés fejlesztéssel lenne erre mód, azonban ez a költségek emelkedésével jár.

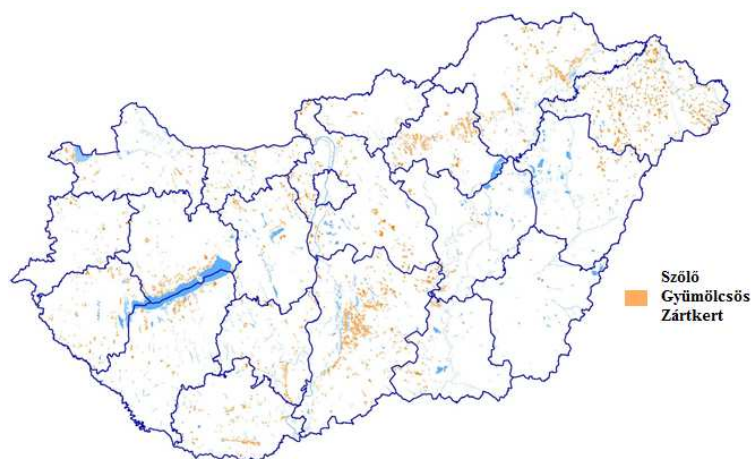
Az apadék hamutartalma akár 3–4% is lehet, a magas kéregtartalom következtében, ami a 20–40%-ot is elérheti a vékony gallyaknál [Bíró, 2012]. A begyűjtés során kéregre tapadó szennyeződésektől a hamutartalom tovább emelkedik, ami biohajtóanyag célú felhasználását nehezíti. Így lehetőség szerint olyan betakarítási rendszert kell választani, amellyel a talajon való közelítés elkerülhető. A Nyírerdő Rt. már 2005-ben beszerzett egy járvaaprítót, amely segítségével az apadékot begyűjtik és energetikai célokra hasznosítják.

További erdőgazdálkodásból származó szabad potenciálként a tuskók faanyaga mutatkozik. Nagyobb mennyiségben a tuskó csak azokon a területeken gyűjthető be technikailag, ahol a véghasználaton belül tarvágást hajtottak végre. Azonban tuskózás és az azt követő forgatásos talaj-előkészítés csak sík vagy enyhén hullámos felszínű területen és csak néhány genetikai talajtípuson, pl. homoktalajon végezhető [Szakálosné et al., 2013]. Mivel az ország kiterjedt homokterületei a Belső Somogy, a Duna-Tisza-közi homokvidék és a Nyírség, így ezek alapján elsősorban Somogy, Szabolcs-Szatmár-Bereg és Bács-Kiskun megyékben, valamint Pest és Hajdú-Bihar megyékben az akácokat, nemesnyarasokat és erdeifenyveseket, mint jellemző fajokat vettem alapul. Érdeemes megemlíteni, hogy a fenti három faj éves kitermelése az utóbbi öt évben gyenge emelkedést mutatott. Számításaim szerint összességében 160 ezer tonna tuskó keletkezik a vizsgált megyékben, amelyek energiatartalma közel 1,8 PJ-t tesz ki.

Az országban voltak kísérletek a tuskó hasznosítására (Pécs, Szakoly), azonban a betakarítási és tüzeléstechnikai nehézségek miatt nem jellemző. Hasonlóan a biohajtóanyag előállítás esetében, a jelentős mennyiségű kéreghányad és szennyeződés jelenléte problémát okoz, így potenciálisan hasznosítható alapanyagként nem számoltam vele a továbbiakban.

5.1.2 Szőlő-és gyümölcstermesztés melléktermékei

A nagyüzemi szőlőültetvények és gyümölcsösök évenkénti metszése során keletkező venyige és nyesedék mennyisége jelentős. Az ültetvények elhelyezkedését az országban a 19. ábra szemlélteti.

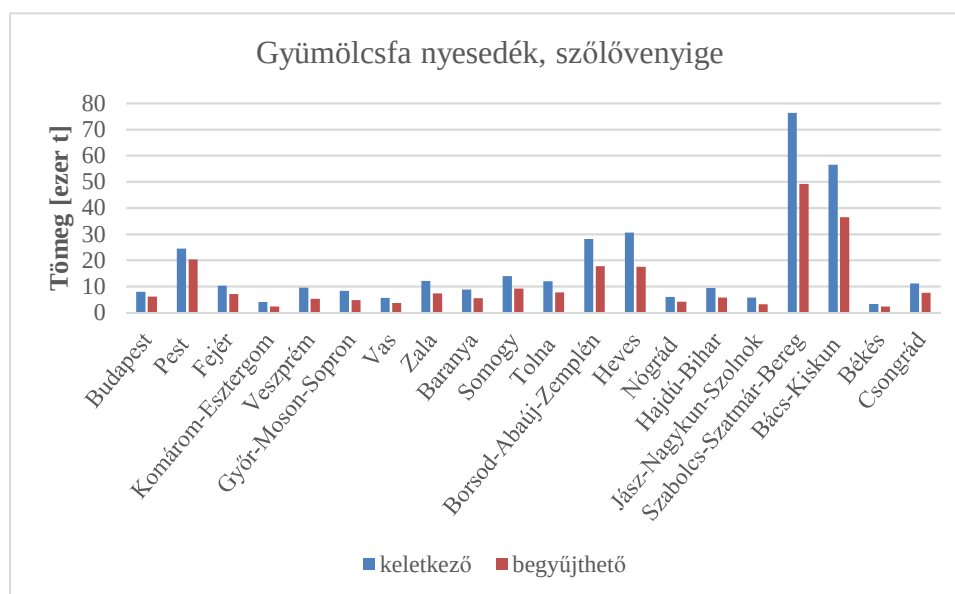


19. ábra: Magyarországi szőlő és gyümölcsfa ültetvények a Corine Land Cover (CLC) felszínborítási térkép alapján

Szőlőültetvények esetében hektáronként évente átlagosan 1,5 t/ha venyige keletkezésével, a gyümölcsfák esetében 2,5 t/ha melléktermék mennyiséggel számolhatunk. A módszertanban meghatározottak szerint elvégzett számítások alapján az évente keletkező szőlővenyige és gyümölcsfa nyesedék mennyisége élőnedves tömegben, megyei bontásban a 20. ábrán látható. A gyümölcsfametszés során keletkező melléktermék Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében koncentráltan jelenik meg. Jelentős a tömege ezentúl Bács-Kiskun és Pest megyében egyaránt. A szőlőtermesztés során keletkező venyige szintén Bács-Kiskun és Pest megyékben kiemelkedő.

A hasznosíthatóság szempontjából a legfontosabb a begyűjtés szervezése. Elsősorban a nagyobb egybefüggő ültetvények jöhetnek mindkettő melléktermék esetében szóba. A szőlőtermesztés Vas és Zala megyei egyéni gazdaságai átlagosan 0,1–0,2 hektáron gazdálkodnak, ezzel ellentétben Bács-Kiskun és Heves megyékben 2–3 hektáros átlagos szőlőterületek a jellemzők. A szervezetek szerepe a nagyobb, 30 hektár feletti földekre összpontosul, főként Dél-Dunántúlon, Fejér, Komárom, illetve Budapest és Pest megyében. Az átlagos gyümölcsös ültetvénynagyság tekintetében is jelentősek a regionális különbségek. A déli régiók szervezetei jellemzően kisebb, 11 hektáros területen gazdálkodnak, míg Budapest és Pest, továbbá Győr-Moson-Sopron megyében 30 hektár feletti ez az érték. KSH 2017-es adatai alapján megállapítható, hogy Vas és Borsod-Abaúj-Zemplén megyék kivételével az egyéni gazdaságok átlagosan nagyobb területen gazdálkodnak a jelentősebb gyümölcsstermesztő megyékben. Számításaim során a 3 ha feletti gazdaságok területarányának megfelelően vettem figyelembe a gazdaságosan begyűjthető dendromassza mennyiséget. Az eredmény megyei bontásban a 20. ábrán látható.

A vizsgált melléktermékek viszonylag magas fűtőértékkel rendelkeznek. Ha országosan számolunk, a metszés utáni fűtőértéket figyelembe véve, évente gyümölcsfa nyesedékből 165 ezer tonna gyűjthető be, amely hasznosítás esetén 2,6 PJ energiát szolgáltatna. A szőlőültetvények esetében 57 ezer tonna venyige gyűjthető be reálisan a jelenlegi hasznosítást is figyelembe véve, amelynek energiatartalma közel 1 PJ.



20. ábra: Évente keletkező és begyűjthető szőlővenyige és gyümölcsfa nyesedék mennyisége megyei bontásban

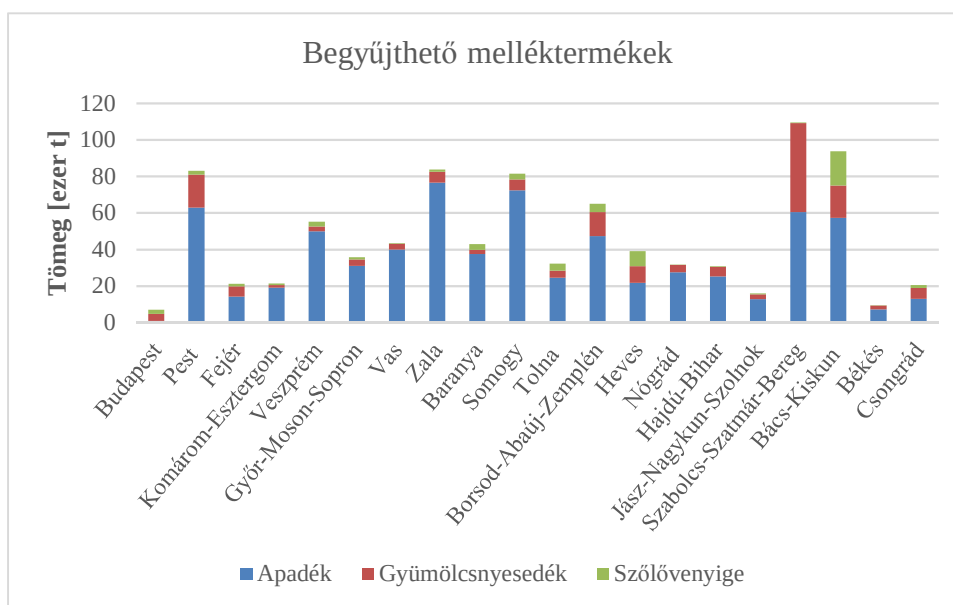
A gyümölcsfanyesedék és szőlővenyige mezőgazdasági és ipari hasznosítása még nem terjedt el. A venyige nagy részét a szabadban elégetik. A kisebbik részét pedig, ahol erre megvannak az eszközök, aprítják és a talajba keverik. A venyige helyben történő hasznosítása ellen a legfontosabb érv az, hogy általa különböző vírusok, a baktériumos golyvásodás, továbbá gombás betegségek is terjeszthetők. Legnagyobb biztonsággal csak egészséges ültetvényben használható fel a venyige, termékeny, biológiailag aktív talajokon.

A gyümölcs és szőlőültetvények melléktermékeit energetikai célokra az országban néhány helyen, kisebb mennyiségben hasznosítják. Visontán a Mátrai Erőműben évi kb. 10 ezer tonna szőlővenyigét, néhány száz tonnát Pannonhalmán a biomassza erőműben tüzelnek. További kisebb mennyiségben pl. Homrogd, Szombathely biomassza kazánjaiban is felhasználják.

A szőlőtermesztés melléktermékeinek csupán kis hányadát alkotják, de a szőlőszaporítás során szabadon felhasználható anyagként kéregmentes, tisztafa fűrészpor keletkezik. A termesztőközegként alkalmazott anyag alkalmazása után nem kerül hasznosításra. Nagyüzemi méretben évente mintegy 1,5 millió oltvány kerül előállításra, miközben így 150 m³ (~30 t) szabadon felhasználható fűrészpor keletkezik. Az országban működő 3-4 nagyüzemi szőlőszaporító esetében érdemes lehet a begyűjtésük.

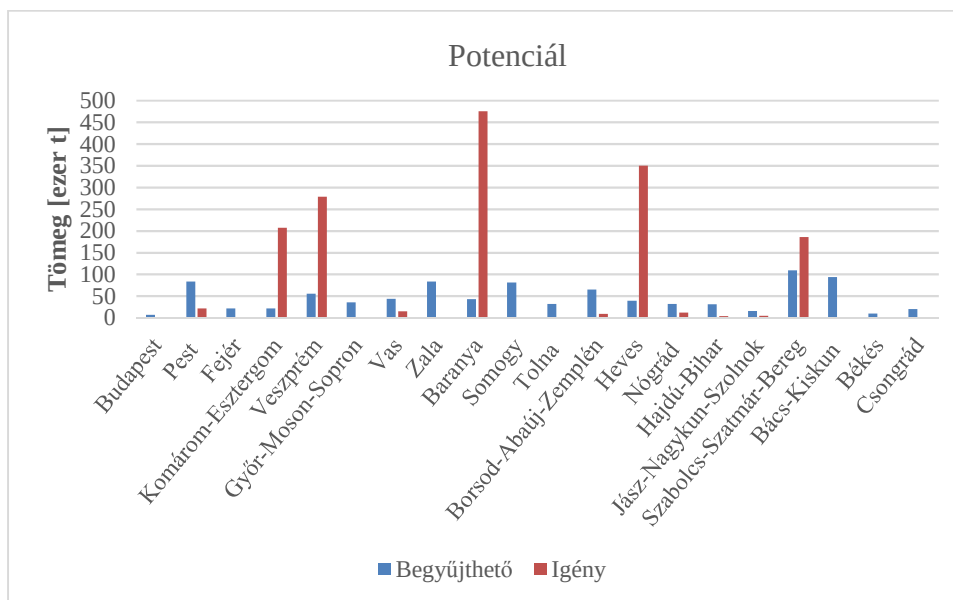
5.1.3 Dendromassza alapú melléktermékek potenciálja

A dendromassza alapú melléktermékek begyűjthető tömegét összesítve kiderül, hogy az egyes megyék között akár 100 ezer tonna különbség is adódhat. A legkevesebb Békés megyében, a legtöbb pedig Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében keletkezik. A melléktermékek nagy részét az erdészeti apadék teszi ki, a szőlővenyige és gyümölcsfa nyesedék Szabolcs-Szatmár és Bács-Kiskun megyékben jelentkezik meghatározó arányban, lásd 21. ábra.



21. ábra: Dendromassza alapú melléktermékek begyűjthető mennyisége megyei bontásban

A kérdés az, hogy ha ezeknek a mennyiségek a begyűjtése valóban megtörténik, vajon mennyi szabadon hasznosítható potenciált jelent a jelenlegi igények kielégítése után. A jelentősebb biomassza erőművek, fűtőművek alapanyagfelvételét megyékre összesítve nagy igény mutatkozik. Baranya, Heves, Veszprém, Komárom-Esztergom, Szabolcs-Szatmár-Bereg megye szabad potenciállal a begyűjtés után sem fog rendelkezni, lásd 22. ábra.



22. ábra: Begyűjthető biomassza potenciál a konkurens hasznosítók igényének függvényében, megyei bontásban

A nagy erőművekbe azonban az apríték 50 km-es gazdaságos szállítási távolsága ellenére, az alapanyag nagyobb távolságokból is érkezik. Így tulajdonképpen a szomszédos megyék is lehetséges alapanyag szolgáltatókká válhatnak. A Magyarországon található főbb biomassza hasznosító üzemek a 10. mellékletben található az alapanyagigény feltüntetésével.

Amennyiben 100 km-nél nagyobb szállítási távolságokkal már nem kalkulálunk, akkor az ország nyugati és dél-keleti peremvidékén még jelentkezik szabad potenciál. A nyugati peremvidéken azonban lehetőség van a határon túli nagyszámú biomassza erőmű számára kedvező áron értékesíteni az alapanyagot, akár nagyobb távolságokra is.

A dél-keleti peremvidéken Jász-Nagykun-Szolnok, Hajdú-Bihar, Békés, Csongrád megyékben 10–20 ezer tonna mennyiségben található szabad potenciál a melléktermékek begyűjtésével. Ezentúl Bács-Kiskun megyében nagyobb mennyiségben, több mint 50 ezer tonna hasznosítható, lásd 23. ábra. De az utóbbi évek jellemzője, hogy a szállítási távolságok egyre kevésbé meghatározóak, ha megfelelő felvásárlási árat fizetnek. Ugyanakkor ezekben a megyékben a tarvágás aránya magasabb, mint a hegyvidéki megyékben, így az apadék begyűjtése gazdaságosabban elvégezhető, mint az északi megyékben, amely valamelyest kompenzálhatja a szállítás költségeit.



23. ábra: A dendromassza alapú szabad potenciál lehetséges felhasználási útja

5.1.4 Energetikai célú fás szárú ültetvények

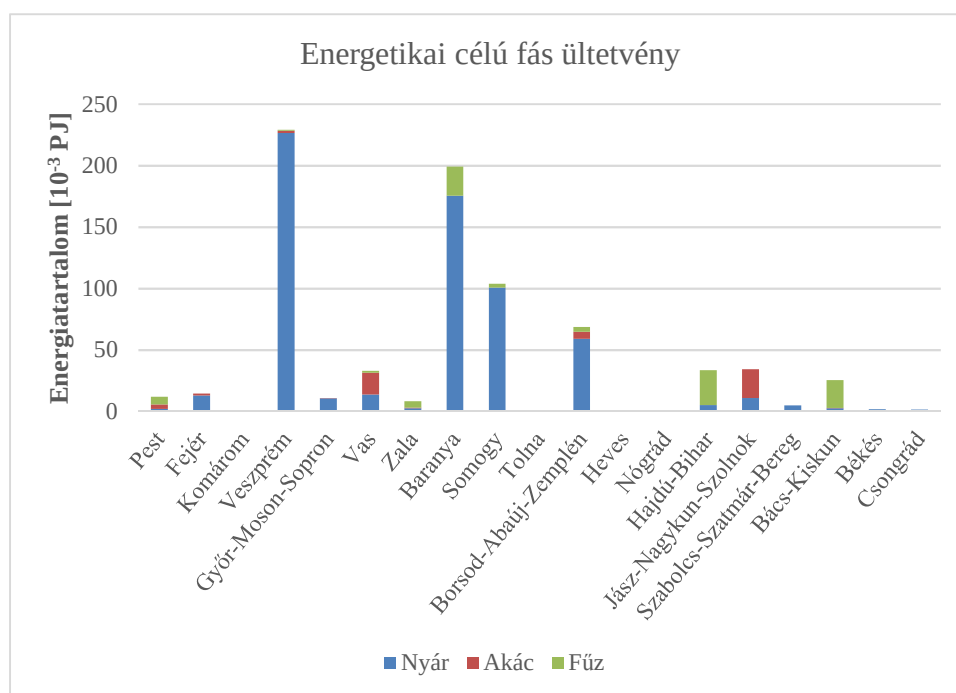
A NÉBIH Erdészeti Igazgatója által szolgáltatott 2018-as adatok alapján a Magyarországon telepített ültetvények nagysága 4351 ha, amelynek legnagyobb részét, mintegy 80%-át a nemesnyár alkotja, mivel a rendelkezésre álló területek hasznosítására leginkább ezek alkalmasak [Borovics et al., 2013]. A fűz az ültetvények teljes területének 7,4%-át, míg az akác ültetvények 7%-át teszi ki. Művelési technológiát illetően az ültetvények nagy többsége sarjzatatásos technológiájú.

Vannak azonban ültetvények, amelyek nem kerültek bejelentés alá a NÉBIH Erdészeti Igazgatósága felé és ezáltal nem szerepelnek a nyilvántartásban. Ezentúl vannak ültetvények mely a nyilvántartásban még szerepel, de már felszámolták [Vágvölgyi, 2014].

Látható, hogy az ültetvényeken termesztett alapanyagok potenciáljának becslése rendkívül nehézkes, mivel a különböző termőterületen, a különböző fafajok eltérő hozamokat

produkálnak, 5–25 t/ha/év-ig terjedhet a termőhely, a klíma, a faj és a termesztéstechnológia függvényében [Marosvölgyi, 1995; Marosvölgyi et al., 1999]. Átlagosan 10 t/ha/év hozammal számolhatunk és 18 MJ/kg fűtőértékkel [Rénes, 2010]. A betakarítható fatömeget a vágásforduló is erősen befolyásolja. Nehéz az ültetvényekről származó alapanyagok folyamatos ellátásával számolni, hiszen az ültetvényeket általában a tervezéskor megállapított vágásforduló szerinti gyakorisággal takarítják be és nem minden évben.

A NÉBIH Erdészeti Igazgatóságától beszerzett 2018-as adatok alapján elkészítettem a magyarországi ültetvényekről betakarítható alapanyagok energiamennyiségét megyei bontásban, lásd 24. ábra.



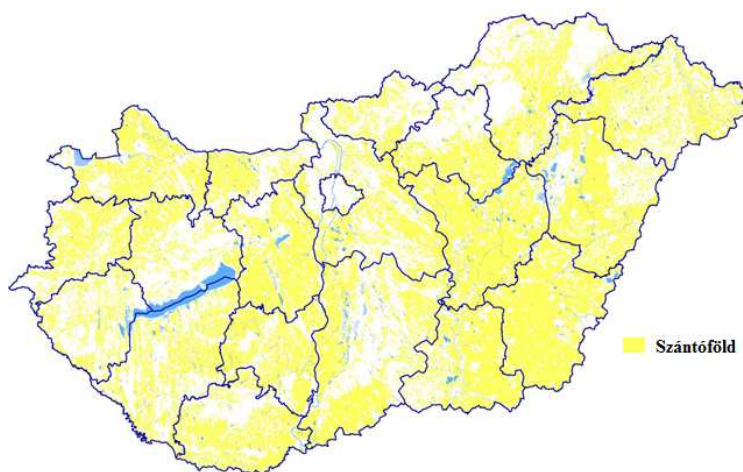
24. ábra: Energetikai ültetvények elméleti energetikai potenciálja megyei bontásban energia-tartalomban kifejezve

A legjelentősebb betakarítható energetikai célú fás szárú ültetvényről származó energiamennyiséggel Veszprém, Baranya és Somogy megye rendelkezik. Itt azonban meg kell jegyezni, hogy az ültetvények nagy részben valamilyen erőmű kiszolgálását látják el. Így ezek potenciálja teljesen lekötött. Szabad potenciál abban az esetben lépne fel, amennyiben nagy arányú telepítések valósulnának meg, pl. jelenleg nem hasznosított mezőgazdasági területeken.

5.1.5 Szántóföldi lágyszárú növénytermesztés melléktermékei

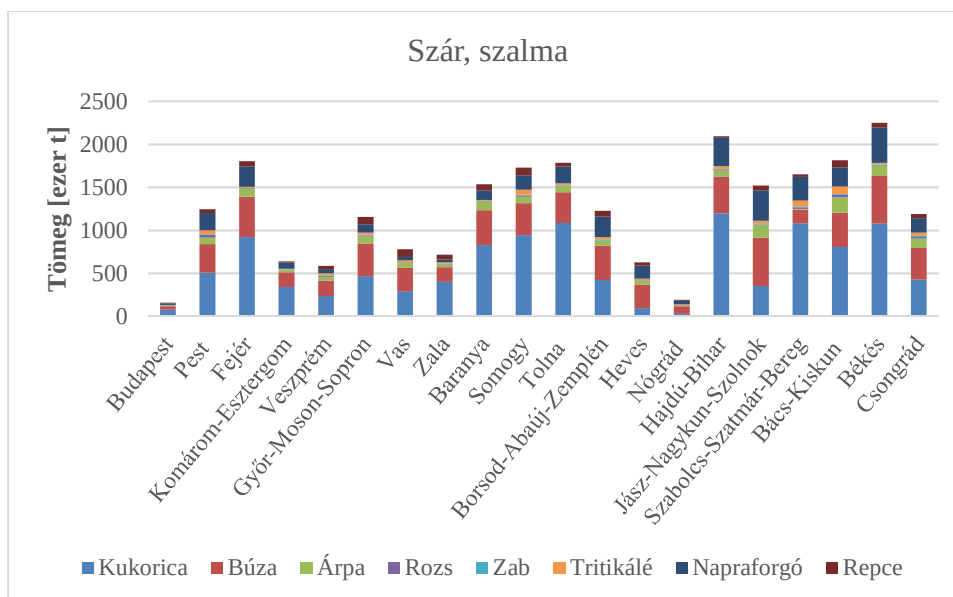
Nem tartoznak a dendromassza alapanyagok közé a szántóföldi lágyszárú növények melléktermékei, azonban a potenciáljuk felmérése elhagyhatatlan, hiszen a legújabb biohajtóanyag technológiák várhatóan képesek lesznek a közeljövőben az alapanyagokat vegyesen kezelni, kísérleti jelleggel már most is vannak próbálkozások. Az összes rendelkezésre álló lignocellulóz alapanyag ismeretében tervezhetők az üzemek.

A lignocellulóz biohajtóanyag előállítás alapanyag ellátása során a növényi főtermékek élelmiszeripari jelentősége miatt elsősorban a növényi melléktermékek, szalma és szármaradványok jöhetnek számításba. Keletkező mennyiségük jelentős, mivel Magyarország kiterjedt mezőgazdasági területtel rendelkezik, lásd 25. ábra.



25. ábra: Magyarország szántóterülete a Corine Land Cover felszínborítási térkép alapján

A számolásokat a módszertani fejezetben leírtak szerint végeztem el. A keletkező szár és szalma mennyiségek a 26. ábrán kerültek összesítésre.



26. ábra: Évente keletkező mezőgazdasági melléktermékek tömege megyei bontásban (2013-2017 átlaga betakarításkori nedvességtartalommal)

A legnagyobb területen, körülbelül 1,1 millió hektáron kukoricát termesztenek, ezt követi a búza 1 millió hektárral, míg a napraforgó területe 625 ezer hektár. A számításaink szerint a kukoricatermesztés során évente több mint 11 millió tonna melléktermék keletkezik az országban. A búzaszalma mennyisége is hatalmas, több mint 6 millió tonna. A napraforgó-szár

mennyisége 3,3 millió tonna, repceszárból pedig valamivel több, mint 1 millió tonna keletkezik évente. Kiemelkedő még a keletkező árpaszalma mennyisége, amely 1,4 millió tonna évente.

Összességében az országban 314 PJ energiatartalmú mezőgazdasági melléktermék keletkezik a lágyszárú növények termesztése során keletkező melléktermékekből. Ez a hatalmas mennyiség azonban nem hasznosítható teljes mennyiségben. A talajjavításra fordítandó szalma és szár mennyiségekről különböző szakirodalmi értékek jelennek meg, a szár tömegének 20–30%-át lenne optimális talajjavítás céljából a talajba visszajuttatni.

A kukoricaszár hasznosítás jelenlegi legelterjedtebb módja a beszántás, mely a vetésterület kb. 93–94%-án történik [Haszon Agrár, 2010]. A fennmaradó részben a korán betakarított leveles kukoricaszárból a kérődzők számára viszonylag jó minőségű siló készíthető. Próbálkozások vannak a kukoricaszár tüzelésére vegyesen más tüzelőanyaggal keverve, vagy tisztán, jelenleg azonban e célú hasznosításuk nem számottevő. Kukoricaszárat tüzelnek Pécsen a bálátüzelőben évi mintegy 10 ezer tonna mennyiségben, Visontán a Mátrai Erőműben kukoricaszár csutkával és szalmával együtt mintegy 100 ezer tonna, kisebb mennyiségben Örményesen a biomassza tüzelő kazánban kukoricaszár pelletet hasznosítanak. További mezőgazdasági melléktermékeket hasznosítanak Szakolyban, Szerencsen, Homrogon, valamint napraforgószárat Dorogon.

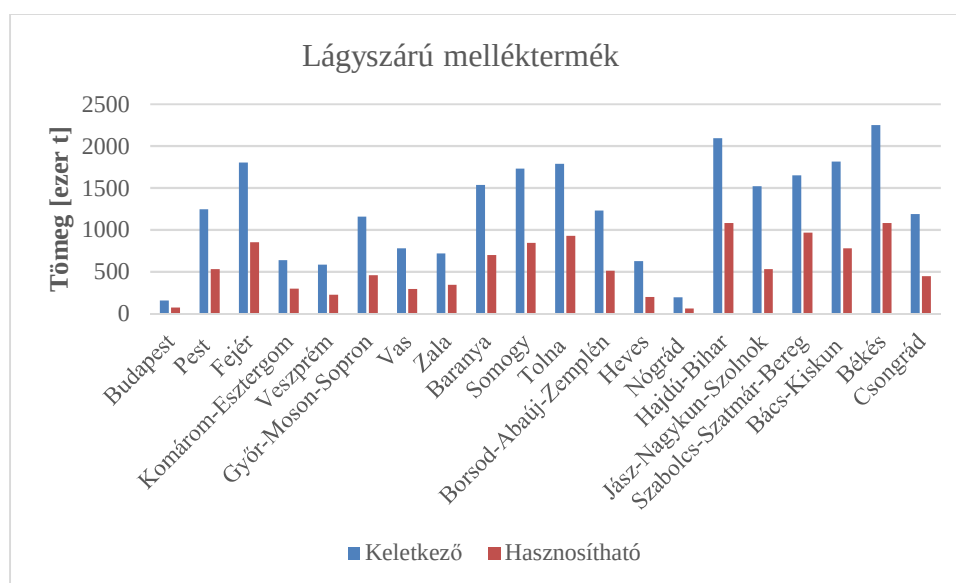
A kalászosok területének jellemzően 80–87%-án takarítják be a szalmát az utóbbi években [Bai-Tarsoly, 2011]. Az őszi búza bálázott mennyiségnek több mint a fele (50–55%-a) a mezőgazdasági üzemekben alomként vagy takarmányként, maximum egyharmada (25–30%-a) ipari, a megtakarítható rész pedig energetikailag hasznosításra kerül. Az őszi búza szalmájának mintegy 20%-át visszadolgozzák a talajba tápanyagutánpótlás céljából. A zabszalma és a tavaszi árpa értékes takarmányszalma, ezért begyűjtésük megoldott és fontos. Az őszi árpa és a rozs szalmájának rosttartalma nagyobb, emészthetősége kisebb a tavasziénál, ezért inkább almozásra alkalmas [Radics (szerk.), 1994]. Magyarországon is van már példa a szalma erőművi hasznosítására. Pécs távhő rendszerének hőigényét mintegy 60 százalékban tudja kielégíteni, ami a helyi gazdáktól 200 ezer tonna szalmafelvásárlást jelent. Az Oroszlányi Erőműben évi 100 ezer tonna szalma eltüzelésére van lehetőség [WEB 2, WEB 3].

A napraforgószár esetében a jelenlegi gyakorlat, hogy a teljes szár és tányérmennyiséget összezúzzák, majd beszántják. A napraforgószár betakarításkori nedvessége elég alacsony, ezért betakarítás után tüzelésre alkalmas. Viszont bálázása még nem megoldott, ezért energetikai célú hasznosítása a jelenlegi módszerek mellett nem megvalósítható [Gyuricza (szerk.), 2014]. A repceszár hasznosítása sem megoldott. Hasznosításával a biodízel gyártás fellendülésekor kezdtek foglalkozni. Papp (2018) vizsgálatai szerint különböző anyagokkal keverve értékes alapanyaga lehetne az agripellet gyártásnak.

A konkurens felhasználókat tekintve a biogáz üzemek általában vegyesen hasznosítják az állattartás melléktermékeit, a mezőgazdaság fő- és melléktermékeit, valamint az ipari melléktermékeket. Magyarországon a biogáz üzemeket elsősorban állattartási melléktermékekre alapozzák, mint trágya, állati tetemek és húsfeldolgozási melléktermékek. Ezt egészíti ki általában valamilyen mezőgazdasági fő termék, mint a silókukorica vagy cukorcirok szilázs. Kiemelnénk, hogy a silókukorica készítésénél a teljes növényt szecskázzák és silózzák, így mint potenciális alapanyaggal a korábbi részben nem számoltam.

Az agripellet üzemek éves Magyarországi alapanyag felhasználása egyelőre nem jelentős. Polgárdiban a Vertikál Zrt. pár száz tonna, Szentesen a T&T Technik Kft. 3600 t/év mennyiségben dolgoz fel szárat, szalmát, amelyben szerepet kap egyebek mellett a kukoricaszár és a repceszár is. Agárd-Pálmajorban az Agripellet Kft. 4200 t pelletet állít elő évente, amelyben kisebb részt képvisel a repceszár. Ezentúl néhány üzemben kisebb mennyiségben szalmapelletet állítanak elő (Jászládány, Vép). A jövőben mezőgazdasági melléktermékekből is előállíthatnak majd ún. torrefikációs pelleteket, de a technológia még nem elterjedt [Papp, 2018].

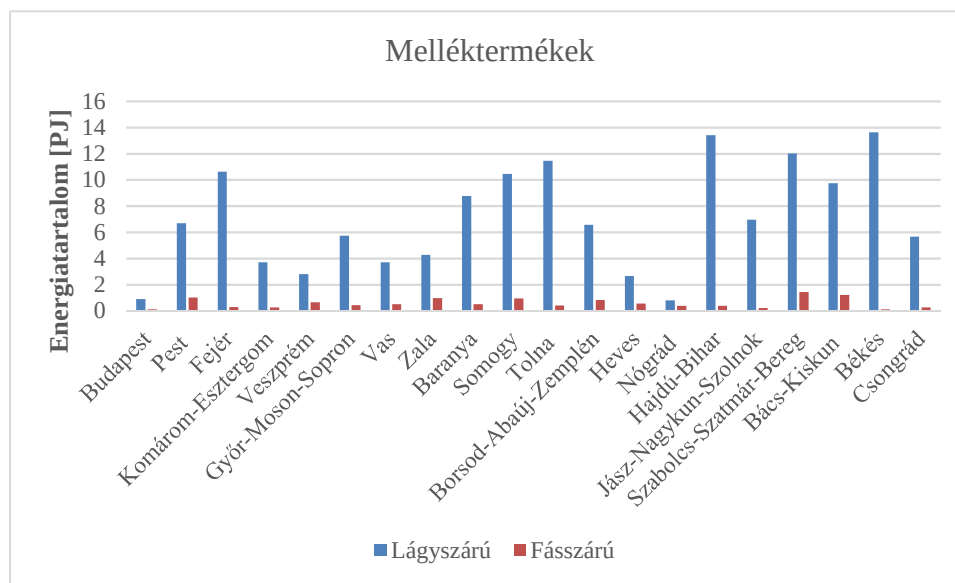
A fentieket figyelembe véve készítettem el az energetikai célokra hasznosítható mezőgazdasági melléktermékek potenciáljára vonatkozó becsléseimet, lásd 27. ábra.



27. ábra: Lágyszárú mezőgazdasági melléktermékek potenciálja megyei bontásban

Eredményeim alapján az országban keletkező 314 PJ energiatartalmú melléktermékből mintegy 140 PJ lenne begyűjthető energetikai célokra, amelynek nagy részét a kukoricaszár teszi ki. Kiemelt potenciálok jellemzik az ország keleti részének megyéit, mint Békés, Hajdú-Bihar, Szabolcs-Szatmár-Bereg megyéket.

Végül összesítettem a keletkező melléktermékeket az egyes megyékre vonatkozóan. Jól látható, hogy a mezőgazdasági melléktermékek mennyisége a domináns, a teljes potenciál több mint 92%-át teszi ki a hasznosításukkal nyerhető energia, lásd 28. ábra. Azonban ezek begyűjtése, tárolása és hasznosítása kevésbé kiforrott a fás szárú melléktermékekkel összehasonlítva.



28. ábra: Lágyszárú és fásszárú begyűjthető melléktermékek megoszlása megyei bontásban

A begyűjthető melléktermékek országos mennyisége összességében 152 PJ-t tesz ki.

5.1.6 Faipari melléktermékek

A faipari feldolgozás során az országban keletkező melléktermékek mennyisége 0,5–0,7 millió m^3 , míg a használt termékek („Altholz”) 0,6–0,8 millió m^3 -t tesznek ki, lásd 2.5.1.3 fejezet. A felületkezelt termékeken kívül hasznosításuk jelenleg megoldott. A darabos hulladék a fa fűrészüzemekben történő feldolgozása közben keletkezik. A hosszú, kis keresztmetszetű darabok felületén jelentős mennyiségű kéreg van, ezért az anyag hamutartalma magas 3–5%, égéshője 17–19 MJ/kg [Bíró, 2012]. A keletkező forgács a forgácslapgyártás során hasznosulhat, vagy energetikai célokra erőműbe juttatják el. A pelletgyártás az olcsó külföldről beáramló pellet miatt visszaszorulóban van, így kizárólag a felvásárlási ár az, amely meghatározza a hasznosítás formáját. A 26/2000. (IX.30.) EüM. rendelet kimondja, hogy a bükkfa-, tölgyfa-, egyéb keményfaporok, illetve keményfaporokat tartalmazó faporok is rákkeltő anyagnak számítanak. 2017. december 12-én jelent meg az Európai Parlament és a Tanács (EU) 2017/2398 irányelve, amelyben a foglalkozási expozícióra vonatkozó határérték 2 mg/m^3 , ami alól felmentés, hogy átmeneti intézkedésként 2023. január 17-ig 3 mg/m^3 a megengedett határérték. Így ezeket az alapanyagokat ipari célokra korlátozottan vásárolják fel. Kísérletek vannak bioolaj célú hasznosítására, ahol a fűrészpor pirolízise során a bioolaj-hozam 13–26%-os volt, 400–450 °C-os hőmérsékleten [Kumar et al., 2017; Mythili et al., 2013]. Ugyanakkor etanollá történő fermentációja is sikeresnek bizonyult laboratóriumi vizsgálatok eredményeképpen [Nwakaire et al., 2013].

Napjainkban a nagyüzemi papírgyártás fő alapanyaga is a fa. A papíriparban Magyarországon fa alapanyagból éves szinten gyártott és újra begyűjtött rost alapú hulladék aránya 95%, ami azt jelenti, hogy a gyártott mennyiség majdnem teljes egészében újra felhasználásra kerül. A másodlagos rostanyag felhasználásából adódó minőségvesztés nem számottevő, mivel a rosttörmelék ugyanúgy újrahasznosítható, mint az ép rostok 6–8 alkalommal. Az ezen felül keletkező hulladékból pedig biogázt állítanak elő. Számottevő szabad hasznosítható potenciál itt sem mutatkozik.

A faipari melléktermékek esetében a minél hosszabb életút biztosításához törekedni kell az újrahasznosításra. Az energetikai hasznosítás során a kereslet növekedése révén és a kínálat változatlan szintje mellett az alapanyagok árának növekedése várható [Németh, 2009]. Összességében elmondható, hogy energetikai célokra felhasználható faipari melléktermék a megfelelő felvásárlási ár függvényében áll rendelkezésre.

5.1.7 Érzékenységvizsgálat a biohajtóanyagok alapanyagának potenciáljára

5.1.7.1 Éghajlatváltozás hatása a készlet alakulására

Az aszályos és kedvező időszakok erősen befolyásolják a mezőgazdasági melléktermékek keletkező mennyiségét. A KSH adatait alapul véve az utóbbi évtized egyik leginkább aszályos éve a 2012-es év volt, vizsgálataim során ezt az évet vettem figyelembe. A terméshozamoknak leginkább kedvező időjárás 2016-ban volt. Ezekben az években országosan évente betakarítható melléktermék mennyiséget a 2013-2017-es évek átlagához viszonyítottam és a 10. táblázatban tüntettem fel.

10. táblázat: Évente betakarítható melléktermékek tömegének ingadozása

	országos adatok	2012 „legkedvezőtlenebb év”	2016 „legkedvezőbb év”	2013-2017 átlaga „átlagos év”
Kukorica	termőterület [ha]	1 191 291	1 011 563	1 115 955
	szem termésátlag [t/ha]	4,0	8,6	6,9
	betakarítható szár [t]	7 147 746	13 049 162	11 550 134
Napraforgó	termőterület [ha]	615 097	629 675	625 488
	mag termésátlag [t/ha]	2,1	3,0	2,7
	betakarítható szár [t]	2 583 407	3 778 050	3 377 635
Repce	termőterület [ha]	164 916	256 679	238 346
	mag termésátlag [t/ha]	2,5	3,6	3,0
	betakarítható szár	577 206	1 293 662	1 001 053

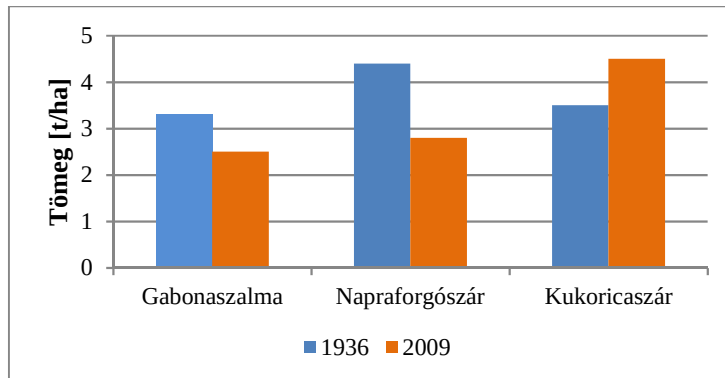
A legnagyobb különbség a repce esetében adódott, azonban ez elsősorban a betakarított területek nagyságának eltéréséből adódott. A hektáronkénti főtermés hozamának kiesése 30%-os volt a legkedvezőbb évhez viszonyítva, míg a repceszár esetében kevesebb, mint a fele gyűjthető be. A főtermés hozamában a kukoricánál van a legnagyobb ingadozás, a legnagyobb hozamú évhez hasonlítva csak a kukoricaszemtermés 46%-a takarítható be. A melléktermék

esetében 45%-os a biomassza kiesés. Az ingadozás a napraforgó esetében a legkisebb, sem a betakarított területben, sem a termés hozamokban nem mutatkozik kiugró eltérés. A biomassza hozam 29%-al marad el a legkedvezőtlenebb évben a legjobbtól. Ami bizonytalanságot jelent, hogy egyes vizsgálatok szerint a fő- és melléktermékek között az utóbbi években csak gyenge-közepes összefüggés mutatható ki [Bai-Tarsoly, 2011]. Ezért a becslések pontosságát ez ronthatja.

A termés kiesés következménye a 2007-es év aszályos időszakában is megmutatkozott. Az akkor tervbe vett bioetanol üzemek közül számos nem valósult meg. Emellett az éghajlatváltozás hatására az országban a hőmérséklet emelkedésére számíthatunk, ami a biodízel alapanyagául szolgáló, inkább a hűvös, csapadékosabb területeket kedvelő repce termésterületének beszűkülését okozhatja.

Magyarországon bár kedvezőbb az éghajlat a kukoricatermesztésre, mint tőlünk nyugatra, mégis számos más EU-s ország átlagtermése alatt van. Ehhez társul a fent már említett termésingadozás. Ennek nyomán az elmúlt 10 év átlagához képest 2003-ban és 2007-ben 35–40%-al kevesebb kukorica termett. Ugyanez az érték Ausztriában és Németországban maximum 18%-os volt [Szalay, 2009]. Megfelelő agrártechnológia alkalmazásával ez javítható lenne.

A fő termékekhez hasonlóan a mezőgazdasági melléktermékek, mint a szalma- és szármennyiségek, a növénytermesztési folyamatok következtében is erős mennyiségbeli változáson mennek keresztül, lásd 29. ábra.



29. ábra: Szalma- és szármennyiségek változása a növénytermesztési tevékenységek következtében [Szalay-Palocz; 2013]

A fenti következtetések alapján a jövőben egyre nehezebb lesz megtervezni különösen az élelmisznövény alapú, de a lignocellulóz biohajtóanyag üzemek alapanyagellátását egyaránt. A bizonytalanságok és az időjárási szélsőértékek, különösen a vegetációs időszakban fellépő aszályos időszakok aránya növekedni fog.

Az éves átlaghőmérséklet gyenge emelkedésével, a melegebb telek miatt az erdészetben is egyre több kártevő jelenik meg. Az utóbbi 50 évben jelentősen megnőtt a biotikus és abiotikus károk előfordulása [Katonáné, 2010]. A biotikus károk vonatkozásában az elmúlt öt évben kiemelkedő a 2013-as, amikor több mint 20 ezer hektárról érkezett bejelentés rovarkárról [Hirka et.al, 2014]. A potenciál becslés szempontjából ez azért is lehet érdekes, mert a kényszervágással kitermelt faanyag valószínűsíthetően energetikai célokra lesz majd

hasznosítható. Pirolitikus hasznosításukat segíti, hogy a károsított faanyag viszonylag kicsi nedvességtartalommal takarítható be, így a szárítás helyett a hő- és villamosenergia előállításra fordítható az energia, ami a gazdaságosságot javítja.

Míg a mezőgazdaságban viszonylag rövid időn belül ki lehet küszöbölni a káros hatásokat a megfelelő agrotechnikai módszerek segítségével, addig az erdészetben ez hosszú távon a megfelelő fafaj megválasztásával lehetséges csak. A legtöbb kárforma az elmúlt 20 évben mutatkozott meg a legintenzívebben. Sőt az elmúlt 10 évben általában halmozottan jelentkeztek. A 3 fő kárforma a legjelentősebb megjelenésük éveinek feltüntetésével: aszály (1993, 2003, 2005, 2012), a rovarkár (2004, 2005) és a fagykár (2007, 2011, 2016) volt.

Az energetikai ültetvények esetében sokkal jobban lehet védekezni a biotikus és abiotikus károk ellen. A száraz nyár elsősorban a telepítés évében jelent magas kockázatot. Ekkor a sarjak akár 50%-a sem ered meg, azok pótlása szükséges, továbbá a várható hozam is erősen elmarad az optimálistól. A tartósan hideg telek gyakorisága csökken, bár ezek epizodikus fellépésével hazánkban valamivel melegebb globális klíma esetén is számolni kell. Elvileg ritkábbak lesznek az áprilisi és a májusi, illetve a szeptemberi és az októberi fagyok, ám a tenyészidőszak meghosszabbodásával a kockázatos időszakok is a hideg évszak felé tolódnak el. A késő tavaszi fagy egyes nyárfa klónoknál nagyon komoly károkat okozhat, a vesszők gyakran teljesen elhálnak. Erre látható példa az 30. ábrán. A két felvétel azonos területen, egyidőben készült, különböző nyárfa klónokról. A bal oldali fajta erősen érzékeny a tavaszi fagyra, a sarjak nagy része elhalt. Az ültetvény jóval később ered meg, alacsonyabb sarjszámot produkál, ami alacsonyabb hozamot eredményez a betakarításnál. A jobb oldali képen látható nyárfajta nem érzékeny a késő tavaszi fagyra. Nagy jelentősége van a nemesítésnek, és az adott klimatikus és talajadottságoknak megfelelő fafaj és fajta megválasztásának telepítéskor.



30. ábra: A tavaszi fagy hatása különböző nyárfa klónokra

Az eltérő nyárfaklónok hozambeli különbsége jól látható a 31. ábrán, azonos klimatikus- és talajviszonyok között.



31. ábra: Két különböző nyárfaklón magasságkülönbsége azonos környezeti és talajadottságok mellett

A klímaszcenáriók alapján Magyarországon a 2100-ra várható éves csapadék változást csekély mértékű negatív tendencia jellemzi. Az ország területének körülbelül 90%-a veszélyeztetett aszályal. A közvetlen éghajlati hatások mellett olyan közvetettek is felléphetnek, pl. növényi betegségek és kártevők. Fokozott megjelenésük esetén gyakoribb növényvédelmi tevékenységet kell folytatni, amely a gépek alkalmazása és a peszticidek előállítása révén növeli a CO₂-kibocsátást, valamint a költségeket.

Az aszály miatt módosulhatnak a termőtalajok mechanikai tulajdonságai, élőviláguk, sőt, idővel kémiai összetételük is. A termőtalaj nedvességének csökkenése mellett a talajvíz szintje is lesüllyedhet az aszályosabb klíma hatására. Ez különösen a nyár energetikai ültetvényeknél okoz fokozott hozamcsökkenést. Emiatt fontos a megfelelő fafaj megválasztása.

A szerves tüzelőanyagok elégetéséből származó, növekvő CO₂-nek trágyázó hatása van a legtöbb növény számára, mivel a CO₂ a fotoszintézis komponense. Több esetben végeztek már a világon kísérleteket a dúsított légköri CO₂ hatására a növényekre. Eredményeik alapján a fokozódó fotoszintézis következtében akár 25–38%-al is növekedhet a föld feletti fás biomassza tömege. Módosulhat az egyes növényi alkotórészek, pl. a levél, a szár, a gyökérzet tömegének aránya és kiterjedése. Másrészt a megváltozott körülmények miatt megváltoznak a növényállomány jellemzői is. Például a növényi biomassza tömege gyarapszik, a növények állománysűrűsége nő, vízhasznosítása javul és C:N aránya megváltozik, amely hatások ugyancsak változtatják a kórokozók fertőzési és az állati kártevők táplálkozási jellemzőit. A kedvező hatás érvényesülésére azonban kizárólag a szükséges vízellátás rendelkezésre állása esetében van lehetőség.

5.1.7.2 Konkurens felhasználók megjelenése

Az alapanyagbázis vizsgálat fontos része a konkurens felhasználók vizsgálata. Az egyik legnagyobb felhasználó a búzaszalma esetén az állattenyésztés. A szalmaféleket elsősorban kérődzőkkel etetik, de csak kis mennyiségben. Alacsony hasznosítható energia-koncentrációjuk miatt a szénát nem helyettesíthetik, ezért csak kisebb napi adagban etethetők eredményesen. A melléktermékek takarmányként történő hasznosítása az aszályos években lehet nagyobb mértékű, ha a betakarított termény mennyisége nem fedezi az országos szükségletet. Az

almozásra használt mennyiségek azonban jelentősek, bár az utóbbi években már sokkal kevesebb szalmát vesznek igénybe az újabb állattartási technológiáknak köszönhetően. Általánosságban elmondhatjuk, hogy a nagyobb telepek almozás nélküli, vagy csak nagyon kevés alomanyagot igénylő technológiát alkalmaznak, a sertéstelepek leginkább csak az anyakocák tartása során használnak szalmát [Maga, 2012].

A szakirodalmi adatokkal, valamint a magyarországi állatállomány adataival számolva határoztuk meg az évente átlagosan almozásra használt szalma mennyiségét. 2017 évi júniusi KSH adatok szerint 46 ezerrel emelkedett a szarvasmarhák száma az elmúlt kettő évben. A sertések száma 318 ezerrel kevesebb a kettő évvel korábbinál, ezentúl a baromfi és juh állomány is enyhe csökkenést mutat [KSH, 2018]. Ezeket összevetve az alom szükséges mennyisége 7%-os emelkedést mutatott az elmúlt kettő évben és 13%-os emelkedést 2011 óta. Az alomszükséglet mennyiségét 2017-ben, az 11. táblázat mutatja. Összeségében a konkurens felhasználókat figyelembe véve mintegy 1,5 millió tonna szalma marad szabadon felhasználható az országban.

11. táblázat: Állatállomány becsült éves alomszükséglete a 2017-es évben [Maga, 2012; KSH, 2018 alapján]

Gazdasági állatok	Szalma aljázáshoz		Összes alomigény [t/év]
	[kg/db/nap]	[kg/db/év]	
Szarvasmarha ágazat	3,8	1400	1 296 000
Sertéságazat	1,4	511	89 936
Juhágazat	1,1	220	258 940
Baromfi ágazat	-	3,3	117 292

A növekvő szalma iránti igény miatt ezt a mellékterméket potenciálisan nem vettem figyelembe nagyobb energetikai hasznosítás céljából. Különösen, hogy a gazdák nem is kívánják értékesíteni azt. Egy nagyobb 1200 ha-on gazdálkodó társaság (búza 450 ha, kukorica 500 ha, napraforgó 250 ha) és kettő kisebb, mintegy 100 ha-on (egyikük búza 30 ha, kukorica 35 ha, napraforgó 10 ha, lucerna 5 ha, másikuk búza 25 ha, kukorica 50 ha, napraforgó 25 ha) gazdálkodó családi vállalkozás válaszolt a megkeresésemre a melléktermékek hasznosításával kapcsolatosan. A nagyobb területet művelő társaság kisebb mennyiségben értékesít szalmát, de a további feleslegben keletkező szalmát és kukoricaszárat felesleg esetén sem értékesítené, a talaj tápanyag utánpótlás igénye miatt. Hasonlóan reagáltak a kisebb vállalkozások. Egyikük sem értékesítené a feleslegben rendelkezésre álló melléktermékeket, teljes egészében a talajba visszaforgatják.

További igényt a szomszédos országokban a határ közelében épülő nagyobb biomassza hasznosító üzemek jelenthetnek. Terv van Szlovákiában Leopoldov városában mezőgazdasági melléktermékekre alapozott évi 50 ezer tonna kapacitású (63 millió l/év) fejlett bioetanolt gyártó üzem létrehozására [WEB 4]. Azonban ez légvonalban kb. 110 km távolságra fog elhelyezkedni, amely csak aszályos években mutathat felvevő piacot. 2014 októberében a Beta Renewables és a BioChemtex megállapodást írt alá az Energochemica SE-val 55 ezer tonna kapacitású búzaszalmára, repceszásra és kukoricaszásra alapozott (70 millió l/év) kereskedelmi lignocellulóz etanol gyártására Strazske-ban, szintén Szlovákiában [WEB 5]. Mivel a város a határtól kevesebb, mint 50 km távolságra helyezkedik el, ezért ez jelenthet alapanyag felvevő igényt. Románia dél-nyugati országgrészében egy fermentációs biohajtóanyag üzemét kívánnak

létrehozni, amely a tervek szerint búza és más gabonaszalmát fog felhasználni 63 millió liter/év biohajtóanyag előállításához.

5.1.7.3 Új alapanyagok megjelenése

Az energetikai célú fás szárú ültetvények telepítése a NÉBIH Erdészeti Igazgatóságától kapott adatok alapján az utolsó egy évben teljesen elmaradt. Okaként a támogatás hiánya és egy új ipari célú fás szárú ültetvények telepítésére megnyílt 5 milliárd forintos pályázat nevezhető meg (135/2017 (VI.9.) Kormányrendelet Vidékfejlesztési Program „Erdősítés támogatása”). A támogatás fő prioritása a szénmegkötés előmozdítása a mezőgazdaságban és az erdészetben. Az ipari célú fás szárú ültetvény telepítése esetében kötelezően teljesítendő a támogatások kifizetéséhez a fatermés több mint 50%-ának ipari célú értékesítése legkésőbb 20 éven belül. A kiírásban külön felhívják a figyelmet a nem támogatható tevékenységek sorára, amely között szerepel az energetikai célú fás szárú, valamint rövid vágásfordulójú ültetvények telepítése.

Az ipari célú faültetvények esetében is nagy mennyiségű apadékfa (10%) és kéreg (15–17%) áll rendelkezésre, amely energetikai hasznosítású lehet. Az iparifa-kihozatal 70% körüli. Irodalmi adatok alapján az összfatermés átlagnövedéke 12 éves korban 27 m³/ha/év [Nagy, 2016]. Ezekkel az adatokkal számolva hektáronként évente akár 5 t/ha hasznosítható biomassa mennyiség állhat rendelkezésre. Ha a kéregapadékot nem vesszük figyelembe, akkor 1,0–1,5 t/ha/év gyűjthető be energetikai célokra. Ha azonban az engedett 49% fatömeget energetikai célokra hasznosítjuk, akkor további 5 tonna is elérhető abszolút szárazanyagra számítva. Ezen felül számolhatunk az ültetvény első három évében a 6–8 m magas ágtisza törzs kialakítása során keletkező nyesedékekkel.

Köztes megoldást jelenthet a napjainkban erősen fejlődésnek indult termesztési módszer az agroerdészet, amely egyrészt életképes földhasználati lehetőségként jelenik meg, másrészt számos ökológiai és környezeti előnyt kínál [Jose (szerk.), 2010]. A köztes termesztésben megjelenő fák esetében a lágyszárú növényekhez képest a szénmegkötés a talaj mélyebb rétegeiben történik, a mélyebbre nyúló gyökérzet révén. Így ezek a termesztési rendszerek jó eszközként szolgálnak a szénmegkötés fokozásában a mezőgazdasági területen, de emellett elősegíti a dendromassza termesztés során egyre fokozottabban jelentkező tűzveszély megelőzését, különösen a dél-európai országokban [Kumar-Nair (szerk.), 2011].

Több EU-s projekt is foglalkozik az alapanyagok mennyiségének e módszerrel történő kiterjesztésével. Az AgroCop projekt kutatási célja köztes termesztésben kiváló minőségű fűrészipari alapanyag és energetikai hasznosításra szánt rövid vágásfordulójú ültetvényekről származó faanyag előállítása. Az AGFORWARD (2014-2017) nemzetközi kutatási projekt fő prioritása – magyarországi partnerek aktív részvételével - a vidékfejlesztés előmozdítása agroerdészeti rendszerek alkalmazásával. A szintén magyar projektrésztvevőkkel (SOE KKK) jelenleg is zajló AFINET az ismeretterjesztésre és tudáscserére alapozza az Európában történő agroerdészeti tevékenység előmozdítását. Magyarországon működő agroerdészeti példa, a fokhagyma és a császárfű köztes termesztésbe vonása, az éghajlatváltozás következtében beállt negatív változások kiküszöbölésére. Előnyként említik, hogy a fák alatt termesztett zöldségek hozama, beltartalma javult, az UV sugárzás káros hatását a fák lombjának árnyékoló hatása csökkenti, a talaj nedvességtartalmát tovább fenntartja [WEB 7].

A másik alapanyag az előző fejezetben említett Öregfa (Altholz), amely hasznosítása a felületkezelés miatt ma még nem megoldott. Külföldön azonban vannak arra irányuló kutatások, hogy a felületkezelésre alkalmazott kémiai anyagok lebonthatóak, így az anyag energetikai célokra alacsony környezeti kockázat mellett hasznosíthatóvá válik [Clausen et al., 1998; Clausen, 2004; Sierra-Alvarez, 2009].

5.2 Biohajtóanyagok alapanyag lábnyom vizsgálata

A biomassa begyűjtése és szállítása jelentős költségtényező különösen melléktermékek esetében, amelyek energia-koncentrációja általában alacsony, ezáltal szállítási és tárolási problémákat vet fel [Németh, 2011]. Az apríték gazdaságos szállítása 20–45 km belül lehetséges [Pintér et al., 2009; Barótfi, 2009]. Pirolitikus eljárások során a teljes előállítási költség több mint 40%-át az alapanyag ára, begyűjtése és szállítása teszi ki [Venendaal, 2018]. Az eddigi kutatások többségében egy hektáron termesztett, vagy egységnyi tömegű alapanyag kihozatalát vizsgálták. Azonban ez nem tükrözi hűen a valós begyűjtési területet, hiszen a termesztő terület különösen mezőgazdasági és erdészeti melléktermékek esetében nem egybefüggő.

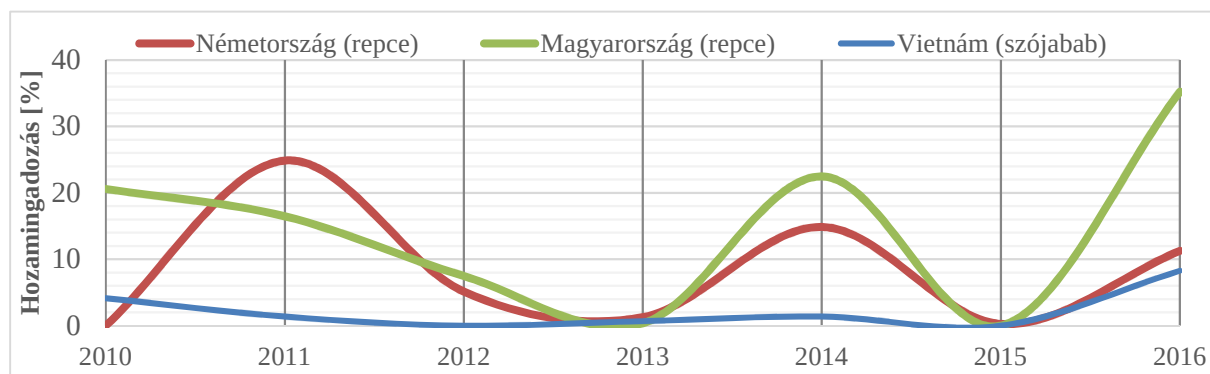
Az alapanyag lábnyom módszer kidolgozásához a jól ismert ökológiai lábnyom adta az alapötletet. Az ökológiai lábnyom egy olyan mutatószám, ami megadja, hogy egy adott ember (vagy adott területen élő emberek összessége) milyen hatást gyakorol a természetre. Minél kisebb valakinek az ökológiai lábnyoma, annál inkább összhangban van a fogyasztása a rendelkezésre álló természeti erőforrásokkal. Ugyanez az új bevezetett mérőszám esetében is igaz, amely egységnyi energiatartalmú hajtóanyag előállításához szükséges alapanyag gyűjtőterületének nagyságát adja meg. Az alapanyag lábnyom az elmúlt évek egyre szélsőségesebb időjárásának következtében komoly szerepet kaphat a biomassa hasznosító üzemek helyének és kapacitásának megválasztásában. Jelentősége az alábbi pontokban foglalható össze:

- A különböző biohajtóanyag alapanyagok gyűjtőterületének meghatározása és összehasonlítása
- Új biohajtóanyag-üzem telepítésének és működtetésének előkészítése, a kapacitás és helyszín megválasztásának segítése
- Biohajtóanyag-üzemek kiszámítható és fenntartható alapanyag-ellátásának biztosítása, figyelembe véve a hozamingadozást is
- A logisztika optimalizálása.

Az összehasonlítást három országra végeztem el. A fókusz Európa és Vietnámra összpontosítottam, ahol az alkalmazott alapanyagok a klimatikus és ökológiai adottságoknak köszönhetően rendkívül eltérőek, mégis komoly párhuzamok fedezhetők fel a folyamatos alapanyag ellátás problematikájában és a keletkező melléktermékek tekintetében. Míg Magyarország kiemelkedően nagy mezőgazdasági területtel rendelkezik és a keletkező kukoricaszár nagy része nem kerül hasznosításra, addig Vietnámban lehetőségem volt egy konferencián részt venni, ahol több esetben elhangzott, hogy a nagy mennyiségben keletkező rizsszalma hasznosítása nem megoldott. Mivel az ország lakosságának száma a világon az egyik legdinamikusabban fejlődő, így az élelmiszer-növények felhasználása elsősorban az élelmezési feladatokat kell, hogy ellássa. Ugyanakkor a biohajtóanyag fejlesztése következtében a manioka egy erősen keresett alapanyag lett, amelynek ára az utóbbi években megemelkedett. Érdekes, hogy míg Vietnámban az alapanyag hozamingadozása klimatikus okok miatt

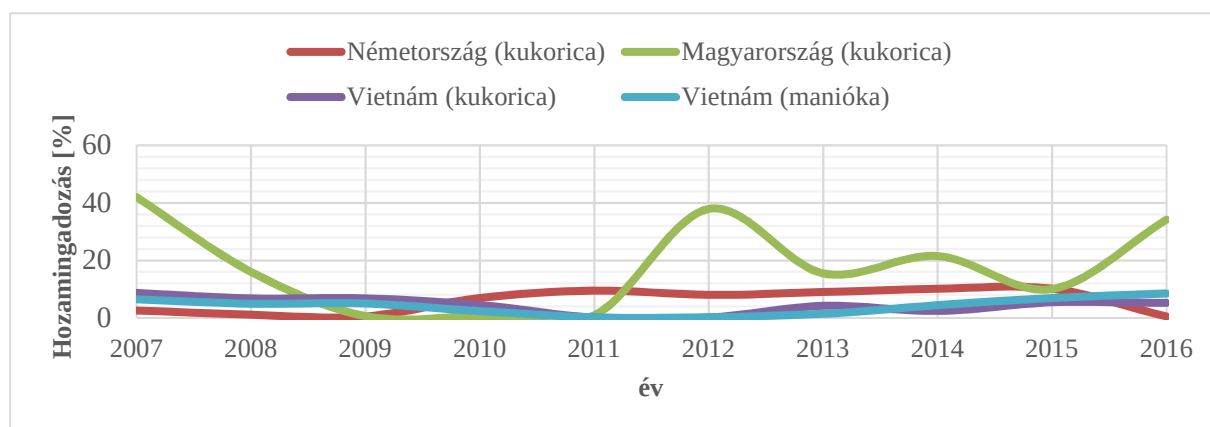
minimális, addig Németországban a fejlett technológia következtében jelent kisebb problémát, Magyarországon ez a probléma pedig az egész etanolpiacot veszélyezteti. A 3 ország összehasonlítása emiatt rendkívül érdekesnek bizonyul. Az országok jellemzőinek összefoglaló táblázatát az 8. mellékletben helyeztem el.

Tapasztalataink szerint a legfontosabb bioetanol és biodízel alapanyagok hozama és annak fluktuációja az eltérő éghajlati adottságok miatt komoly eltérést mutat a világ különböző országai között. Ugyanakkor az EU-n belüli országok is erősen eltérő adatokat produkáltak. A vizsgált első generációs biodízel alapanyagok közül a legnagyobb termés kiesés a németországi repcemag-termesztésben figyelhető meg, 2011-ben a középértékhez képest 25%-kal maradt el a hozam. Magyarországon a repce hozama 2010-ben az átlagnál 20%-kal volt alacsonyabb, míg 2014-ben és 2016-ban jelentősen meghaladta az átlagos terméshozamot. A szójabab termesztése Vietnámban meglehetősen kiegyensúlyozott volt, a maximális hozamvesztés nem érte el a 2%-ot (2014), míg a legmagasabb hozamot 2016-ban tapasztalták (+ 8%), lásd a 32. ábrát.



32. ábra: Hozamingadozás 2010-2016 között a vizsgált biodízel alapanyagoknál, abszolút értékben kifejezve

A kukorica hozamingadozása különösen magas Magyarországon. A termés mennyisége több évben is (2007, 2012) közel 40%-ban maradt el középértéktől, lásd 33. ábra. Ez mint fentebb látható komoly következményekkel járt a bioetanol előállító ágazatban. Vietnámban a két vizsgált alapanyag egyike sem haladta meg a 10%-os terméssingadozást a mediánhoz viszonyítva.



33. ábra: Hozamingadozás az elmúlt 10 évben a vizsgált bioetanol alapanyagok esetében

Vietnamban az etanol üzemek bezárásának fő kiváltó okai a hazai bioüzemanyag-piac hiánya és a magas alapanyagárak voltak, ami tovább nehezítette a bioüzemanyagok exportját. A többcélú felhasználás miatt a bioüzemanyag előállításához nem állt rendelkezésre elegendő nyersanyag, még akkor sem, ha az üzem manióka termesztő terület közelében helyezkedett el. A korlátozottan rendelkezésre álló termőterület és a kézi művelés miatt a manióka ára nagyon magas [VNN, 2015].

Számításokat végeztem a különböző országokra vonatkozóan az alapanyaglábnym nagyságát illetően elméleti körülmények között. Ez esetben feltételezzük, hogy a vizsgált területen kizárólag az alapanyagként szolgáló növényt termesztjük. Az eredményeket 1 t vagy 10 GJ hajtóanyagra adtam meg. Általában elmondható, elméleti körülmények között a második generációs biohajtóanyagok nagyobb betakarítási területet igényelnek az alacsonyabb biohajtóanyag konverziós ráta miatt. Kivételt képez ez alól a dendromassza alapú bioolaj előállítás, amely rendkívül kedvező értékkel jelenik meg. Bár a technológia kutatási fázisban van, néhány üzem már kereskedelmi méretekben is termel hajtóanyagot. Azonban gépjárműben történő hasznosításához további feldolgozásra van szükség. A mezőgazdasági főtermékek tekintetében a szójabab-alapú biodízel mutatta a legoptimálisabb begyűjtési területet egységnyi hajtóanyag előállításához. Jóllehet az olajtartalma jóval alacsonyabb (~ 18%) [Hoonsoo et al., 2013] mint a repcének (~ 40%), [AGMRC, 2017], ugyanakkor a magasabb hozam miatt, kevesebb, mint fele akkora terület szükséges az alapanyag begyűjtéséhez azonos energiatartalmú biohajtóanyag előállítása során. A mezőgazdasági melléktermékek közül a rizsszalmát lehet a legkisebb területről gyűjteni, amit a magas lignocellulóz-tartalom és a hektáronkénti magas hozam biztosít. Vietnamban a rizsszalma nagy potenciállal rendelkezik, jelenleg csak kis mértékben használják takarmányozásra és egyéb célokra. A kukoricaszár is hasonló nagy potenciált jelent Magyarországon, azonban elméleti alapanyag lábnyoma nagyobb. Az összehasonlítást a 12. táblázat mutatja

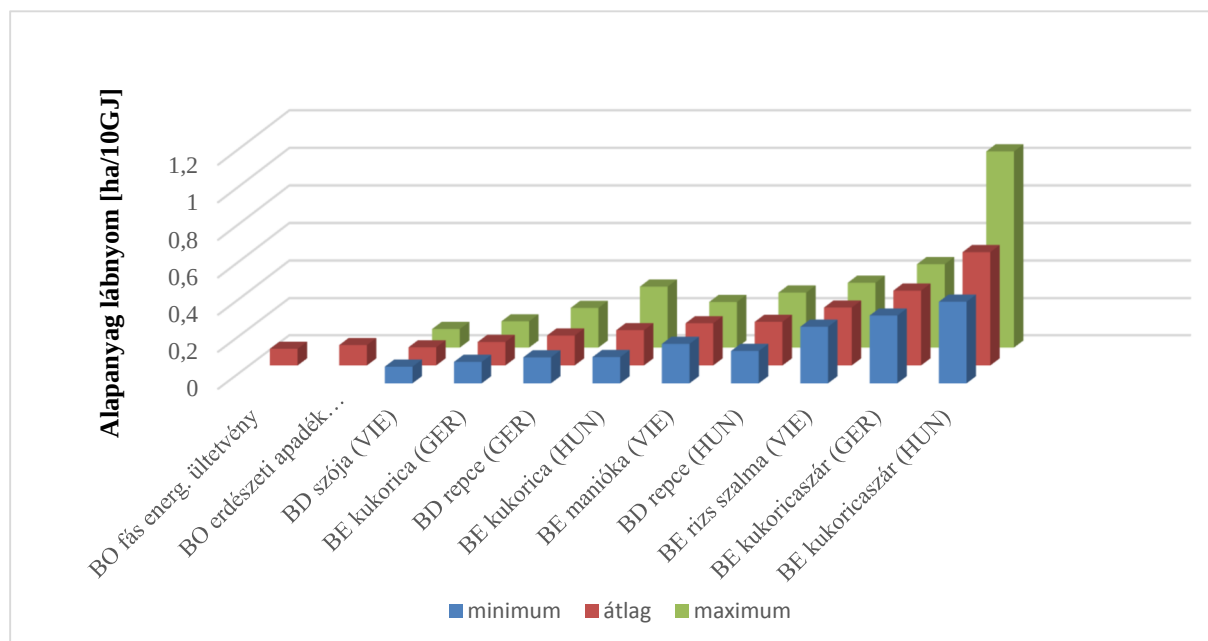
12. táblázat: Alapanyagbázis lábnyom (BMF) 1t és 10 GJ biohajtóanyagra számítva

Biohajtóanyag	Alapanyag	BMF 1t biohajtóanyagra [ha/t]	BMF 10 GJ biohajtóanyagra [ha/10GJ]
1. gen. bioetanol	kukorica (GER)	0,34	0,13
	kukorica (HUN)	0,51	0,19
	kukorica (VIE)	0,76	0,28
	manióka (VIE)	0,61	0,23
1. gen. biodízel	repce (GER)	0,61	0,16
	repce (HUN)	0,89	0,24
	szójabab (VIE)	0,37	0,10
2. gen. bioetanol	kukoricaszár (GER)	1,08	0,40
	kukoricaszár (HUN)	1,63	0,61
	rizsszalma (VIE)	0,83	0,31
2. gen. bioolaj (további finomítás után nyert bio- hajtóanyag)*	erdészeti apadék (HUN)	0,18 (0,78)*	0,11 (0,18)*
	fás en. ültetvény (HUN)	0,15 (0,63)*	0,09 (0,14)*

(*) 1 t vágástéri apadékból 0,64 t bioolaj keletkezik, amelynek mintegy 40%-a, a hidrogénező heterogén katalitikus oxigéneltávolítás (HDO) segítségével nyert hasznos olaj. Ez a fluid katalitikus krakkolás során a nyers kőolajjal együtt 10-20%-ban a rendszerbe juttatható és az eredményként nyert termék közel azonos a tisztán fosszilis kőolaj feldolgozása során nyert kihatallal (~benzin 33%, gázolaj 26%), lásd 4.2. fejezet.

Az eredményekből kitűnik, hogy a bioolaj előállítás igényli a legkisebb területet, azonban ez nem hasznosítható közvetlenül a közúti gépjárművek üzemeltetésére. A megfelelő feldolgozási eljárásokat is figyelembe véve Magyarországon még mindig a legkedvezőbb eredményt adja. Más országokban a kedvezőbb hozamoknak köszönhetően az élelmiszernövények területigénye alacsonyabb lehet, de természetesen mivel főtermékekről beszélünk, alkalmazásuk az élelmiszerkonfliktus fokozásával jár. Összehasonlítást inkább a második generációs hajtóanyagokon belül érdemes tenni, ahol viszont a dendromassza alapú melléktermék mintegy harmadannyi területigénnyel rendelkezik, mint pl. a kukoricaszár.

Az aszály következtében fellépő hozamingadozások miatt a folyamatos alapanyag-ellátás biztosításának szempontjából a kukorica és a kukoricaszár jelenti a legnagyobb kockázatot, lásd a 34. ábrát. Az alapanyag lábnyom növekedése meghaladhatja a 72%-ot a magyarországi erősen aszályos évek termésvesztése miatt. A dendromassza termesztés esetében a hozamingadozások nem relevánsak, esetenként a biotikus és abiotikus erdőkárok lehetnek hatással a fakitermelésre.



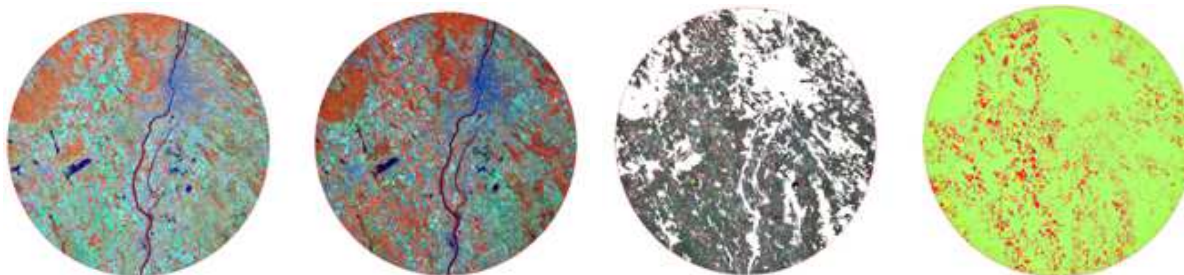
BO-bioolaj; BD-biodízel; BE-bioetanol

34. ábra: A módszertanban meghatározott időintervallumon belül vizsgált átlag-, legmagasabb- és legalacsonyabb hozam függvényében meghatározott alapanyag lábnyom

Az energetikai ültetvények rendkívül kedvező képet mutatnak alapanyag lábnyom tekintetében az intenzív növekedésük révén. Az energetikai ültetvény abban az esetben lehetséges megoldás, ha az élelmiszerkonfliktust elkerülve, jelenleg nem hasznosított alacsony minőségű mezőgazdasági területeken létesül. Ebben az esetben a 10 átro tonna/ha/év átlagos hozam csökkenése várható, irodalmi adatok alapján akár 3,4 t/ha/év mennyiségre. Ez akár háromszorosára is növelheti a szükséges termesztő területet.

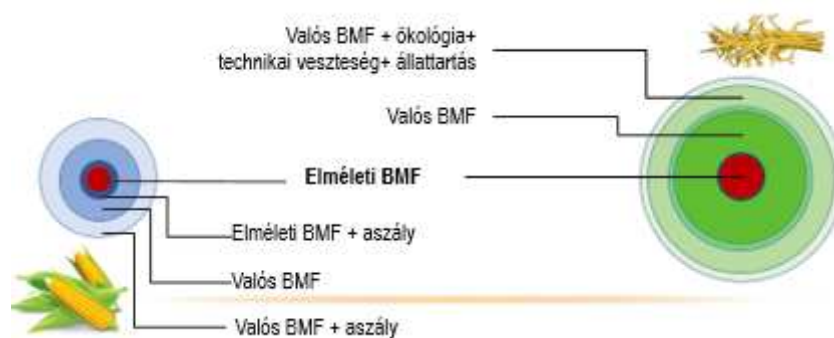
Magyarországi viszonylatban összehasonlítást végeztem, hogy az elméleti alapanyag lábnyomhoz képest a valós begyűjtési körülmények mennyivel nagyobb területet fednek le. Valós körülmények között a területnagyságot mezőgazdasági fő- és melléktermékek esetében a szántóterület aránya, míg erdészeti melléktermékek esetében az erdőfelújítást megelőző fakitermelés módszere határozza meg elsősorban. Vizsgálataimat kukoricára, kukoricaszár, vágástéri apadékokra vizsgáltam.

Kukorica esetében két területet választottam ki, ahol az országos átlagnak megfelelő intenzitású a mezőgazdasági területek területfoglalása. Mivel a biomassa gazdaságosan maximum 50 km sugarú körben szállítható, ezért ekkora területet vettem alapul, amelyet Digiterro program segítségével elemeztem, lásd 35. ábra.



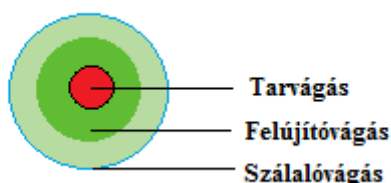
35. ábra: A Landsat 7 felvételek kiértékelése Digiterra programban

Valós körülmények között azonos mennyiségű kukorica alapú etanol előállításához 9–11-szer nagyobb gyűjtőterület szükséges, mint elméleti esetben. Aszályos évben a szükséges begyűjtési terület 20-szoros nagyságra emelkedik. Kukoricaszár esetében valós körülmények között a vizsgált körzetben a begyűjtési terület 7-szeres, az elméleti begyűjtési területhez viszonyítva. Ha figyelembe vesszük a begyűjtés során keletkező technikai veszteségeket, a zöldtrágyázási, valamint az állattartás igényét is, az érték 15-ször nagyobb. Az elméleti és valós alapanyag lábnyomokat a 36. ábra szemlélteti.



36. ábra: Elméleti és valós alapanyaglábnym kukorica és kukoricaszár esetében

Az erdészeti apadék begyűjtésére leginkább tarvágással kitermelt erdők esetében van lehetőség. Azonban az erdők ökológiai egyensúlyának fenntartása érdekében az utóbbi években törekednek a környezetbarát vágási módszerek arányának növelésére. A felújító és szálaló vágás során a fákat egyenként termelik ki, itt a felújítás ciklusa több mint harminc év. Ez azonban magasabb költséggel és a biohajtóanyag üzem alapanyagellátásához szükséges begyűjtési terület növekedésével jár. Felújító vágás esetében közel háromszoros, míg szálalóvágás esetében több mint ötszörös lesz a gyűjtőterület, lásd 37. ábra.

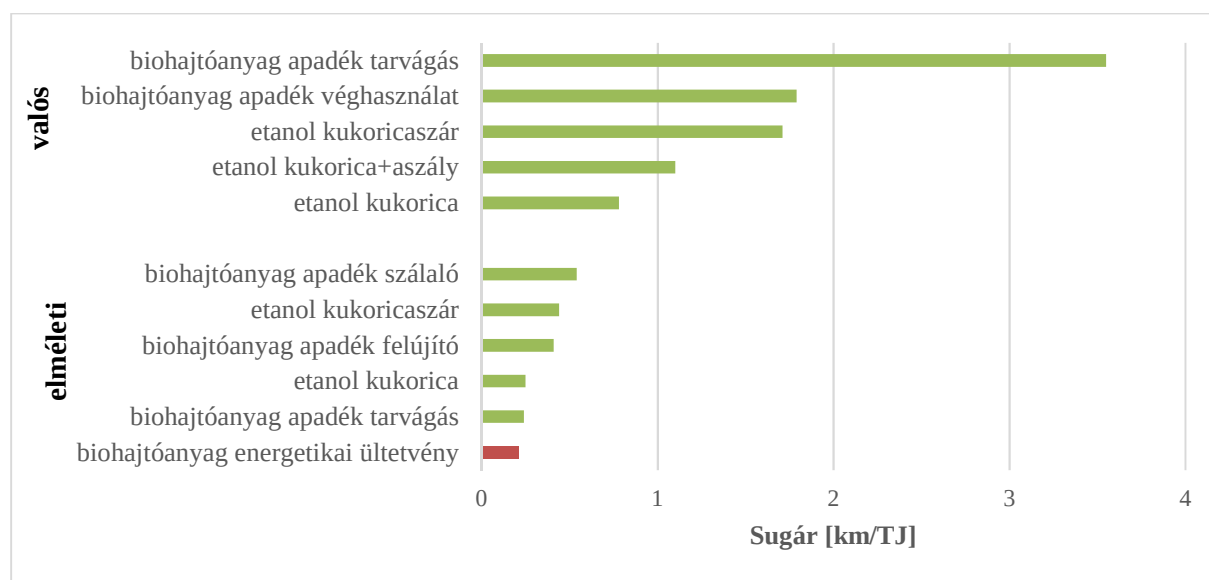


37. ábra: Erdőfelújítási módszer hatása a biohajtóanyag alapanyagbegyűjtési területére

Vágástéri apadék esetében feltételeztük, hogy az erdőterületek koncentrált elhelyezkedése nagyban csökkenti az alapanyag lábnyomot. Kiterjedt erdőségek – elsősorban földtani, időjárási adottságok következtében – Észak-Magyarország és Dél-Dunántúl hegyes-dombos vidékein

alakultak ki. Így innen választottam a mintaként vett erdészetet. Komárom-Esztergom megyében a Pilisi Parkerdő Zrt. 16 475 ha területet kezel, amelyből erdőterület 15 061 ha. A terület nagy részét - több mint 10 ezer hektárt - vágásos üzemmódban kezelik, többségében keménylombos fafajok találhatók. A 2011 – 2021-ig tartó erdőtervek előírásai alapján a három erdészet területén 89 em^3 a fakitermelési lehetőség egy évre eső mértéke. Az összes lehetőségen belül 55 em^3 a véghasználat, amelyből csupán 14 em^3 a tarvágás. Ez jóval az országos átlag alatt marad, de a jövő várható erdőfelújítási módszereit jól követi. Ténylegesen a tervezettnél csupán 70–75%-a kerül kitermelésre [KEMOH, 2015]. Ezen paraméterek alapján 10 GJ bioolaj előállításához 6,3 ha-ra van szükség az összes véghasználat figyelembe vételével, míg 10 GJ biohajtóanyag előállításához 10,1 ha-ra. Kizárólag a tarvágott területek esetében $39,5 \text{ ha}/10 \text{ GJ}_{\text{biohajtóanyag}}$ az eredmény.

Amennyiben vizsgálatainkat egy tervezett üzem körüli körzetre terjesztjük ki jól látható a különbség a különböző alapanyagok begyűjtési körzeteire vonatkozóan. Elméleti esetben az erdészeti melléktermékek mutatták a legkisebb szükséges begyűjtési területet, addig valós körülmények között a mezőgazdasági fő- és melléktermékek lényegesen kisebb körzetből gyűjthetők be, lásd 38. ábra.



38. ábra: 1 TJ energiatartalmú biohajtóanyag alapanyagának gyűjtőterülete

Az eredmények további kérdéseket vetnek fel. Vajon a melléktermék alapú biohajtóanyagok valóban beváltják-e a hozzájuk fűzött reményeket, ha betakarításuk és szállításuk során sokkal nagyobb károsanyag kibocsátás történik, mint az első generációs biohajtóanyagok alapanyagai esetében? A potenciálfelmérés során megmutatkozott, hogy döntően mezőgazdasági melléktermékek, azon belül is a kukoricaszár áll rendelkezésre, azonban begyűjtése és biohajtóanyag célú hasznosítása nem kiforrott. A kereskedelmi méretekben is működő decentralizált technológia elsősorban a dendromassa hasznosítását teszi lehetővé. A vágástéri apadék begyűjtése problémás, az erdészetek ezirányú fejlesztése folyamatban van.

5.3 Energetikai ültetvények biohajtóanyag célú termesztése

Az energetikai ültetvények a hőtermelésen túl, az egyre nagyobb teret hódító lignocellulóz biohajtóanyag előállításának alapanyagaként is szolgálhat. Kis területen nagy mennyiségű energiahordozó állítható elő, hozama viszonylag kiegyenlített. A technológiaválasztásnál elsősorban azt vettem figyelembe, hogy már sikeresen működő eljárás legyen, elkerülve a bezárt üzemek technológiai bizonytalanságait. A decentralizált energiatermelés elvét követve kisebb kapacitással rendelkező üzem kiválasztása történt. Az EU-ban egyetlen pirolitikus alapon biomasszából bioolajat előállító üzem működik kereskedelmi méretben, Hollandiában, Hengelóban. Bár az előállított bioolajat egyenlőre csak hő- és villamos energia előállítására hasznosítják, azonban a jövőben elképzeléseik között szerepel a közlekedési célú biohajtóanyaggá történő feldolgozás. Magyarországon a finomítói kapacitás rendelkezésre áll, így a lehetőség adott lenne a hajtóanyag előállítására.

Kapcsolatfelvétel után a Hollandiában működő üzem képviselője kérésemre megküldte az üzem optimális működéséhez szükséges alapanyag követelményeket, lásd 13. táblázat. Jelenleg ők pelletszállítás során keletkező hulladékot hasznosítanak, amely egy viszonylag tiszta faanyag. Emellett több egyéb alapanyag tesztelésével is foglalkoztak, azonban ezek megbízás keretein belül történtek, így információt kihozatali értékre titoktartási kötelezettség miatt nem kaptam.

13. táblázat: A BTL-BTG pirolízis technológia bemenő alapanyagra vonatkozó követelményei

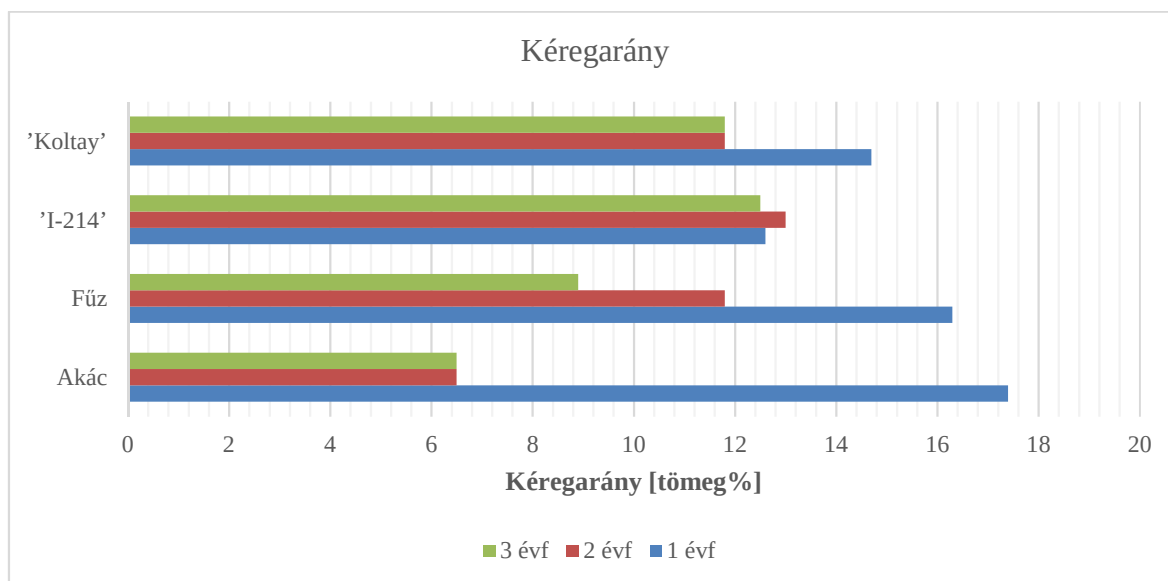
Üzemi jellemzők		
Alapanyag igény	37 200 t/év	
Pirolízis olaj kihozatal	24 000 t/év	
Termelhető elektromos áram	4 500 MWh	
Hasznosítható gőz	80 000 t/év	
Alapanyagra vonatkozó követelmények		
	Még elfogadott	Várt
Nedvességtartalom (wt%)	<55	35
Fűtőérték (MJ/kg szá.)	>17	17,5
Részecskeméret (wt%)	vastagság: <3 mm hosszúság: max. 30 mm	
Részecske eloszlás (wt%)	100%<3mm 80% < 2 mm 30%<1mm <0.1 mm<1%	
Hamutartalom (wt%)	<2	<1,5

5.3.1 Kéreghányad és hamutartalom jelentősége az energetikai hasznosíthatóságra

A 2.3.2 fejezetben bemutatott pirolitikus technológia követelményei szerint az üzembe feladott alapanyag egyik legfontosabb jellemzője a kéreghányad és az alapján a hamutartalom mennyisége. A kéreg által eredményezett magas hamutartalom problémát okozhat egyrészt az égető kemence falán a lerakódások által, másrészt a magas hamutartalom nagyobb részecske kibocsátást és nagyobb mennyiségű elhelyezendő tüzelési mellékterméket

eredményez. A pirolitikus biohajtóanyag gyártásban a magas hamutartalom a jelentős alkáli- és az alkáliföldfém tartalom révén rontja a bioolaj kihozatait, emeli a termék instabilitását.

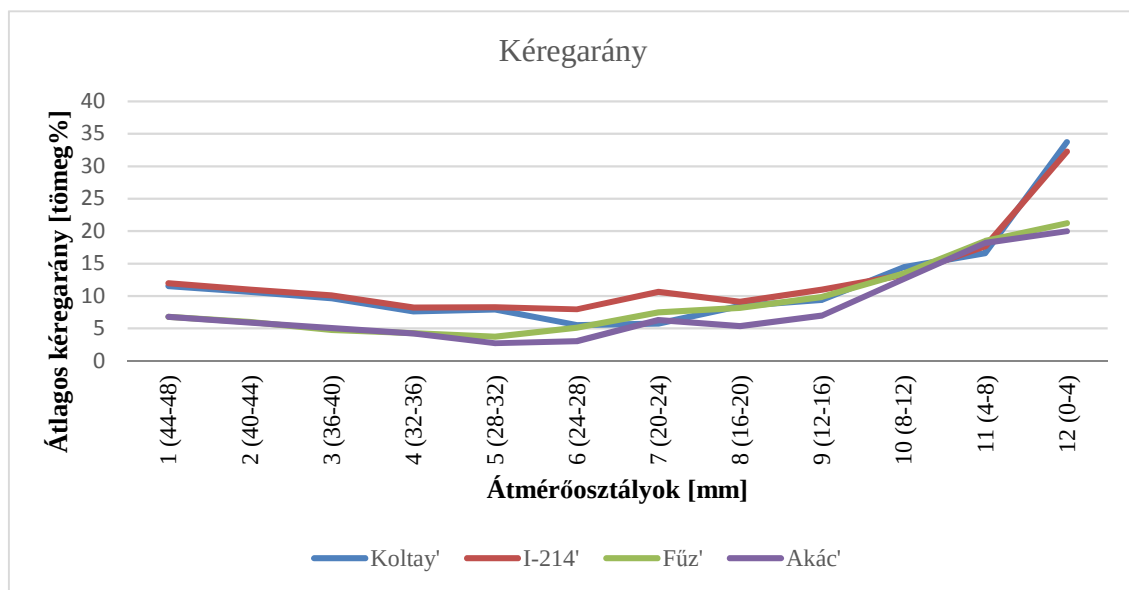
Így a rövid vágásfordulójú fás szárú mintaültetvényről beszerzett alapanyagok alkalmazhatóságát elsősorban a kéregarány és a hamutartalom tekintetében kezdtem vizsgálni fűz, akác és nyár fafajoknál/fajtáknál. A különböző vegetációs korban kapott értékek abszolút száraz fatömegre vonatkoznak, lásd 39. ábra.



39. ábra: Adott fafajra/fajtára jellemző fatömeghez viszonyított kéregarány

Jól látható, hogy a kéregtartalom erősen függ a vágásforduló és faj megválasztásától. A legkisebb kéreghányaddal az akác és a fűz, míg a legmagasabbal a nyár fajták rendelkeznek. A vágásfordulók hosszával a kéregtartalom csökkent, különösen a második évre, fűz esetében a harmadik évben is.

A különböző átmérőnél mért kéregtartalom erősen eltérő, a legkisebb átmérőosztályban a sarjak akár a 20,0–33,7%-os értéket is elérték. A legnagyobb átmérőnél mért kéregtartalom 6,7–11,7% között változott akác, fűz és nyár fajoknál emelkedő sorrendben, lásd 40. ábra. Az adatok jól illeszkednek az irodalomban megjelölt adatokhoz alacsony vágásfordulójú ültetvények esetében, ahol fiatal sarjaknál 18-27% közé, míg idősebb sarjak esetében 10–15% közé teszik a tömeg alapján kifejezett kéregtartalmat [Klasnja et al., 2002; Adler et al., 2005].



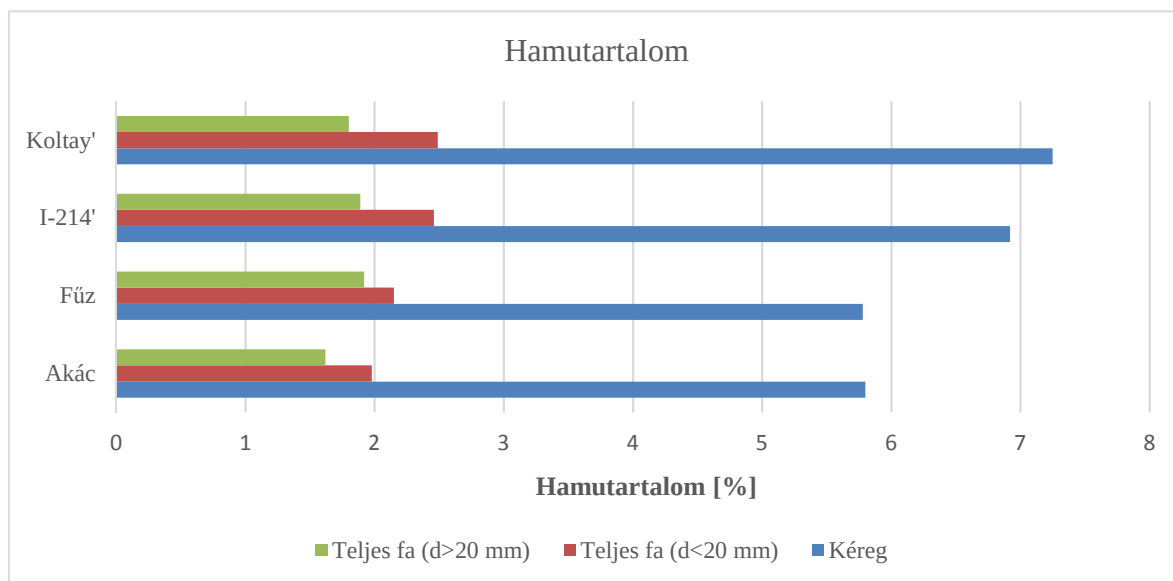
40. ábra: Az átmérőosztályhoz tartozó tömeg alapján számított átlagos kéregarány

A hamutartalom a kéreghányad emelkedésével növekszik, amelyet izzítókemencében vizsgáltam, lásd 41. ábra. Meghatározó tényező, hogy egy, kettő, három, vagy több éves vágásfordulóval történik az ültetvény betakarítása.



41. ábra: Hamutartalomvizsgálat izzítókemencében

A tüzelő berendezés folyamatos kiszolgálása és a könnyebb betakarítás érdekében a minél rövidebb vágásforduló alkalmazása lenne kedvező. Ebben az esetben azonban gyakrabban kell megismételni a betakarítást és szállítást, amely plusz CO₂-kibocsátással jár. Hátrány továbbá, hogy a kicsi átmérővel rendelkező sarjak esetében magas a kéregtartalom, ami magas hamutartalom keletkezésével jár, lásd 42. ábra. A hamutartalmat a fűtőértékhez hasonlóan külön kéregre és külön kérges fára is meghatároztam.



42. ábra: Hamutartalom vizsgálat eredményei a különböző fafajok/fajták esetében

A tiszta kéreg hamutartalma a fafajtól függően 3–4-szer akkora, mint a kérges fa hamutartalma. Ez azt jelenti, hogy a rövidebb vágásfordulójú ültetvényekről származó alapanyag hamutartalma 2–3% közötti és ezáltal a hamuban visszamaradó szénttartalom is magasabb. Ezt a legújabb kísérletek alapján visszajuttathatjuk a talajba trágyaként alkalmazva.

Meg kell azonban jegyezni, hogy a hamutartalom-mérés során csak a növekedése során törzsre tapadt természetes szennyeződések voltak jelen. A tüzeléstechnikában keletkező magas hamutartalom okozói pedig elsősorban a betakarítás során kéregre tapadó külső fizikai szennyezők [Gyuricza, 2010]. Így az energetikai hasznosítás során a külső fizikai szennyezők megelőzése az elsődleges feladat a hamutartalom csökkentésére.

Ennek egyik lehetősége az egy menetes ültetvény betakarítás, amely járvaaprító alkalmazásával, mint pl. Claas Jaguar előzi meg a dendromassa talajjal való érintkezését. Hátránya, hogy csak nagyobb egybefüggő területek esetében érdemes a nagyfokú gépesítés megvalósítása.

További lehetőség a szelelő rosta alkalmazása. A Jákófa Kft.-nél működő eljárás nagyban elősegíti a hasznosítandó alapanyag tisztítását a kéregre rakódott szennyeződésektől. Az eredetileg mezőgazdasági terménytisztítóként alkalmazott vibrációs rosta szélszekerénnyel együtt kerül alkalmazásra, amely nagyban csökkenti a szennyeződések az aprítás után. A technológiai sorba a Jákófa Kft.-nél az aprító után a pelletáló sorba került beépítésre. A kétfokozatú rostálás 3,0 cm, majd 0,3 cm szemcseméret alatti szennyezők leválogatását oldotta meg. A tapasztalatok azonban azt mutatták, hogy a visszamaradó fűrészpor-szennyezőanyag keverék még mindig sok hasznosítható anyagot tartalmaz, így szélszekerénnyel építették egybe, amely az apró szennyezőket képes leválasztani a hasznosítható biomasszáról. A gép felépítése és működésének elve a 11. mellékletben látható. Hátránya, hogy kis szemcseméretű alapanyagot igényel, ami emeli az aprításhoz használt energiaigényt. Ez az erdészeti apadék esetében még inkább hasznos eljárásnak mutatkozik, ahol a vonszolás következtében kialakult magas szennyeződés és hamutartalom mutatkozik.

BTG BioLiquids B.V. képviselőjénél további lehetséges megoldások után érdeklődtem. Arra kerestem a választ, hogy a magas hamutartalmú energetikai ültetvényekről származó dendromassza hogyan viselkedik nagyüzemi körülmények között a bio-olaj előállítás során. Információik szerint a fő problémát a nagy hamutartalom és a magas alkáli (Na, K) és alkáli földfémek (Mg, Ca) jelenléte okozza, amely katalitikus aktivitást mutat pirolitikus eljárás során, továbbá a bioolajban megjelenve a termék stabilitását rontja.

Az ERTI munkatársai által a Bajti ültetvény faanyagára végzett mezoelemtartalom mérések alapján hasonlítottam össze a különböző vizsgált fafajokat. A mezoelem tartalom mérési eredményeit a 14. táblázat tartalmazza.

14. táblázat: Mezoelemtartalom a vizsgált fafajok esetében az ERTI mérései alapján

	Ca [mg/g sza.]	Mg [mg/g sza.]	Na [mg/g sza.]
Akác-1 alsó fa	1,98	0,32	<0,10
Akác-1 alsó kéreg	21,5	0,94	<0,10
Akác-2 középső kéreg	22,7	1,06	<0,10
Akác-3 felső fa+kéreg	11,2	0,82	<0,10
Nyár-1 alsó fa	2,01	0,62	<0,10
Nyár-1 alsó kéreg	17,6	1,97	<0,10
Nyár-2 középső fa	3,27	0,65	<0,10
Nyár-2 középső kéreg	18,1	2,82	<0,10
Nyár-3 felső fa+kéreg	13,5	2,17	<0,10
Fűz-1 alsó fa	3,12	0,67	<0,10
Fűz-1 alsó kéreg	21,7	1,99	<0,10
Fűz-3 felső fa+kéreg	2,26	0,51	<0,10

Az adatokból megállapítható, hogy az egyes fafajok között jelentős különbség nem adódik a kalcium esetében. A kéreg viszont mintegy 7–10-szer magasabb koncentrációt mutat, mint a tiszta faanyag, amely enyhén emelkedik a kisebb sarjátmérők felé. A magnéziumtartalom esetében az akác rendelkezik a legkisebb elemtartalommal, amelyet a fűz és végül a nyarak követnek. A nátriumtartalom értéke minden esetben 0,1 mg/g érték alatt volt. Az alacsonyabb vágásfordulójú sarjak mezoelem tartalma, a kéregtartalommal párhuzamosan emelkedik.

Jelenlétük tüzeléstechnikai szempontból – főleg a salaklágyulás és olvadás szempontjából lényeges. A fluid ágyas tüzelőt úgy tervezték, hogy 950 °C fok alatt maradjon. E fölött a hőmérséklet fölött indul meg a hamuolvadás és a szennyeződés a tüzelőberendezés falára rakódik. Másrészt a pirolitikus eljárások során a magas hamu és mezoelem tartalom csökkenti a fa/olaj kihozatali arányát és a reakciót eltolja gáz kihozatal irányába, ezzel rontva az energiamérleget. A tiszta fa esetében jellemzően a fa fűtőértékének 60%-a alakul olajjá, míg a maradék 30% az égés során hőenergiát hoz létre. A keletkező gáz- és kátránymennyiség bár energianyerésre felhasználható, azonban nem a főterméket gazdagítja.

Az Empyro üzeme Hengeloban képes a biomassza hamutartalmának bizonyos mértékű tűrésére, a maximális érték 2% körül alakul, amely azonban már az olajkihozatal csökkenését eredményezi. A beadagolni kívánt alapanyag alkálifém és alkáliföldfém kritikus koncentrációja felett a jelenlegi Empyro technológia módosítását igényli. Az ültetvények 20 mm átmérő feletti

sarjai a 2%-os hamutartalom érték alatt maradnak, azonban az optimális 1,5%-ot csak az akác közelíti meg a nagyobb sarjak esetében. Így mindenképpen ajánlott a hosszabb vágásfordulóval történő termesztés, valamint az ültetvényről származó alapanyag további tiszta fa, pl. kéreg nélküli faipari melléktermékekkel történő keverése.

A pirolízis során minél szélesebb alapanyagbázis hasznosíthatóságának érdekében intenzív biomassa előkezelésére vonatkozó kutatások indultak meg. Alternatív megoldásként lehetőség van a biomassa tüzelőberendezésbe történő betáplálása előtt annak mosására, hogy az alkáli fémek és az alkáli földfémek által okozott lúgtartalom a kritikus szint alá csökkenjen. Egyik megoldás, hogy a pirolízis előtt savas mosást alkalmaznak, ezzel részben eltávolíthatóak a biomasszában található ásványi anyagok. A kezdeti kísérletek során Raavendran és mtsai. (1995) egy kétlépéses mosási eljárást alkalmaztak. Az első lépésben az alapanyagot 10%-os sósavval 60°C-on 48 órán át folyamatos keverés mellett, majd egy második mosással 5% NaOH-al 90°C-on 1 órán át kezeltek. Ezt követően a biomasszát desztilláltvízzel mosták, szűrték és szárították. Ez a megközelítés javította a kihozatalt, de a kereskedelmi megvalósítás irreálisnak tűnik, mivel az eljárás a biomassa szervesanyag tartalmára is hatással van, továbbá a pirolitikus technológia max. 5–10%-os nedvességtartalmat visel el, így az előkezelés utáni szárítás tovább rontja az energiamérleget.

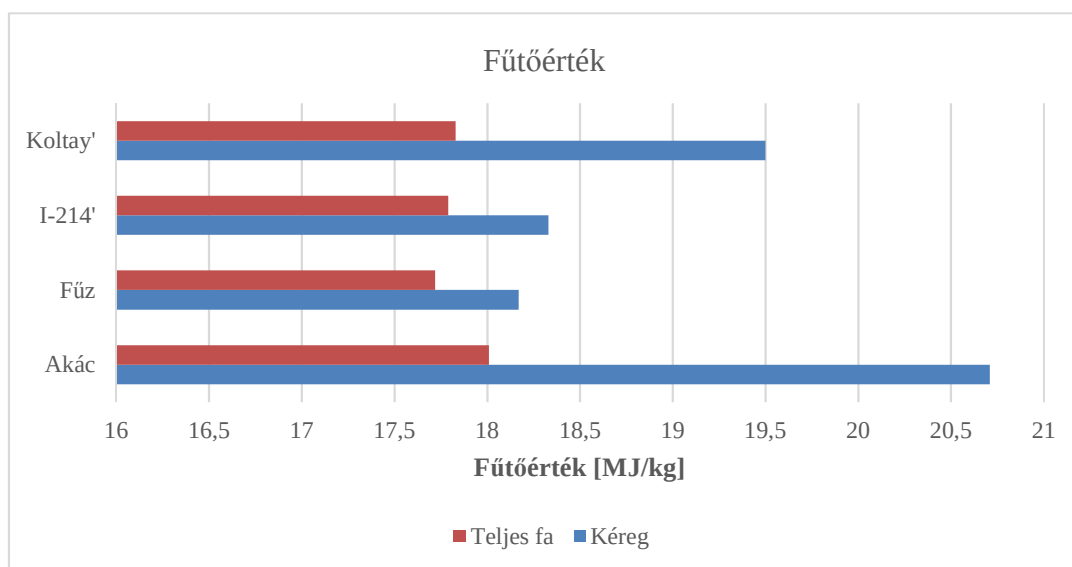
Újabb kutatások sokkal környezetbarátabb és kevésbé költséges eljárást javasolnak. Oudenhoven et al. (2013) a pirolitikus eljárások során keletkező szerves savak segítségével távolítják el a biomasszából az ásványi anyagokat. Fenyő faanyaggal végzett kísérletükben a faanyag gyorspirolízise során keletkező gőzöket kettő lépésben kondenzálták, majd a keletkező folyadékkal 90°C-on 2 óra alatt távolítják el az alkálifémeket és alkáli földfémeket az alapanyagból. Ez a megközelítés 48%-ról 56%-ra növelte a folyékony fázis hozamát, miközben elkerüli a külső oldószerek használatát.

Banks és munkatársai (2014) ioncserélt víz, HCl és Triton X-100 nevű felületaktív anyag felhasználásával előkezelt miscanthus pirolízisét vizsgálták. Az előkezelt anyagból előállított bioolaj mind stabilitást, mind víztartalmat tekintve kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkezett, továbbá a Triton X-100 felületaktív anyag 1,00%-ig történő növelésével fokozódott pirolízis olaj termelése.

További ezirányú ígéretes kísérletek a „residue2heat” EU-s projekt keretében folynak (2016-2019). A projekt célja mezőgazdasági és erdészeti melléktermékek felhasználásával, fenntartható módon folyékony tüzelőanyag előállítása, valamint az iparág CO₂-kibocsátásának csökkentése.

5.3.2 Fűtőérték és sűrűség vizsgálata

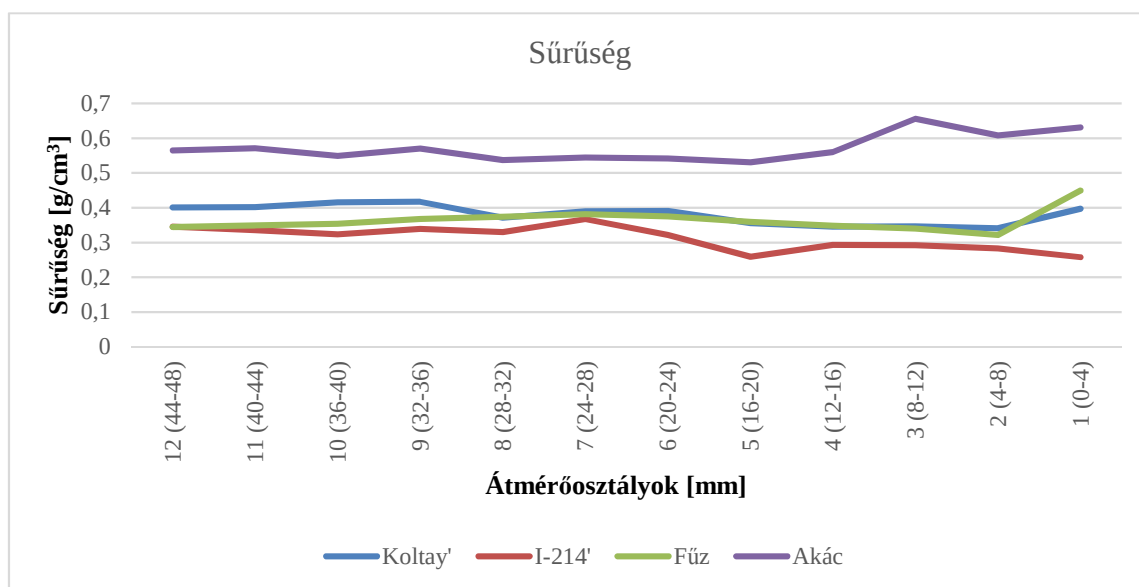
A bioolaj kihozatalt nagymértékben befolyásolja a bemenő alapanyag energiatartalma. Az erre vonatkozó követelményeket az alapul vett technológia legalább 17 MJ/kg-ban határozza meg, de optimális esetben az alapanyagoknak 17,5 MJ/kg értéket kell elérnie száraz anyagra vetítve. Ezért az energetikai ültetvényről származó alapanyagoknak kaloriméterrel történő fűtőérték vizsgálatát is elvégeztem kérges faanyagra és külön kéregre egyaránt. A legmagasabb fűtőértéket az akác esetében tapasztaltam, amely elérte a 18 MJ/kg-ot, de a többi alapanyag is meghaladta az optimális 17,5 MJ/kg-os értéket, lásd 43. ábra.



43. ábra: Fűtőérték vizsgálat kéregre és teljes fára

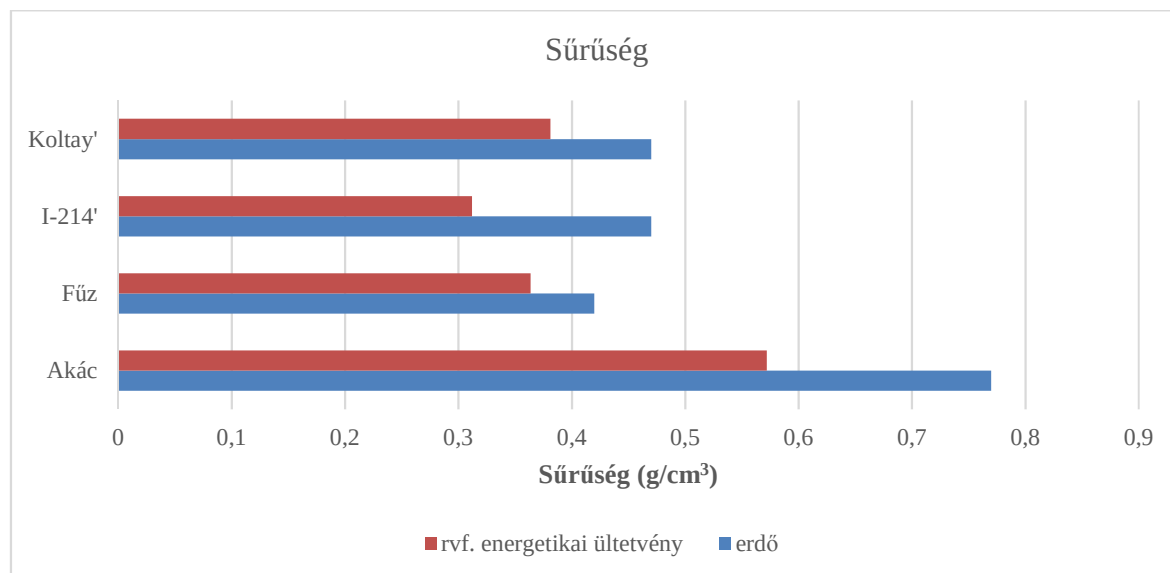
A mérések során arra a megállapításra jutottam, hogy az energetikai ültetvényekről származó különböző fajoknál és fajtáknál eltérő mértékben ugyan, de a kéreg nem csak magasabb hamutartalommal, hanem magasabb fűtőértékkel is rendelkezik, mint a kérges fa abszolút száraz tömegre vetítve. Ez a kéreg magasabb lignin tartalmának köszönhető. Az I-214-es klón kérgének lignintartalma mintegy 24% irodalmi adatok szerint, a fűzé akár a 41%-ot is elérheti [Danon et al., 1996; Adler et al., 2005]. A magasabb lignintartalom magasabb fűtőértéket eredményez [Stevanovic Janezic et al., 1995]. Ez azonban valós tüzeléstechnikai körülmények között nem érzékelhető, a kéreg magasabb nedvességtartalma következtében.

További fontos energetikai tulajdonságot befolyásoló tényező a fa sűrűsége, amiből a fa egyéb fizikai tulajdonságaira is következtethetünk. Veperdi (2005) szerint a fajta megválasztásakor nemcsak a hozamot kell figyelembe venni, hanem a fajta térfogatsúlyát (sűrűség/nehézségi gyorsulás kb. 10 s/cm^2) is, mivel ez közvetlenül határozza meg a szárazanyag-produkciót. A különböző törzsmérő osztályokhoz rendelt sűrűség adatok az egyes fajoknál/fajtáknál nem mutatnak szignifikáns eltérést, a lefutásuk közel lineáris a törzsben, lásd 44. ábra. Míg az erdei fákban a hossz és keresztirányú eltérések is meghaladják az akár $0,3 \text{ g/cm}^3$ -t, addig az energetikai ültetvényeknél $0,1 \text{ g/cm}^3$ körül marad a maximális eltérés.



44. ábra: A vizsgált fafajok/fajták átmérőhöz tartozó átlagos testsűrűsége

Így az egyes fajták esetében az átmérőkhöz tartozó sűrűségek átlagát vettem és hasonlítottam össze a különböző fafajoknál/fajtáknál. A legnagyobb sűrűséget az akác mutatta, amit a Koltay nyár, a fűz és végül az olasz fajtájú nyár követett. Az irodalmi adatokból vett erdei fákra jellemző sűrűségekkel összevetve, az energetikai ültetvényekről származó faanyag sűrűsége mintegy 15–35%-al marad el, lásd 45. ábra.

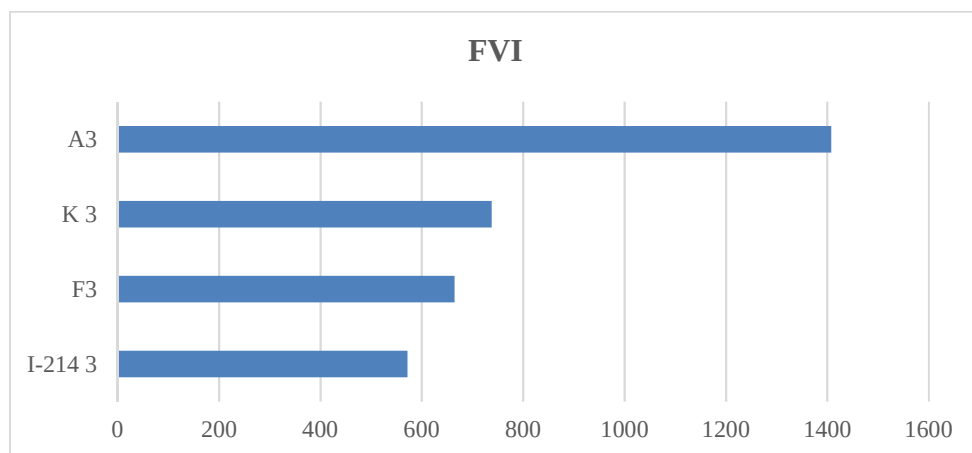


45. ábra: A vizsgált fafajok/fajták átlagos sűrűsége

5.3.3 FVI index meghatározása

Végül a fent ismertetett adatok összesítésével elvégeztem az Ivelics (2006) által kidolgozott energiafa minőségi index szerinti osztályozást. Az eredmények alapján az akác kiemelkedik a többi vizsgált faanyag közül, amit összességében nagyon kedvező tüzeléstechnikai

tulajdonságai okoznak, mint alacsony betakarításkori nedvességtartalom, alacsony kéregtartalom, magas sűrűség és magas fűtőérték, lásd 46. ábra.



A-Akác, K-Koltay, F-Fűz

46. ábra: Az energiafára kidolgozott minőségi osztályozás eredményei 3 éves ültetvényen

5.4 Energetikai célú ültetvények ökológiai szerepe

Az alapanyag hasznosíthatóságán túl a komplex elemzés során az alapanyag előállításának is nagyon fontos szerepe van. Fontos, hogy úgy termesszük őket, hogy az élelmisznövények számára is alkalmas termőterületeket ne foglaljuk el, ezzel a közvetett földhasználat változás követelményeinek megfeleljünk. Jelenleg nem hasznosított, kedvezőtlen talajadottságú szántóterületeken van erre lehetőség. Ezirányban több kutatást is folytattak az elmúlt években és arra az eredményre jutottak, hogy a megfelelő fafaj megválasztásával sikeresen megvalósítható a termesztés, esetenként az átlagosnál alacsonyabb fahozammal. Ezentúl biztosítani kell a megfelelő tápanyag utánpótlást [Gyuricza (szerk.), 2014; Kovács et al., 2013]. Számos irodalmi forrás állítja, hogy a rövid vágásfordulójú energetikai ültetvények termőhelyének tápanyag utánpótlásában komoly szerepe van a lombzatnak, a felvett tápanyag 60–80%-a jut vissza a talajba a lombhullással [Waring-Schlesinger, 1985; Berthelot et al., 2000].

Ezért 2013 nyarán a terepi méréseimet elsősorban a lombtömeg vizsgálatra összpontosítottam. A mérés jelentősége abban áll, hogy a fás energetikai ültetvények esetében a talajfelszínre, illetve a talajba két forrásból kerülhet a szerves anyag és azon keresztül a szén. Egyrészt az évente újra termelődő levelek hullása során, másrészt a gyökérzetből. A gyökérzet esetében azonban évente csak a hajszálgyökerek kerülnek elbontásra, a teljes gyökérzet pedig csak az ültetvény felszámolása után kerülhet vissza a talajba szecskázva. Így a talaj tápanyag utánpótlását elsősorban a levélzet biztosítja. A levélzet további jelentősége, hogy az energetikai ültetvények intenzív növekedését segíti, amely a magas levélfelületi indexből következő jelentős nettó asszimilációs rátának köszönhető. A fa a levélen keresztül köti meg a szenet annál nagyobb mennyiségben, minél nagyobb levéltömeggel, illetve levélfelülettel rendelkezik, így elsősorban ezeknek a paramétereknek a mérését végeztem el.

Vizsgálataimat bár nem alacsony minőségű mezőgazdasági területre telepített ültetvényen végeztem el, azonban a különböző korú és fajtájú sarjak párhuzamos vizsgálata nagyon jó összehasonlítási lehetőséget adott.

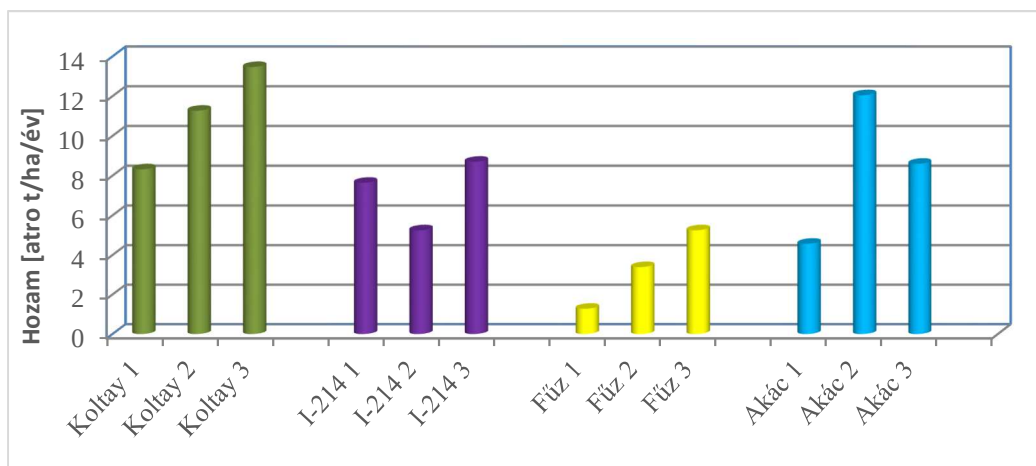
5.4.1 Időjárási adatok összesítése

A vizsgálatokra 2013-ban került sor. A sarjak a három különböző parcellán eltérő korban voltak jelen (1–3 év), így ezt a három vegetációs időszakot magában foglaló évekre (2011–2013) Walter-Lieth féle klímadiagramot készítettem az átlagos hőmérsékleti és csapadékviszonyok ismertetésére, az esetlegesen kiugró időjárási események vizsgálatára. Mindhárom vizsgált évben összességében az éves csapadékösszeg viszonylag alacsonynak mondható.

A lombtömeg vizsgálatokhoz elsősorban a 2013-as év időjárási eseményei a legmeghatározóbbak, a 2011-es és 2012-es év elsősorban a fahozamra voltak hatással, a klímadiagrammok a 12. mellékletben láthatóak. A 2013-as év csapadékosabbnak bizonyult az előző évekhez képest, kivételt ez alól a július hónap mutatott. A tavaszi és kora nyári csapadékos időszak kedvezett a lombzat fejlődésének és a sarjak növekedését is kedvezően befolyásolta.

5.4.2 Hozammérés és a fenometriai paraméterek vizsgálata

Az energetikai ültetvények hozamát a mintaterület három parcelláján párhuzamosan vizsgáltam. A három parcellán az egyedek egymást követő években kerülnek hároméves vágásfordulóval betakarításra. Így a vizsgálati időszakban a betakarítástól számított első, második és harmadik vegetációs időszakban lévő egyedek hozammérésére volt lehetőségem egyidőben. A hozammérések eredményeit a 47. ábrán mutatom be.

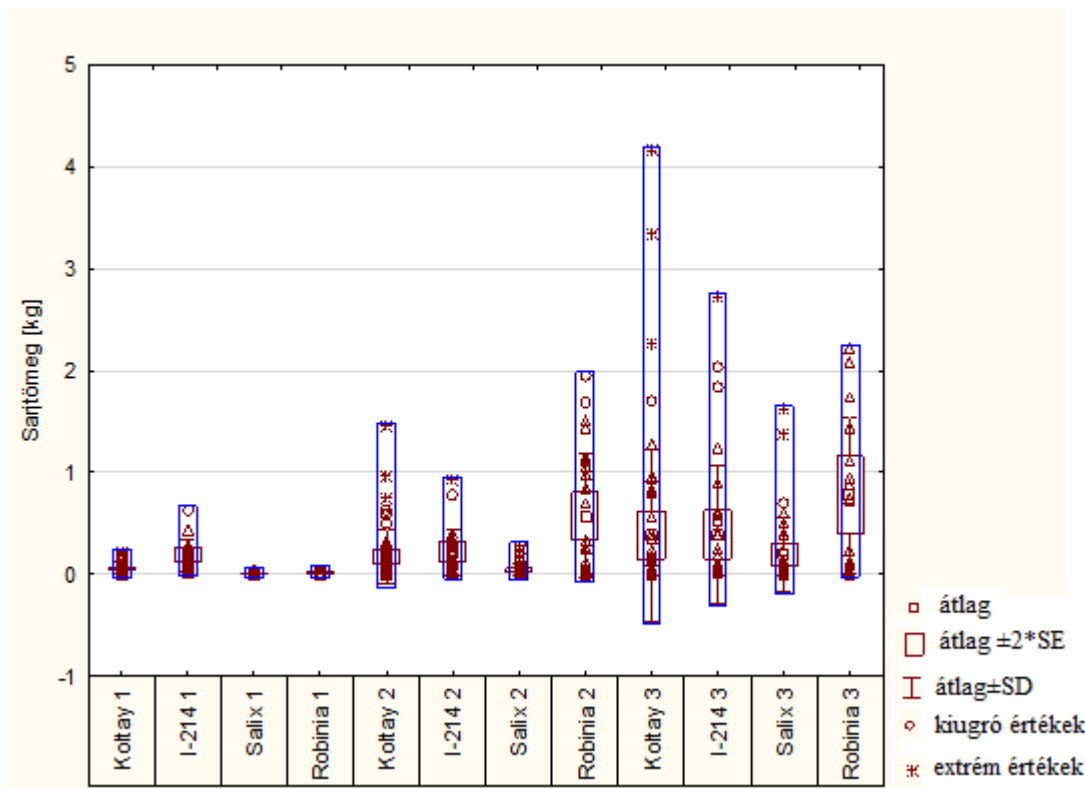


47. ábra: Vizsgált fajok/fajták hozamai a mintaterületen a betakarítástól számított 3 évben

Az I-214-es klón a 2. vegetációs évben mért hozamai elmaradt a várttól, míg az akác hozama kiugró volt. Ez feltételezhetően az előző évek időjárásainak köszönhető, másrészt a dolgozat későbbi pontjában kifejtett alaki sajátosságoknak köszönhető.

A 48. ábrán a Statistica programban elkészített boxplot funkció segítségével grafikusán összegeztem a sarjak tömegének eloszlását. Jó összehasonlítási lehetőséget és magyarázatot ad

a különböző vegetációs ciklusban lévő fajták növekedési stratégiájára. Míg a nyárfajták közül az I-214 már az első évben viszonylag erős növekedést mutatott, addig az akác hozama a második évben kiemelkedő.



48. ábra: A 4 fajta 3 különböző vegetációs évben mért sarjtömeg eloszlása

Általánosan elmondható, hogy a vizsgált területen az akác kivételével a háromévenkénti betakarítás biztosítja a leginkább kedvező hozamot. Az akác esetében a kétévenkénti betakarítás magasabb fahozamot biztosít, amelynek oka, hogy a második évben még nagy számban jelen levő sarjak egy része az árnyékhata miatt a harmadik évre visszafejlődik. A vizsgált mintaültetvényen mért fenometriai paraméterek bemutatása a 15. táblázatban látható.

15. táblázat: Fenometriai paraméterek alakulása a vizsgált nyár, akác és fűz energetikai ültetvényeken

	Átlagos sarjszám [db/tő] (Szórás)				Átlagos tőtömeg [atro kg] (Szórás)			
	'Koltay'	'I-214'	Akác	Fűz	'Koltay'	'I-214'	Akác	Fűz
1. év	14 (6,3)	6 (2,6)	15 (3,3)	13 (8,5)	1,00 (0,27)	0,92 (0,64)	0,55 (0,16)	0,14 (0,09)
2. év	15 (4,1)	6 (0,8)	7 (2,7)	17 (7,9)	2,71 (0,93)	1,26 (0,59)	3,85 (2,15)	0,81 (0,46)
3. év	12 (4,6)	8 (4,2)	4 (0,8)	9 (2,6)	4,85 (1,69)	3,13 (1,18)	3,10 (0,32)	1,89 (0,62)

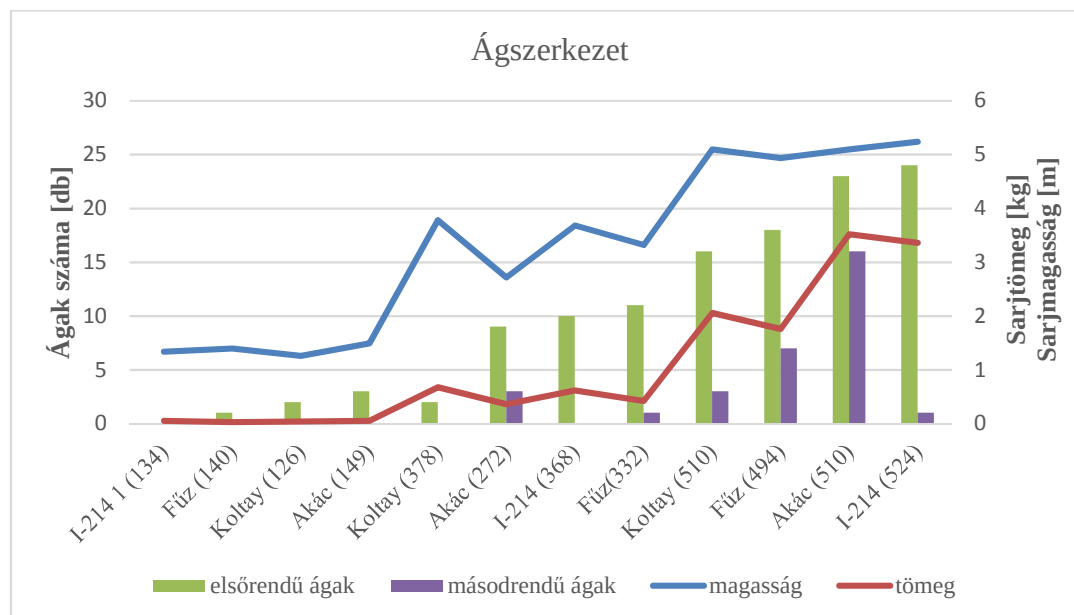
A fűznél a magas sarjszámnak köszönhetően kevésbé intenzív magassági növekedést tapasztaltunk, mértéke átlagosan 2,3 m, ezzel ellentétben az akácnál és a nyaragnál az egyes sarjak gyakran a több mint 4 méteres magasságot is elérik. Jól felismerhető a különbség az

egyes fajták ágszerkezetében. Az olasz nyárnál és az akácnál erőteljesebb oldalágak alakulnak ki, míg a 'Koltay' nyár és a fűz esetében vagy nem, vagy gyengébb oldalágak figyelhetők meg, lásd 49. ábra. Éppen az oldalágak miatti jelentős eltérések miatt a mellmagassági átmérők a különböző energetikai ültetvények esetében nem adnak lehetőséget az összehasonlításra. Ez is bizonyítja, hogy sokkal inkább ajánlott a tőátmérőhöz viszonyított lombtömeg és hozambecslés alkalmazása.



49. ábra: *Populus x euramericana* 'Koltay', *Populus x euramericana* 'I-214', valamint *Salix alba* 'Drávamenti' és *Robinia pseudoacacia* ágszerkezete 2 éves korban

A nagy mennyiségű levél sűrű ágrendszer igényel. Így az akác esetében, a harmadik évben magasabb lombtömeg arányt állapítottam meg a többi fajtaival szemben. Összehasonlítottam morfológiai szempontból a különböző fajtájú 1, 3, 5 m magasságú sarjakat az ágak számának tekintetében, amelyet az 50. ábrán szemléltettem. A Koltay nyár általában elmarad az elsődrendű és másodrendű ágak számában. Ennek a kéreg- és hamutartalom esetében pozitív hatása van.



50. ábra: Ágszerkezet összehasonlítása, hasonló magasságú sarjak esetében

5.4.3 Lombtömeg mérés és alaki vizsgálat

Ahhoz, hogy meg tudjam határozni a lombzat által talajba juttatott tápanyag mennyiségét, először meg kellett határoznom az egyes ültetvények lombtömeg hozamát. A lombtömeggel kapcsolatos vizsgálatok módszertani fejezetben leírtak alapján kidolgoztam egy új eljárást, amely segítségével roncsolásmentesen becsülhető a lombtömeg az energetikai ültetvényeken.

A terepi mérések során vizsgált paraméterekre (sarjtömeg, tőátmérő, mellmagassági átmérő, magasság) regressziós-analízis vizsgálatot végeztem, annak felderítésére, hogy melyik mutatja a legszorosabb összefüggést a lombtömeggel. A regressziós-analízis vizsgálat eredményei alapján általánosságban elmondható, hogy a mért paraméterek közül a sarjtömeg mutatja a legszorosabb összefüggést a lombtömeggel. A korrelációs együttható értéke mind a 4 fajta esetében 0,96 fölött volt. A leggyengébb összefüggést minden esetben a magassággal kaptuk, azonban a fűz kivételével ezek is még mindig szoros összefüggést mutattak, lásd 16. táblázat.

16. táblázat: Korrelációs együtthatók értékei a négy vizsgált fafaj/fajta esetében

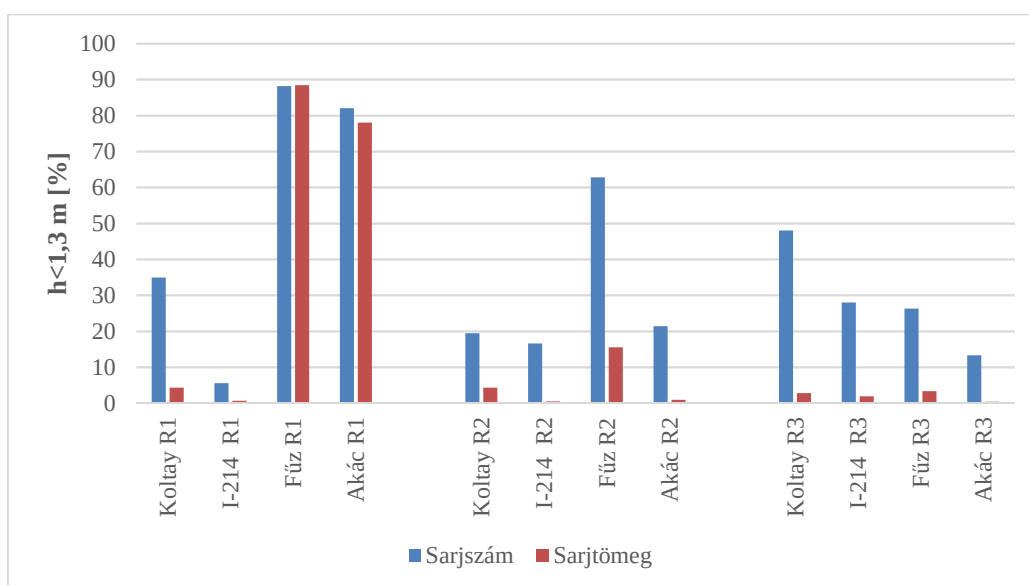
Fafaj/fajta	Vizsgált paraméterek a lombtömeghez viszonyítva	Korrelációs együttható értéke R
<i>Populus x euramericana</i> 'Koltay'	sarjtömeg	0,98805
	tőátmérő	0,97993
	mellm. átmérő	0,97086
	magasság	0,93367
<i>Populus x euramericana</i> 'I-214'	sarjtömeg	0,97474
	tőátmérő	0,97339
	mellm. átmérő	0,92982
	magasság	0,89443
<i>Salix alba</i> 'Drávamenti'	sarjtömeg	0,97024
	tőátmérő	0,95278
	mellm. átmérő	0,96281
	magasság	0,70922
<i>Robinia pseudoacacia</i>	sarjtömeg	0,96441
	tőátmérő	0,95014
	mellm. átmérő	0,95534
	magasság	0,95765

Ezentúl a 3 vegetációs ciklusra külön-külön is vizsgáltam a mért paraméterek és a lombtömeg közötti összefüggést. A növekvő korrallal minden fafaj/fajta esetében egyre szorosabb összefüggést kaptunk szinte minden vizsgált paraméter esetében.

A sarjtömeg és a lombtömeg esetében meghatároztam a korrelációs egyenletet, amely segítségével a későbbiekben becsülni lehet a lombtömeg mennyiségét az ültetvényen, lásd 13. melléklet. Ugyanakkor technikai szempontból a sarjtömeg alapján történő lombtömeg becslésnek nincs gyakorlati haszna, hiszen az ültetvények betakarítására a téli időszakban kerül sor. A lombtömeg meghatározására pedig vegetációs időszakban és évenkénti gyakorisággal

van szükség. Így a lombtömeg meghatározására az egyik lehetőség, hogy a sarjtömeget becsüljük a tőátmérő segítségével, majd a sarjtömeg-lombtömeg összefüggésre felírt egyenlet segítségével kapjuk meg a lombtömeget. A sarjtömeg és a tőátmérő között szoros összefüggés áll fent, amelyet mind a saját méréseim, mind irodalmi adatok bizonyítanak [Ivelics, 2006; Vágvölgyi, 2013; Szabó, 2016].

A másik sokkal egyszerűbb megoldás, ha közvetlenül tőátmérő segítségével becsüljük a lombtömeget. Bár a fűz és az akác esetében a mellmagassági átmérő adott szorosabb összefüggést, azonban a tőátmérővel történő lombtömegbecslés, különösen az első vegetációs évben nagyobb biztonsággal végezhető el. A vágásciklus elején a mellmagassági átmérő nagyon kicsi, vagy a sarj gyakran el sem éri a vágáslaptól számított 1,3 méteres magasságot (>80%). A nyaragnál különösen az olasz fajtánál lassan növekvő tendenciát mutat ez az érték a korral, míg a Koltay nyár esetében a 3. évre eléri a közel 50%-ot. Ez ugyanakkor a sarjtömegek alig több mint 2,5%-át teszi ki, ami a magas sarjszámnak és a fent bemutatott boxplot ábrán látható több „extrém” nagyságú sarjtömegeknek köszönhető. Ugyanakkor ez azt is jelenti a Koltay nyár esetében, hogy a második és harmadik vegetációs évben még mindig nagy számban jelennek meg újabb sarjak, ezáltal az állomány színtezett. Különösen az első vegetációs évben lévő fűz és akác esetében, ahol az 1,3 m alatti sarjak tömege a teljes tömeg több mint 80%-át teszik ki, lásd 51. ábra.



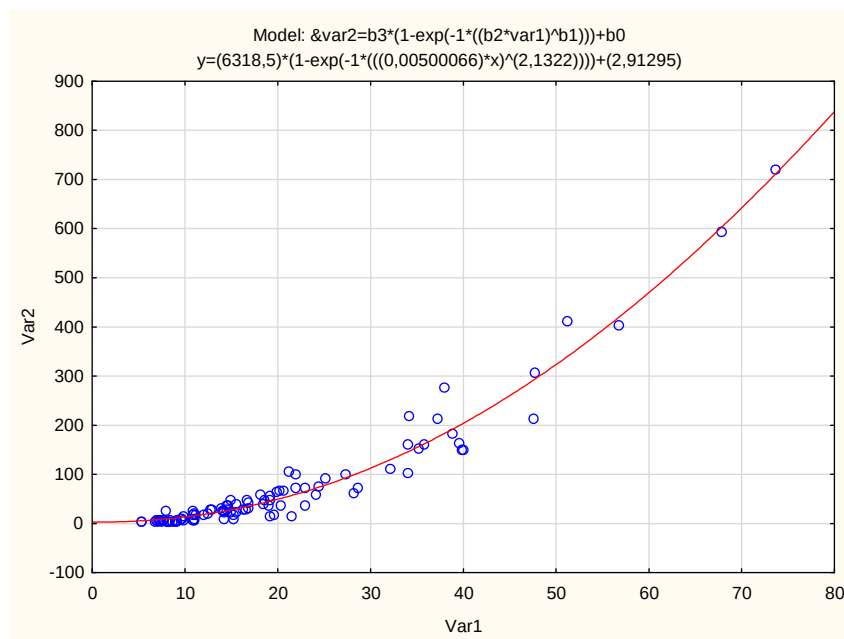
51. ábra: $h < 1,3$ m magasságú sarjak számának és tömegének aránya az összes kategóriánként vizsgált sarjhoz viszonyítva, különböző vegetációs évben

Az egy és kettő éves fűz és az egy éves akác ültetvény esetében kiemelkedően magas tömeget ad az 1,3 m alatti magassággal rendelkező sarjak száma, ami magas kéregtartalmat eredményez a későbbi években mért kéreghányadhoz képest.

A lombtömeg meghatározásához kidolgozott módszer esetében tehát a tőátmérő függvényében határozható meg a lombtömeget, az egyenlet felírásához az Avrami féle telítési függvényt alkalmaztam. A kidolgozott módszer segítségével roncsolásmentesen becsülhető a lombtömeg a vegetációs időszak alatt. Segítségével a sarjak tőátmérőjének ismeretében meghatározható az

ültetvény által a talajfelszínre juttatott lombmennyiség, azon keresztül a talajba jutott szén és a különböző tápanyagok tömege.

Vizsgálataimat mind a négy fajta esetében elvégeztem, minden esetben meghatároztam az egyenletet és a telítési görbe illeszkedésének jóságát. A görbék lefutása a különböző fajoknál/fajtáknál az 52-55. ábrán látható.



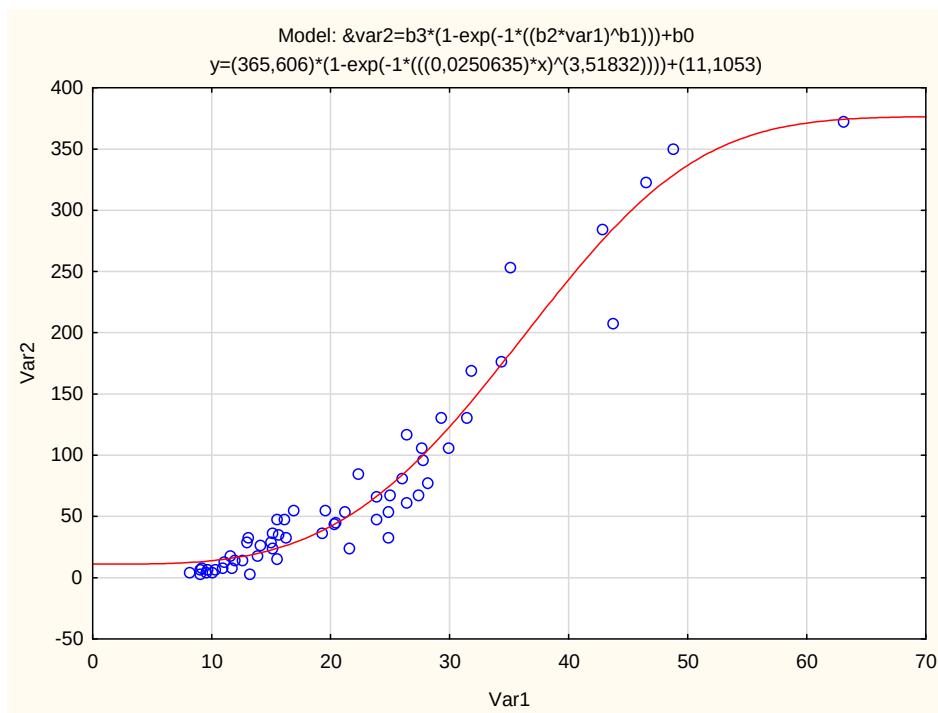
n = 99

R = 0,98

Var1 = x = tőátmérő [mm]

Var2 = y = lombtömeg (atro) [g]

52. ábra: *Populus x euramericana* 'Koltay' lombtömegének meghatározása a tőátmérő függvényében Avrami féle telítési függvény segítségével



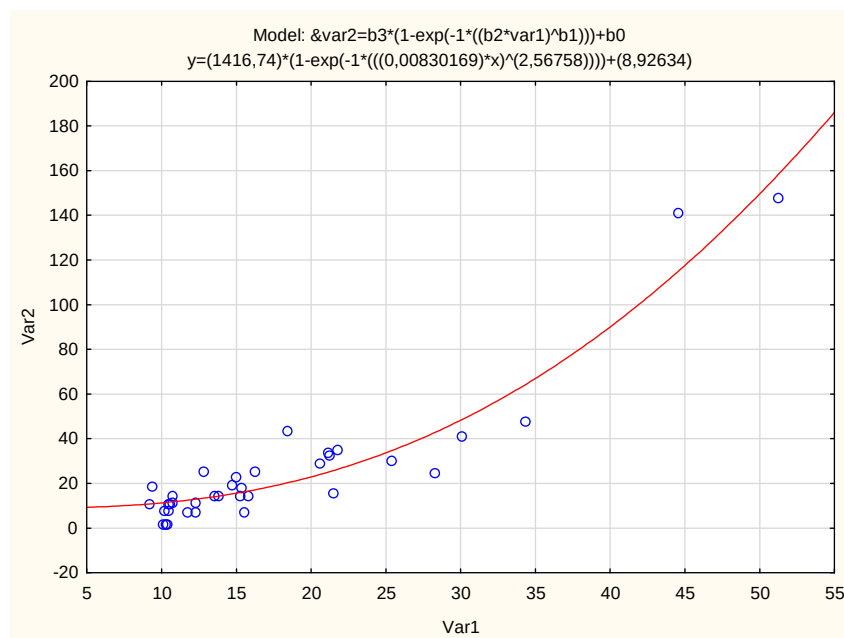
n = 58

R = 0,97

Var1 = x = tőátmérő [mm]

Var2 = y = lombtömeg (atro) [g]

53. ábra: *Populus x euramericana* 'I-214' lombtömegének meghatározása a tőátmérő függvényében Avrami féle telítési függvény segítségével



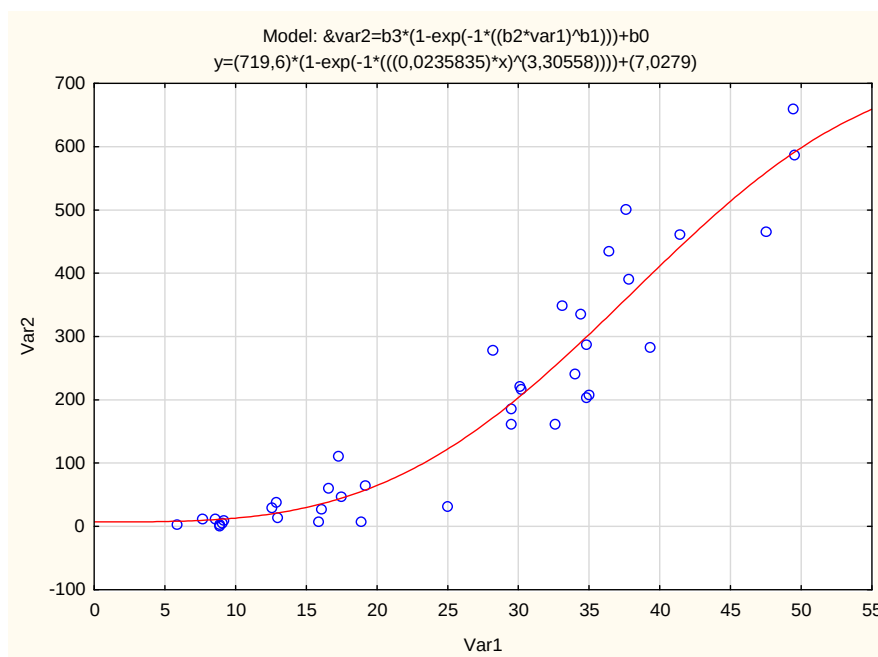
n = 36

R = 0,95

Var1 = x = tőátmérő [mm]

Var2 = y = lombtömeg (atro) [g]

54. ábra: *Salix alba* 'Drávamenti' lombtömegének meghatározása a tőátmérő függvényében Avrami féle telítési függvény segítségével



n = 38

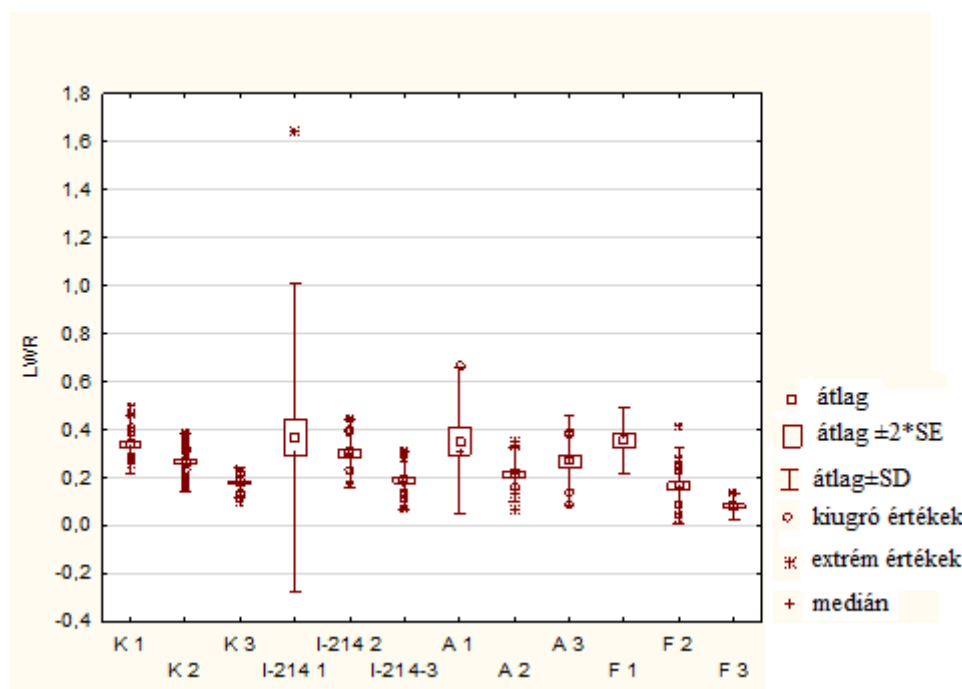
R = 0,95

Var1 = x = tőátmérő [mm]

Var2 = y = lombtömeg (atro) [g]

55. ábra: *Robinia pseudoacacia* lombtömegének meghatározása a tőátmérő függvényében Avrami féle telítési függvény segítségével

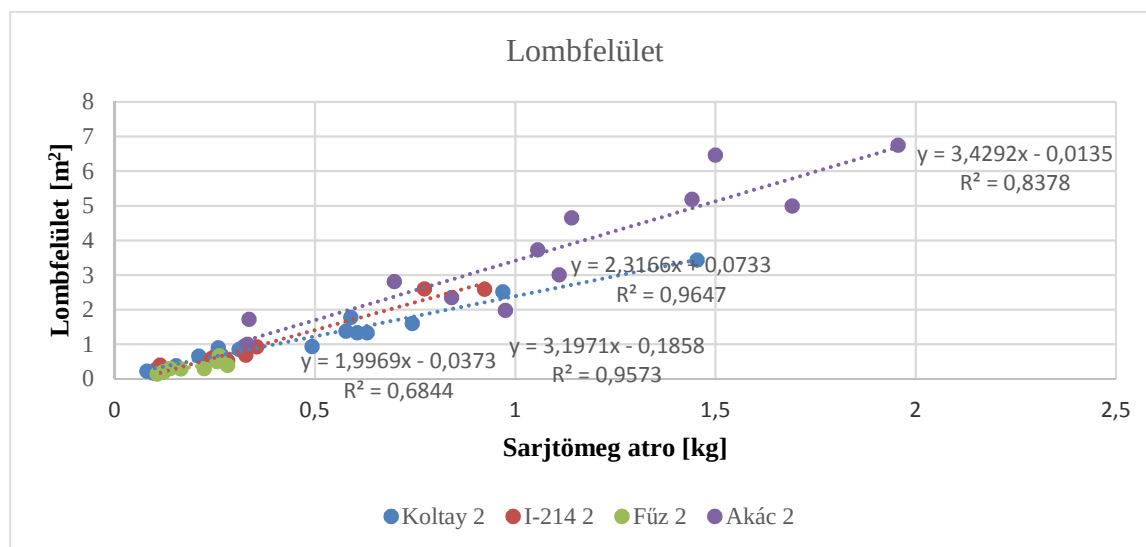
A sarjtömeghez viszonyított lombtömeg a korrál általában csökkent, az akácot kivéve, lásd 56. ábra.



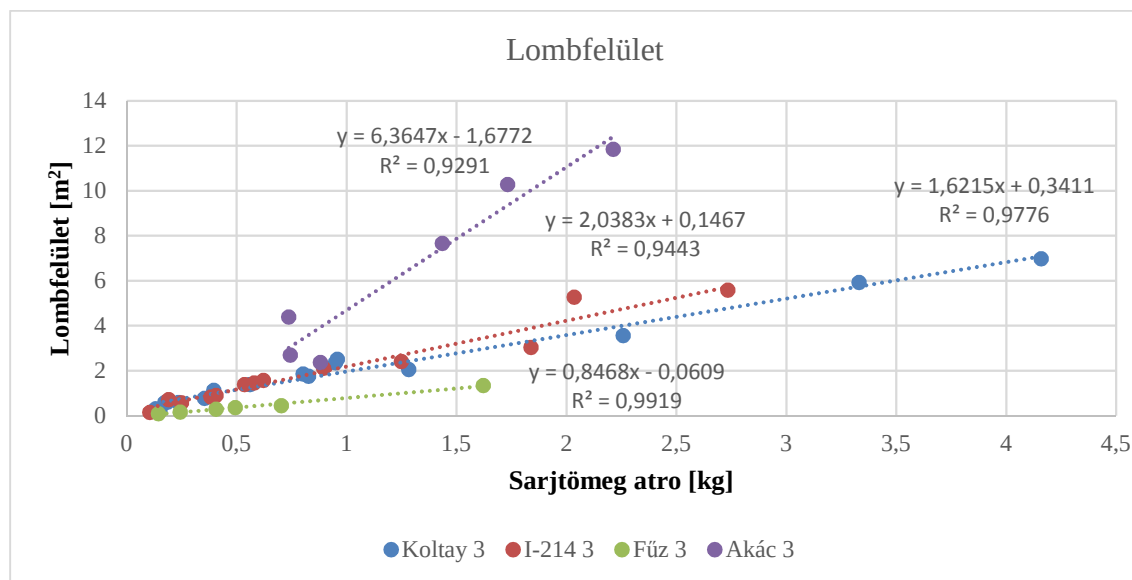
K-Koltay nyár, I-214A-akác, F-fűz

56. ábra: Lombtömeg sarjtömeghez viszonyított aránya a 4 fafaj/fajta esetében 3 különböző vegetációs ciklusban

A magas lombtömeg sűrű ágrendszeret igényel. Az akác esetében, a harmadik évben kiemelkedően magas lombtömeg arányt állapítottam meg a többi fajtával szemben. Ez elsősorban az 50.ábrán bemutatott ágszerkezetnek köszönhető. Mindkettő esetében az elsőrendű és másodrendű ágak száma nagyon magas. A magas lombtömeg mellett az akácnál magas lombfelületet is mértem, mind a 2. és mind a 3. vegetációs ciklusban. A magas lombfelület lehetővé teszi a fokozott asszimilációt, ez pedig a magas biomassza hozamot eredményezi. A lombfelület alakulása a sarjtömeg függvényében az 57-58. ábrán látható.

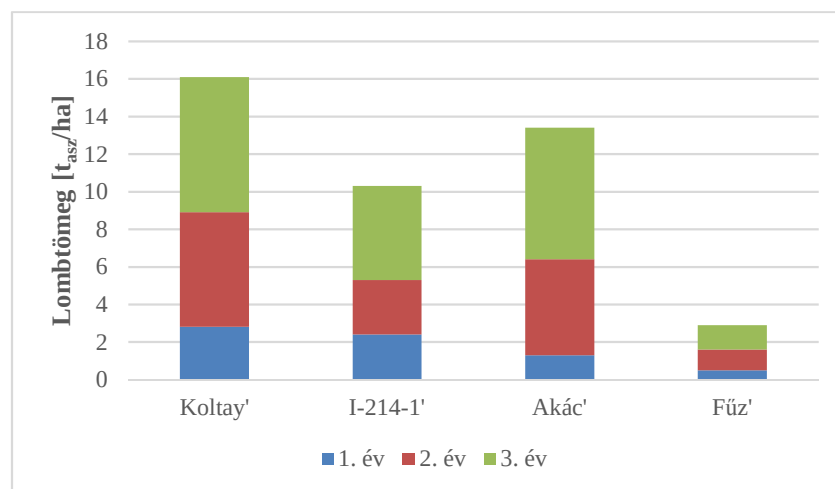


57. ábra: Lombfelület alakulása a sarjtömeg függvényében a 2. vegetációs évben



58. ábra: Lombfelület alakulása a sarjtömeg függvényében a 3. vegetációs évben

Az elvégzett terepi és laboratóriumi mérések alapján meghatároztam, hogy a vizsgált ültetvényen mekkora lombtömeg keletkezik egy hektárra vonatkoztatva különböző korban a különböző fajták esetében, lásd 59. ábra.



59. ábra: Hektáronkénti lombtömeg abszolút száraz tömegben kifejezve az ültetvény egy, kettő és három éves korában

Vizsgálataim alapján a lombképzés a korral szignifikánsan emelkedik. Így talajvédelmi szempontból a minél hosszabb vágásfordulók alkalmazása javasolt, hogy az idősebb sarjak magasabb lombleadása révén a humusz utánpótlás megvalósuljon.

Továbbá a lombtömeg becslés esetén nem alkalmas a már megszokott sarjtömeghozamokra alkalmazott módszer, miszerint a betakarítás évében meghatározzuk a sarjtömeget és az alkalmazott vágásforduló éveinek számával osztjuk. A lombtömeg meghatározás során egy vágásfordulón belül évente szükség elvégezni a lombtömegbecslést.

5.4.4 Biohajtóanyag célú fás energetikai ültetvények karbon mérlege

Elemanalizátor segítségével meghatározásra került a különböző fafajok lombjában található szénttartalom. Az adatok segítségével kiszámítottam a vizsgált ültetvény várható 20 éves élettartama alatt a lomb által avar formájában talajfelszínre juttatott szerves anyag C-tartalmát, lásd 17. táblázat. Ennek irodalmi adatok alapján mintegy 67%-a kerül a talajban tartósan megkötésre, a fennmaradó rész pedig bomlás útján CO₂ formájában jut vissza a légkörbe [Stefanovits et al., 1999], de ez erősen függ az uralkodó talaj és klimatikus viszonyoktól.

17. táblázat: A lomb szerepe a talaj széntartalmának növelésében

Fafaj/fajta	vágásforduló	Lomb [t _{asz} /ha/20év]	Lomb C [t/ha/20év]	Lomb C _{talajba} [t/ha/20év]
<i>Populus x euramericana</i> 'Koltay'	1	56,0	24,0	16,1
	2	89,0	38,1	25,5
	3	107,4	46,0	30,8
<i>Populus x euramericana</i> 'I-214'	1	48,0	20,5	13,7
	2	53,0	22,6	15,1
	3	68,7	29,3	19,6
<i>Robinia pseudoacacia</i>	1	26,0	11,6	7,8
	2	64,0	28,6	19,2
	3	89,4	40,0	26,8
<i>Salix alba</i> 'Drávamenti'	1	10,0	4,5	3,0
	2	16,0	7,2	4,8
	3	19,3	8,6	5,8

Az adatok elmaradnak az erdők által talajfelszínre juttatott szén mennyiségétől. Führer és mtsai. (2015) felmérést végeztek a Gödöllői-dombság erdészeti tájban, Valkó közelében tipikus kocsánytalan tölgyes ill. cseres klímában található cseres faállomány szervesanyag-mennyisége tekintetében. A cserjék szerves-anyagát is figyelembe véve a lombozatban található szén tömegére hektáronként 3 tonnát kaptak. Összességében azonban a teljes föld feletti biomasszához viszonyított lombtömeg arány elmarad az energetikai ültetvényekhez képest, csupán a szénkészlet 2%-a található a lombozatban, további 18%-a az ágszerkezetben és 80%-a a törzsekben. Ezzel szemben az energetikai ültetvények lombozatának karbontartalma a föld feletti biomassza szénmennyiségének akár átlagosan 25%-át is elérheti hároméves vágásciklust vizsgálva.

A magas lomb-avar segíti a talaj vízvisszatartási képességét, ugyanakkor az akác lomb bomlási sebességét figyelembe véve jótékony hatása gyorsan lecsökken. A nyár lombozat a lassúbb bomlási sebessége miatt kedvezőbb.

Az avartakarón túl az ültetvények gyökértömege is nagy mennyiségű szerves anyagot juttathat a talajba. Az ültetvények gyökértömege és azok, valamint a fatest szénttartalomra vonatkozó adatait az ERTI által a vizsgált ültetvényen végzett méréseire alapoztam, lásd 14. melléklet. A finom gyökér mennyisége (<2 mm) átlagosan a teljes gyökérzet 50–60%-át képviseli fás energetikai ültetvény esetében, amely állandónak tekinthető. A finomgyökerek élettartama 90 és 700 nap között változik [Kern et al., 2004; Mc Cormack et al., 2012, Heinsoo et al., 2009]. A paraméterek erősen függenek az elhelyezkedés mélységétől, valamint a talaj tápanyagának rendelkezésre állásától.

Az ültetvényen keletkező dendromassza, a lombozat és a gyökérzet által talajban, valamint légkörbe jutott szén mennyiségét a 18. táblázat foglalja össze hároméves vágásfordulóval számolva a vizsgált mintaterületre vonatkoztatva.

18. táblázat: Energetikai ültetvények természetes szénmérlege

Fafaj/fajta	Cfában [t/ha/20év]	Ctalajba [t/ha/20év]			Clégkörbe [t/ha/20év]		
	Dendro.	Lomb	Gyökér	Összesen	Lomb	Gyökér	Összesen
<i>Populus euramericana</i> 'Koltay' x	140,6	30,8	30,4	62,6	15,2	14,9	30,1
<i>Populus euramericana</i> 'I-214' x	90,8	19,6	19,6	40,2	9,7	9,7	19,4
<i>Robinia pseudoacacia</i>	89,6	26,8	17,7	45,3	13,2	8,7	21,9
<i>Salix alba</i> 'Drávamenti'	52,2	5,8	5,8	11,9	2,8	2,8	5,6

Mint látható, a magas lombtömeg kiemelkedő jelentőségű a teljes karbon mérlegben, hiszen a levélzetnek nagy szerepe van a talaj humusztartalmának megtartásában, sőt növelésében is. Ugyanakkor a gyökér is hasonló szerepet játszik a mélyebb rétegekben, amelyet gyakran elhanyagolnak. A magas szervesanyag tartalom és a belőlük képződött humusz javítja a talajtulajdonságokat, így csökkentheti a trágyázási igényt és az előállítása során kibocsátott szén mennyiségét.

A táblázatokban látható, hogy a vágásfordulónak komoly szerepe van a talajra juttatható tápanyagok tekintetében, az ültetvény 20 éves fenntartása alatt. A talaj szerves anyag tartalmának növelése szempontjából a három éves 'Koltay' nyár és akác ültetvények bizonyulnak a legkedvezőbbnek.

A dendromasszában megkötött szén mennyisége a vágásforduló időtartalmának megfelelően állandó körforgásban van. A faanyag betakarítása téli időszakban történik, amikor a levélzet már lehullott, így a területről csak a légkörből, a fotoszintézis által faanyagban megkötött C mennyiség kerül eltávolításra. A levélzetből származó szén, valamint a gyökérzet azon része, amely a dekompozíció során nem távozik CO₂ formájában a légkörbe, a talaj karbon tartalmát gazdagítja. A szénlekötés hossza talajbiológiai és klimatikus tényezőktől nagymértékben függ. Erdők esetében – fedett, oxigénhiányos környezetben – átlagosan mintegy 50 évig marad a szerves anyag a talajban [Goudriaan-Unsworth, 1990]. Szántóföld esetében azonban, ahol a lebomláshoz több oxigén áll rendelkezésre, már átlagosan csak 20 év szükséges a szerves anyag elbontásához [IPCC, 2006]. Energetikai ültetvények esetében a betakarítás után maradó, fedetlen talaj szénvesztése meglehetősen gyors, a megváltozott hő- és vízviszonyok kedveznek a lebontásnak [Somogyi, 2016].

A fajtaválasztás esetén törekedni kell arra, hogy mindenkor a talajtípusnak megfelelő olyan fafajt részesítsünk előnyben, amelyek nagy szervesanyag utánpótlással képesek növelni a talaj humuszkészletét és ezzel elősegítik a vízgazdálkodás javulását, végeredményben növelik a termőerőt. Bár a vizsgálataim alapján a Koltay nyár után az akácnál keletkezik a legmagasabb alom, azonban az akác lombjának bomlása az alacsony C/N aránynak köszönhetően gyors, már a következő év nyarának végére elbomlik. A következő lombhullásig fennmaradó időben a talaj humusztartalmának elhasználódása utánpótlás nélkül történik [Járó, 1959]. Akác lomb esetében 16,5-ös C/N arányt kaptam, a fűznél valamivel magasabbat, 18,3-at. Ez alapján mindkettő

könnyen bomló szerves anyag. A nyarak esetében 25–29 közötti értéket kaptam, amely könnyen-közepesen bomló anyagok csoportjába sorolható ezzel.

A természetes karbon körforgalom fás szárú energetikai ültetvények esetében rövid, zárt karbonciklust alkot, nem emeli a légkör CO₂-mennyiségét, sőt a fenti eredmények alapján megkötés történik a talajban rövidebb-hosszabb időre. Azonban, a termesztés, szállítás és hasznosítás során alkalmazott gépek kibocsátásai a légkört terhelik. A termesztés gépi munkáinak emisszióit tekintve Vágvolgyi (2013) energiamérleg számításait vettem alapul, amely egy hektárra vonatkozik, lásd 19. táblázat.

19. táblázat: Gépi munkák során kibocsátott szén mennyiségek becslése alacsony és magas munkagép teljesítmény mellett [Vágvolgyi, 2013 nyomán saját számítás]

Művelet	Alkalom [db]	Alacsony munkagép telj.		Magas munkagép telj.	
		Üzemanyagig. [l/ha]	Kibocsátott szén [kg/ha/20év]	Üzemanyagig. [l/ha]	Kibocsátott szén [kg/ha/20év]
Talajelőkészítés tárcsával	2	12,34	18,18	14,06	20,71
Mélyszántás	2	85,50	125,95	86,26	127,07
Magágykészítés	1	7,93	5,84	9,50	7,00
Műtrágyaszórás	12	-	-	4,56	40,30
Ültetés	1	-	-	38,00	27,99
Gépi ápolás tárcsával	42	12,34	381,74	14,06	434,95
Vegyszerezés	20	-	-	14,06	207,12
Betakarítás+ aprítás	6	39,00	172,35	62,93	278,11
Szállítás+ rakodás (10-15 t)	6	11,28	49,85	13,68	60,46
Ültetvényfelszámolás	1	120,74	88,93	120,74	88,93
Összes kibocsátott szén [kg /ha/20év]			842,85		1292,64

Összességében hektáronként az ültetvény 20 éves fenntartása során gépesítettségtől és termesztéstechnológiától függően 15 km szállítási távolság esetén 0,8–1,3 t szén szabadul fel a légkörbe a gépek működése révén. Ez látható, hogy jóval elmarad a természetes folyamatok során megkötött és kibocsátott CO₂-mennyiségétől, amely azonban semlegesnek tekinthető. Ennél sokkal nagyobb jelentősége a talajban hosszabb időtartamra megkötött szén mennyiségében, valamint a fosszilis tüzelőanyagok kiváltásában van. A CO₂ ugyanis jelentős mértékben (mintegy 60%-ban) eredményezi az üvegházhatást és ezzel a globális felmelegedést.

1 MJ energiatartalmú gázolaj vagy benzin előállítása és felhasználása során mintegy 88–89 g CO₂ keletkezik. A gázolaj előállítása során valamivel alacsonyabb az eltérő előállítási technológiából adódóan [MVM, 2017]. Ez a mennyiség a tisztán szén mennyiséget tekintve 24 gC/MJ mennyiségnek felel meg. Számításokat végeztem arra vonatkozóan, hogy ha energetikai ültetvények alapanyagából állítunk elő a pirolitikus eljárással BTL-BTG technológiával bioolajat, akkor hogyan alakul a szén emisszió. Mivel Magyarországon legnagyobb részben

nyár energetikai ültetvényeket telepítenek, ezért számításaimhoz ezt vettem alapul. Hozamát tekintve átlagosan 10 t/ha/év értéket adnak [Kovács et al., 2013].

Az üzem által kiadott adatok alapján a bioolaj energiatartalma jóval alacsonyabb (16 MJ/kg), mint a gázolajé (40–45 MJ/kg), amit a magas nedvességtartalomnak köszönhető (10–20%). A bioolaj nedvesanyag tartalomra vizsgálva 40–45% C-et tartalmaz. A Hengeloban működő üzem paramétereit alapul véve 1 tonna dendromasszából 645 kg bio-olaj (10 320 MJ) állítható elő. Az üzem leírása alapján a bemenő biomassa segítségével a bio-olaj megtermelésén túl képesek az üzem termeléséhez szükséges energiamennyiséget is előállítani, emellett a melléktermékek elégetésével és a hulladék gőz hasznosításával az alapanyag további aprítását és a maximum 55%-os nedvességtartalmú alapanyag (ideális max. 35%) 5%-ra történő leszárítását is fedezni tudják. A biohajtóanyag célú felhasználáshoz a betakarítás után az alapanyag további aprítása szükséges, hiszen Bense és Nagy (2011) eredményei szerint az újabb betakarító gépek 4–22 mm közötti szecskaméretet állítanak elő, amely megfelel a maximális 30 mm-es szemcsehosszágnak, azonban a szemcse maximális vastagsága 3 mm alatt kell, hogy legyen.

Átlagosan 10 t/ha/év faanyag termelő nyár ültetvényt alapul véve, mintegy 54,1 g C kibocsátása történik a bio-olaj alapanyagának termesztése, előállítása és hasznosítása során, beleértve azt az energiát is, amely a termelés közben a dendromasszából keletkezik, ugyanakkor az üzem saját energiaigényének kielégítésére fordítható. A szénmérleget rontja, hogy a bio-olaj nem keverhető be közvetlenül a hagyományos fosszilis hajtóanyagba, hanem meglévő olajfinomítókban további feldolgozást igényelnek fluidizált ágyas katalitikus krakkolással. A bemenő anyag hidrogénezése szükséges. Az olajfinomító iparág tevékenysége, kiemelkedően magas CO₂-kibocsátással jár, nagy mennyiségű energiát igényelnek. A nyersolajbevétel 7–15%-át a finomítói folyamatok energiaigényének fedezésére használják [Szklo-Schaeffer, 2007]. Ezentúl a kibocsátott szénmennyiség tartalmazza a bio-olaj finomítóig és a finomítótól a töltőállomásig történő szállítását (2*100 km-el számolva). A teljes kibocsátott C mennyiségének mintegy 6,5%-a származik fosszilis eredetű alapanyagból, a többi semlegesnek tekinthető a dendromassza újra termesztése révén megvalósuló körforgásnak köszönhetően.

Amennyiben kedvezőtlen talajadottságú körülmények között történik a termesztés, nagy valószínűséggel szükség van elsősorban nitrogén műtrágya kijuttatására. A nitrogén esetében a faanyaggal a növények által a talajból oldottan felvett N eltávolítása történik, amely emiatt hiányt okoz. Több irodalmi forrás arról számol be, hogy a lombzat által mintegy 60–80%-ban a tápanyag visszajuttatható [Waring-Schlesinger, 1985; Berthelot et al., 2000]. A nitrogén esetében azonban a visszajuttatott mennyiség a következő évben ismét felvételre kerül, ezáltal a talaj nitrogén tartalékait nem emeli. Hasznosíthatóságuk függ a mineralizáció sebességétől és a felvehető formába történő átalakítástól.

Jelenleg fás szárú energetikai ültetvényekre vonatkozó kalibrált adatok még nincsenek tápanyag-utánpótlást tekintve, kísérletek folynak a témát illetően [Vágvolgyi, 2013]. Gockler (2010) irodalmi forrásokra hivatkozva átlagosan 126 kg/ha hatóanyag kijuttatását jelölte meg. Coleman et al. (2004) vizsgálatai 50 kg N/ha/év esetében még igen, de 100 és 200 kg/ha/év műtrágya kiszórásánál már nem tapasztaltak hozamnövekedést.

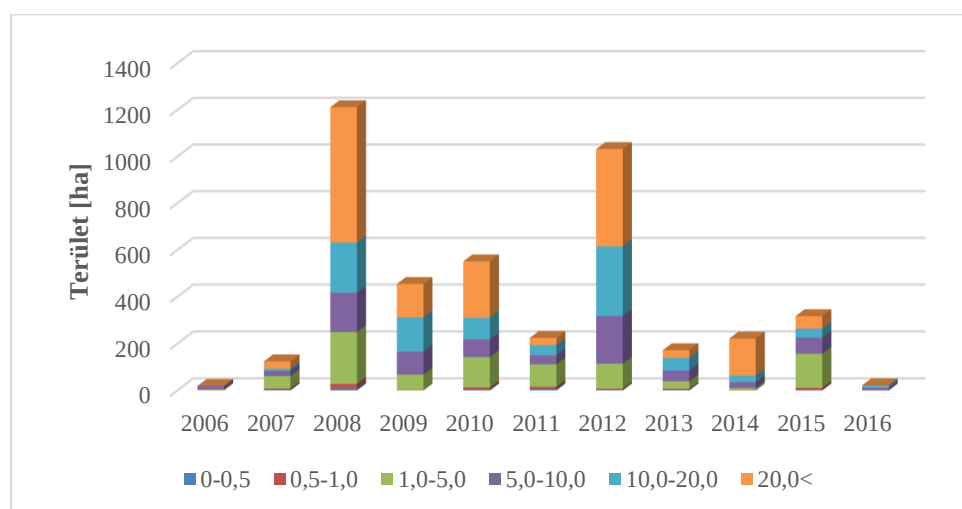
A nitrogén műtrágya előállítása rendkívül energiaigényes eljárás. Az ammóniához szükséges hidrogént és az ehhez szükséges technológiai energiát is végeredményben a földgázból nyerik. A nitrogén alapú műtrágya előállítás energia igénye hazai viszonylatban 60–80 MJ/kg,

[Neményi, 2009]. Így az egy tonna ammónia előállításához szükséges összes teljes bruttó energiafelhasználás (kb. 50 GJ/tonna) végeredményben közel 1500 köbméter földgázt igényel [Papp, 2018].

Egy m³ földgáz 0,546 kg kARBONT tartalmaz kromatográfiás vizsgálatok alapján [Balla, 2012]. Így egy tonna N műtrágya előállítása során 818,8 kg szén bocsátanak a légkörbe CO₂ formájában. Ha a műtrágyagyártás kARBON kibocsátását figyelembe vesszük, akkor minden 1 MJ bioolajból előállított hajtóanyag életciklusa során 1 g szén szabadítunk fel. Ezzel összességében 55,1 g szén szabadul fel 1MJ hajtóanyag előállítása során, amelynek így már több mint 9%-a származik fosszilis forrásból. Így telepítés előtt minden esetben, de az egyes betakarítások alkalmával is érdemes talajvizsgálatot végezni.

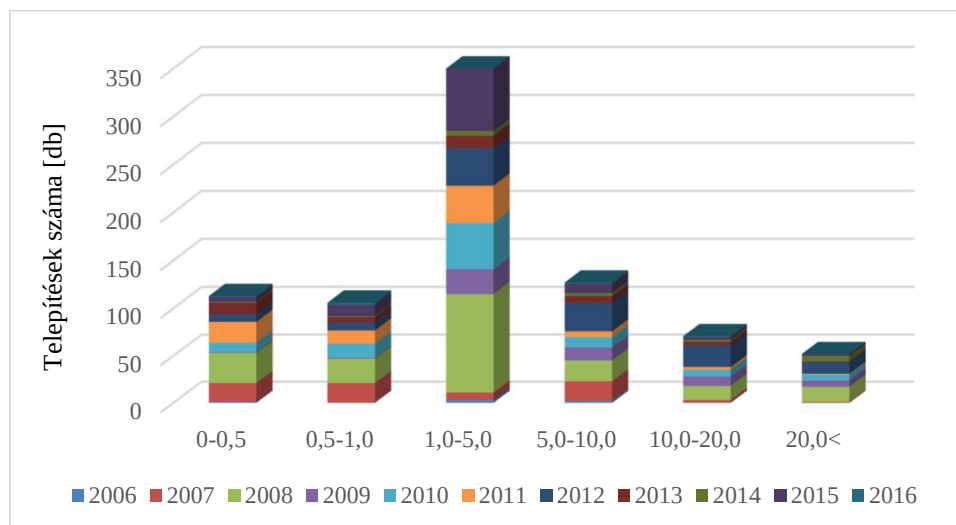
5.5 Alapanyagellátás tervezése

Az energetikai ültetvények gazdaságos telepítése és fenntartása csak a kedvező termőhelyi adottságokkal rendelkező területeken valósítható meg [Posza, 2018]. A telepítési hajlandóság azonban az elmúlt években még ezeken a területeken is alaposan lecsökkent, ami a támogatási rendszer hiányának tudható be. A 2007–2013 között megjelenő támogatások (Energianövények kiegészítő támogatása, 72/2007. (VII. 27.) FVM rendelet, ÚMVP) ösztönözték a gazdálkodókat a telepítésre. Ezek elmaradásával és a 2016-ban iparifa ültetvények támogatására megjelenő tervezet kiírása után energetikai célú telepítés szinte alig történt, lásd 60. ábra.



60. ábra: Telepített ültetvények területe [ha] a támogatottság függvényében [NÉBIH adatai alapján saját szerkesztés]

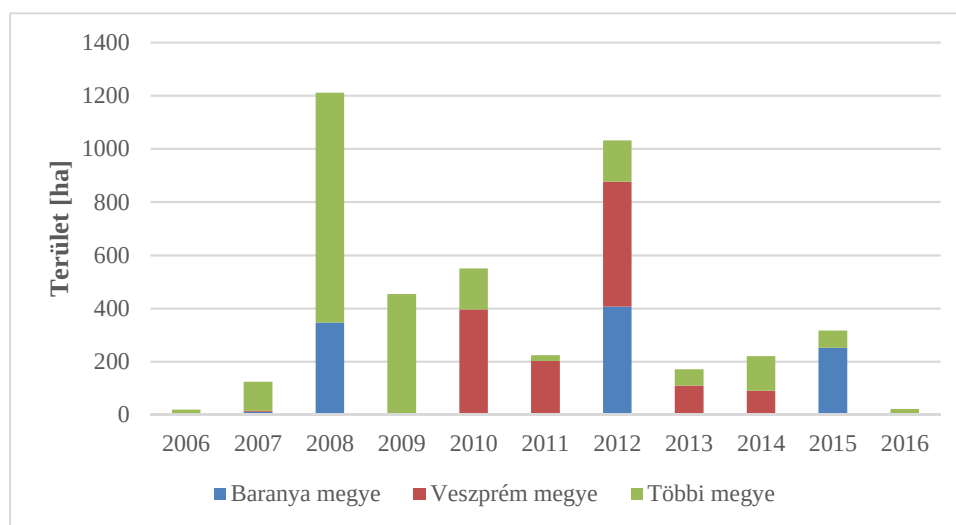
Ha a telepítések területnagyságának megoszlását vizsgáljuk, akkor azok is erősen követik a támogatások előírásait. A 72/2007. (VII. 27.) FVM rendelet megszabta, hogy csak az 1 ha feletti ültetvények telepítése támogatható, így láthatóan megemelkedett a 1,0–5,0 ha közötti területek telepítési igénye. Ebből kitűnik, hogy a gazdák leggyakrabban a támogatásnak megfelelően választható legkisebb telepítési területet választják, esetenként a közepes (5–10 ha) ültetvényeket, amelyet a 61. ábra is szemléltet. Ez elsősorban a kockázati tényezők minimalizálásának köszönhető. Előfordult, hogy sikeres telepítés után a gazdák bátrabban vállalták további ültetvények megvalósítását.



61. ábra: A telepítések jellemző területnagysága a telepítések számának tekintetében [NÉBIH adatai alapján saját szerkesztés]

Gazdaságossági és gépkijátszaltsági szempontból a területméret optimumai a néhány tíz hektáros egységek lehetnek, melyeknek nem kell minden esetben összefüggőknek lenni, nem kell egy tulajdonoshoz tartozniuk, de valamilyen integrációs rendszerhez történő illeszkedésük gazdaságossági okokból elengedhetetlen [ERTI, 2018]. Ezért megvizsgáltam azt is, hogy az egyes településekhez tartozó ültetvények együttes nagysága mekkora területet foglal el. Az eredmények már sokkal kedvezőbb képet adnak egy esetleges beruházás tervezéséhez. 77 település környezetében helyezkedik el 10 ha alatti ültetvény, 47 település 10–50 ha közötti ültetvénnyel, 22 település 50 ha fölötti területnagysággal rendelkezik. A kiemelkedő területnagyságú ültetvényekkel rendelkező települések elsősorban Veszprém és Baranya megyékben helyezkednek el, mindkettő esetében biztos felvásárló van a nagy erőművek részéről. Biztos piac közelében levő ültetvény gazdaságosan üzemeltethető [Vágvolgyi, 2013]. Az ültetvényről származó apríték átlagos átvételi ára 20.000 Ft/odt, ennyiért veszi át a Pécsi Erőmű jelenleg. Posza (2018) szerint a ténylegesen felmerülő költségek mellett az alapanyag előállítási költsége – a különböző lehetséges támogatások és a földbérleti díj nélkül – nagyobb, mint az átvételi ár.

Ennek ellenére a nagy erőművek környezetében a külön telepítésre nyújtott támogatások nélkül is van érdeklődés. Ha megnézzük az 62. ábrát, látható, hogy az országban nagy részben csak a kettő nagy erőmű környezetében volt példa ültetvény létrehozására 2012 után is.



62. ábra: Ültetének megoszlása nagy felvevőkapacitással ellátott megyékben [NÉBIH adatai alapján, saját szerkesztés]

Az üzem tervezésénél az első és legfontosabb szempont azon hely kiválasztása, amely magas lokális alapanyag mennyiséggel rendelkezik. Mivel a korábban bemutatott fejezetek ismertették a magas kéregtartalommal összefüggő pirolitikus problémákat, ezért célszerű az erdei vagy az ültetvényekről származó aprítékot fele-fele arányban tiszta kéreg nélküli faanyagból származó aprítékkal keverten a rendszerbe juttatni. Így mindenképpen jó lehetőségként mutatkozik az általam is meglátogatott Jákófa Kft. telephelye, ahol biztosított lenne a szükséges mennyiségű faipari melléktermék egy része, emellett a közelben további fafeldolgozó üzemek is működnek. Együttesen képesek lennének nagyobb szállítási és tárolási igény nélkül biztosítani a folyamatos ellátást.

Az Empyro által Hengeloban működő pirolízisüzemhez hasonló méretű üzem ellátása esetén mintegy 38 ezer t alapanyagra van szükség. Amennyiben 50%-ban faipari melléktermékekkel és 50%-ban energetikai ültetvények alapanyagával elégítjük ki az üzemet, 10 atro t/ha hozammal számolva mintegy 1,9 ezer ha ültetvény telepítésére lenne szükség. Azonban az ültetvények, ha gyengébb minőségű mezőgazdasági talajon kerülnek telepítésre, akár megháromszorozódhat a termesztésükhöz szükséges terület. A jelenlegi erőművek környezetében egyes településhez több, mint 300 ha ültetvény csatlakozik. Így mintegy 6 település összefogására lenne szükség optimális hozamok mellett egy kereskedelmi méretekben termelő üzem alapanyag ellátásához.

Az ellátási lánc tervezése több tíz vagy éppen százmillió eurós beruházás esetén elengedhetetlen. A hitelezők vagy éppen a támogatók már a beruházás megkezdése előtt kérhetik, hogy biztosítva legyenek azok a hosszú távú szerződések, amelyek az alapanyag ellátását fenntarthatóan kielégítik. Az általam megkeresett lignocellulóz biohajtóanyag üzemek is a hosszú távú szerződéseket jelölték meg a fő lehetőségként a többcélú alapanyagok beszerzésének biztosításához.

A bizonytalanságot mind felhasználó, mind termelő oldalról az jelenti, hogy a gazdákkal a hosszú távú szerződéseket már az üzem indításának megkezdése előtt 4 évvel érdemes megkötni. Ezzel biztosítható, hogy az üzem indulásakor az alapanyag teljes mennyiségében rendelkezésre álljon. Azonban a 2.4-es fejezetben bemutatott kudarcba fulladt projektek

bizonytalanná teszik, hogy a tervezett üzem valóban megvalósul-e és ha igen, akkor a gazdák számára a közeli biztos felvásárló az ültetvény fenntartásának 20 évére fennmarad-e. Mivel a Bakony Erőmű viszonylag közel helyezkedik el, ezért az erdészeti melléktermékek hasznosításában nagy konkurencia lenne, ami az alapanyag ellátást kiszámíthatatlanná teszi. Viszont az energetikai ültetvények telepítését ösztönzi, hiszen a felvevő piac többszörösen biztosított, ami csökkenti a gazdák kockázatait.

Ugyanakkor az ültetvények telepítésére a hajlandóság különösen valamilyen támogatási forma esetében mutatkozik. Azonban ezzel egy kettős támogatási rendszeren alapuló biohajtóanyag előállítási folyamatot hozunk létre, ahol az alapanyagon túl az üzem telepítését is túlnyomóan központi forrásokból lehet létrehozni. Ez a teljes rendszert ingataggá teszi.

Felmerül a kérdés, hogy a magas beruházási költséggel telepíthető lignocellulóz biohajtóanyag üzemek magyarországi létrehozása a közeljövőben indokolt-e, vagy a dendromassza sokkal jobb hatásfokkal lenne hasznosítható a hő- és villamosenergia előállításban, és az így kapott és hasznosított termék a közúti közlekedés megújuló energiafelhasználásába négyszeres szorzóval számítható be.

A biomasszából történő villamos energia előállításra számos technológiai kialakítás létezik. Általánosságban elmondható, hogy az újabb típusú, kombinált ciklusú hő – és villamosenergia előállítás együttes hatásfoka a legkedvezőbb (<60%), a hő hasznosítás nélküli biomasszából csupán villamos energiát előállító erőmű hatásfoka 30% körüli. Speciálisan vágástéri apadék és fanyesedékek hasznosítására kifejlesztett erőmű típusok is üzemelnek már Európában, ahol előnyként érdemes megjegyezni, hogy a viszonylag alacsony fűtőértékű és nedves 30-40%-os nedvességtartalmú biomasszából is jó hatásfokkal állítanak elő hő- és villamos energiát [Lako, 2010]. Ez azért is fontos, mert a bioolaj előállításánál 5%-ra szükséges szárítani az alapanyagot, ami ha hulladékhő vagy biomassza felhasználásával is történik, akkor is jelentős energiabevitel.

Magyarországon, a kombinált hő- és villamos erőművek a termelt villamos energia kevesebb, mint 50%-át állítják csak elő, így kettő Magyarországon működő dendromasszát hasznosító erőmű fő jellemzőit foglaltam össze a 20. táblázatban a további számításokhoz.

20. táblázat: Kettő dendromasszát hasznosító magyarországi villamos erőmű főbb jellemzői [WEB 8 alapján saját szerkesztés]

Erőmű	Alapanyag	Energiaátalakítási hatásfok (teljes) η_t [%]	Hasznos hatásfok (hálózatra kiadott villamosenergia) η_e [%]	Hasznos hatásfok (hálózatra kiadott hő+villamos energia) η_{e+th} [%]
Szakolyi Erőmű	fás	28,4	25,4	25,4
Pannongreen	fás	45,9	26,6	40,7

Az erőművek által közölt éves alapanyag felhasználási, valamint a hő- és villamosenergia termelési adatok a következők:

- Szakoly: 140-150 ezer tonna faaprítékot tüzelnek el, és így évi 132 935 MWh villamos energiát termel
- Pannongreen: 400 ezer tonna dendromassza eltüzelésével évi 312 367 MWh villamos energiát és 166 533 MWh hőenergiát állítanak elő.

Az fenti adatokból kiindulva elkészítettem egy összehasonlítást a kinyerhető energia mennyiségére vonatkozóan, illetve a gépjárművek eltérő üzemanyag felhasználási hatékonysága miatt, talán még jobb összehasonlítást ad a megtehető út távolsága 1 tonna alapanyagra vonatkoztatva, lásd 21. táblázat. Számításaimhoz átlagos gépjárműfogyasztást feltételeztem (benzin, gázolaj esetében 5 l/100 km $\approx$ 40–50 kWh/100 km, elektromos meghajtás esetében 20 kWh/100 km).

21. táblázat: 1 tonna fa alapanyagból előállítható hajtóanyag vagy villamosenergia és az általuk megtehető távolság

Kinyerhető	Technológia	Energia-tartalom [10 ⁻⁴ ktoe]	Megtehető távolság	Szorzó (RED II)	Beszámítás [10 ⁻⁴ ktoe]
Cseppfolyós hajtóanyag	pirolízis+finomítás	1,54	38	2	3,08
Villamos energia (Szakoly)	villamos erőmű	0,79	45	4	3,16
Villamos energia (Pécs)	hő- és villamos erőmű	0,67	39	4	2,68

A táblázat alapján kitűnik, hogy energiahatékonysági szempontból sokkal kedvezőbb a dendromassza hő- és villamosenergia célú hasznosítása, hiszen magasabb a megtehető út hossza, míg a közúti közlekedés megújuló energia részarány beszámításánál a magasabb szorzó következtében nincs nagy eltérés. Továbbá a Pécsi erőmű esetében elmondható, hogy bár a Szakolyi Erőműhöz képest kisebb a kinyerhető villamosenergia, de további 1498 MJ hőenergiát is nyerünk minden tonna dendromassza átalakítása esetén, hasznosításával javítva a teljes folyamat energiamérlegét. A potenciálbecslések során kapott mintegy 100 ezer t szabadon felhasználható dendromassza mennyiséggel számolva 26-32 ktoe energiatartalmú biohajtóanyag állítható elő különböző technológiák segítségével. Alkalmazva a megújuló részarány számításához a RED II-ben megadott szorzót, a teljes felhasznált magyarországi hajtóanyag mennyiség 0,6%-át tenné ki. Amennyiben a teljes begyűjthető 700 ezer tonna mennyiséget a közlekedésben használnánk fel, akár több mint 4%-ot is kiválthatunk. Ez a jelenlegi 2,2%-os elektromos energia felhasználás részarány közel kétszeresét jelentené a közlekedésben.

6. Összefoglalás, konklúzió

A biomassza hasznosítás Magyarországon már napjainkban is rendkívül meghatározó, segítségükkel megközelítjük a 2020-ra kitűzött megújuló energiaforrásokra előírt célértékeket. A jelenlegi biohajtóanyag előállításunk elsősorban élelmiszernövényekre alapozott, a rendelkezésre álló jelentős lignocellulóz alapanyagbázis ellenére a második generációs biohajtóanyagok előállítása csak kísérleti jelleggel, laboratóriumi méretekben történik. Alkalmazásukat a melléktermékek begyűjtési nehézsége valamint az előállító üzemek magas beruházási költsége, valamint a rendelkezésre álló technológia kiforratlansága hátráltatja. Ennek ellenére alkalmazásuk a közeljövőben mindenképpen szükségeszerű, hiszen a fosszilis energiahordozókkal összehasonlítva az életciklusra vetített kisebb szénkibocsátásuk révén az éghajlatváltozás megfékezésében kiemelt jelentőséggel bír.

Potenciálbecslés során meghatározásra került az országban keletkező és begyűjthető magas lignocellulóz tartalmú melléktermékek nagysága, megyei bontásban. Az erdőszetben és mezőgazdaságban keletkező, országosan kimutatott mintegy 700 ezer tonna dendromassza melléktermék begyűjtése esetén nagy részben várhatóan a villamosenergia termelésben jelenik meg, míg az ország dél-keleti felében szabad potenciálként mutatkozó 100-150 ezer tonna mennyiség cseppfolyós hajtóanyag előállítására vagy 100 km-t meghaladó szállítási távolsággal, a meglévő villamos energiát termelő erőművekben hasznosítható. Amennyiben az országosan keletkező dendromassza potenciál biohajtóanyag célú felhasználása történne, abban az esetben a közlekedés energiafelhasználásának mintegy 4%-át fedezné. A dendromassza melléktermékek potenciálját jóval meghaladja a mezőgazdasági termesztés során keletkező melléktermékek, azok közül is kiemelten a kukoricaszár.

A lágyszárú és fásszárú melléktermékek begyűjtési területét vizsgálva eredményként azt kaptuk, hogy a vágástéri apadék rendelkezik a legnagyobb begyűjtési körzettel egy elképzelt erőmű környezetében egységnyi hajtóanyag előállításra vonatkoztatva. Gyűjtőterülete nagyban függ az alkalmazott erdőfelújítási módszertől. A jövőben mind nagyobb erdőterületeken bevezetésre kerülő örökerdő-gazdálkodás egy nagyobb kapacitású üzem alapanyag ellátását kérdésessé teszi. Az erdők jelentősége a jövőben mind inkább a szénmegkötésben fog megmutatkozni, valamint fontos szerepe lesz a lineáris gazdasági modellről a biomassza-alapú gazdaság felé történő elmozdulás megvalósításában. Ennek egyik fő prioritása a különböző biotermékek előállítása. Emellett jelentkezik a növekvő energiaigény, amelynek alapanyag ellátásához a növénytermesztési rendszereink átgondoltabb kialakítására van szükség.

Ökológiai szempontból az új rendszerbe jól illeszthető a rövid szén ciklusú dendromassza termesztés. A sarjztatásos energetikai ültetvények az intenzív biomassza termesztés mellett, nagy mennyiségű lomb- és gyökérvár termelésük révén fontos szerepet tölthetnek be a jövőben a légköri CO₂ megkötésében és az alacsony minőségű mezőgazdasági talajok szervesanyag tartalmának javításában. Ehhez azonban szükség van a megfelelő telepítést ösztönző támogatási rendszer biztosítására. Ökológiai oldalról és az ország adottságait tekintve a nyár tölt be vezető szerepet. Segítségükkel köthetjük meg három éves vágásfordulókat alkalmazva a legtöbb szenet a légkörből, a vizsgálati eredmények szerint. Energetikai szempontból számos kedvező tulajdonságának köszönhetően a vizsgált fafajok közül az akác emelendő ki. Az energetikai ültetvények esetében általánosságban elmondható, hogy technológiai szempontból hátrányt jelent a termesztett vékonyfa magas kéreghányada az erdei faanyaghoz képest. Emiatt a pirolitikus eljárás alapuló cseppfolyós hajtóanyag üzemekbe kéregmentes faipari

melléktermékekkel együttes érdemes bejuttatni, vagy önmagában jó hatásfokkal működő kapcsolt hő- és villamosenergia termelő egységekben felhasználni. Az utóbbi a közeljövőben Magyarországon előnyt élvez mivel kiforrott technológia áll rendelkezésre és ezáltal a beruházás kisebb kockázattal jár. Az elektromos meghajtás elterjedésének elsősorban a tömegközlekedés terén van realitása, az elektromos személygépjárművek magasabb ára és az akkumulátorok kisebb élettartama még távol tartja a lakosságot a széleskörű felhasználásuktól.

7 Javaslatok

A biohajtóanyag alapanyag választéka az utóbbi évtizedben erős átalakuláson ment keresztül. Bővült az élelmiszer ellátást kevésbé veszélyeztető, ugyanakkor mégis fenntartható alapanyagok köre. A teljes alapanyagbázis rendszer kidolgozásához számos további alapanyag vizsgálatára lenne szükség, eltérő földrajzi területeken. Emellett figyelembe kell venni, hogy elsősorban az első generációs biodízel, valamint a fejlett biohajtóanyagok esetében egyidejűleg több alapanyag is bevezethető a rendszerbe.

Vizsgálni érdemes, hogy Magyarországon pontosan hol helyezkednek el azon parlagterületek, amelyek hasznosíthatóak energetikai ültetvények termesztésére. Ismeretében ki lehet választani azokat a körzeteket, ahol nagyobb egybefüggő szabad területek állnak rendelkezésre erre a célra, vagy nagyobb számú kisebb területek közel helyezkednek el egymáshoz. Ezeket érdemes egy rendszerbe integrálni és így lehetőség lenne kisebb gépekre fordított beruházással a betakarítást megoldani.

Vizsgálni szükséges, hogy a mezőgazdasági melléktermékeknél a főtermék arányában hogyan változik a melléktermék mennyisége. Az éghajlatváltozás hatására a mezőgazdasági főtermék rendkívül nagy ingadozást mutat. Irodalmi adatok bár megadják a szem:szár arányának intervallumát, azonban ezek értéke bizonytalan, számos egyéb tényezőtől függnek, pl. nemesítés.

További vizsgálatokra ad okot az erdei apadék mennyiségének pontosítása. A rendelkezésre álló adatok rendkívül eltérőek és külön fafajokra vonatkozó adatokkal abszolút nem rendelkezünk.

A termőhely fontos befolyásoló tényező a fás szárú energetikai ültetvények lombtömegének hozamában és azok morfológiai megjelenésében. A jelenlegi összehasonlításnál túl mindenképp szükség van a különböző termőhelyen végzett vizsgálatok folytatására a mélyebb összefüggések feltárására. Érdemes vizsgálni, hogy az éghajlatváltozás következtében a korábban nem hasznosított mezőgazdasági területek hogyan alakulnak át az ültetvények telepítésének hatására, pl. intercepció, humusztartalom stb. tekintetében.

8. Új kutatási eredmények

A szerző a doktori disszertációjához kapcsolódóan az alábbi tudományos eredményeket fogalmazta meg:

1. A jelölt lignocellulóz biohajtóanyagok alapanyagára vonatkozó potenciálvizsgálatai szerint Magyarországon az erdészetben és a mezőgazdaságban mintegy 1 millió tonna dendromassza alapú melléktermék keletkezik évente. Ebből ökológiai és technológiai szempontokat is figyelembe véve 700 ezer tonna élőnedves mennyiség gyűjthető be, amely a begyűjthető lágyszárú melléktermékek energiamennyiségének alig több mint 8%-a. A jelenleg működő erőművek, fűtőművek a dendromassza melléktermék nagy részét a begyűjtés esetén lekötik, szabad potenciálként 100–150 ezer tonna mutatkozik az ország dél-keleti részén.
2. Új mérőrendszer került bevezetésre alapanyag lábnyom elnevezéssel, amely egységnyi energiatartalmú biohajtóanyag előállítás alapanyagigényének elméleti és valós körülményekre kiterjesztett begyűjtési területét jelenti. A kutatási témára alapozott módszer segítségével megállapításra került, hogy a vágástéri apadék magyarországi gyűjtőterülete 10 GJ bioolaj előállításához a fakitermelési módszertől függően elméleti esetben mintegy 0,1–0,5 ha, valós körülmények között 6,3–39,5 ha. Összehasonlítva a mezőgazdasági fő- és melléktermékekkel elméleti esetben a vágástéri apadék gyűjtőterülete kisebb, míg valós körülmények között nagyobb gyűjtőterületet igényelnek azonos energiatartalmú hajtóanyag előállítása esetén.
3. A rövid vágásfordulójú fás szárú ültetvényekről származó alapanyag termokémiai úton történő biohajtóanyag célú átalakítását elsősorban a magas kéreghányad nehezíti. Fafajtól és termesztési technológiától függően a vizsgált területen a 6-18%-os kéreghányad 2–3%-os hamutartalmat eredményez. Célszerű a minél nagyobb, de legalább 2 éves, fűz esetében 3 éves vágásfordulóval üzemeltetett ültetvények telepítése, valamint az alapanyag termokémiai hasznosítása esetén faipari melléktermékként keletkező tisztafa fűrészporral történő keverése.
4. A jelölt megállapította, hogy a fás szárú energianövények az évente újratermelődő lombzatukban a vizsgált ültetvény 20 éves fenntartási ideje alatt fafajtól/fajtától függően hároméves vágásforduló esetén mintegy 8-46 t/ha szenet kötnek meg. Ez a mennyiség kettő éves vágásforduló esetén 17%-al, évenkénti betakarítással 48%-al csökken. A vizsgált helyszínen ökológiai, mennyiségi szempontok és C/N tartalom alapján kapott lebomlási jellemzők tekintetében a legkedvezőbb tulajdonságokkal a *Populus X euramericana* 'Koltay' mutatta. A gyökérzet szerepe a szén megkötésben a lombhoz hasonló jelentőséggel bír.
5. A jelölt módszert dolgozott ki az energetikai ültetvények lombtömegének becslésére. A gyakorlat a roncsolásmentes vizsgálatok elvégzéséhez a törzsátmérő segítségével történő lombtömeg becslést kívánja meg vegetációs időszakban, évente vizsgálva. Az első három évben az állomány záródása a lombtömegben szignifikáns különbséget nem adott. A tőátmérő és a lombtömeg közötti kapcsolat tendenciája az Avrami féle telítési függvénnyel jellemezhető a legjobban. Segítségével ismert sarj tőátmérő ($d_{0,1}$) esetében

becsülhető a sarjhoz tartozó lombtömeg (L_m). A telítési függvény illeszkedésének jósága (R) és a függvény egyenlete a négy vizsgált fajta esetében a következő:

Fafaj	Illeszkedés jósága (R) Egyenlet
<i>Populus x euramericana</i> 'Koltay'	$R = 0,98$ $L_m = (6318,5) * (1 - \exp(-1 * (((0,00500066) * d_{0,1})^{(2,1322)}))) + (2,91295)$
<i>Populus x euramericana</i> 'I-214'	$R = 0,97$ $L_m = (365,606) * (1 - \exp(-1 * (((0,0250635) * d_{0,1})^{(3,51832)}))) + (11,1053)$
<i>Salix alba</i> 'Drávamenti'	$R = 0,95$ $L_m = (1416,74) * (1 - \exp(-1 * (((0,00830169) * d_{0,1})^{(2,56758)}))) + (8,92634)$
<i>Robinia pseudoacacia</i>	$R = 0,95$ $L_m = (0,719686) * (1 - \exp(-1 * (((0,0235838) * d_{0,1})^{(3,30563)}))) + (0,00702737)$

6. Átlagosan 10 atro t/ha/év fahozamú nyár ültetvényt alapul véve, mintegy 54 g C kibocsátása történik 1MJ bioolaj alapanyagának termesztése, előállítása, a termék finomítása és hasznosítása során, úgy, hogy a termelés közben keletkező hulladékenergia a szárításra és az üzem saját energiaigényének kielégítésére kerül felhasználásra. Az életciklus során kibocsátott C mennyiség mintegy 6,5%-a származik fosszilis eredetű alapanyagból, a többi semlegesnek tekinthető az alapanyag termesztés rövid karbonciklusának köszönhetően. A műtrágyagyártás magas karbon kibocsátását figyelembe véve további 1 g C szabadul fel minden MJ hajtóanyag előállítása során, amelynek így már több mint 9%-a származik fosszilis forrásból.
7. Magyarországon a közúti közlekedésben energiahatékonysági szempontból a dendromassza alapú villamosenergia hasznosítása kedvezőbb, szemben a pirolitikus eljárás alapján alapuló cseppfolyós biohajtóanyag előállítással. A kiválasztott üzemek bemeneteli és kimeneteli adatait alapul véve, az utóbbi eljárás esetében 1 tonna dendromassza felhasználásával átlagos üzemanyag fogyasztás mellett 38 km, míg elektromos meghajtás esetében tisztán villamos energiát vagy hő és villamos energiát kapcsoltan termelő erőművek eltérő hatásfokától függően 39-45 km megtételére van lehetőség. A potenciálbecslés során kimutatott mintegy 100 ezer t szabad dendromassza melléktermék segítségével az ország teljes hajtóanyag mennyiségének 0,6-0,7%-át válthatnánk ki, a teljes 700 ezer t begyűjthető mennyiség figyelembe vétele esetében több mint 4%-ot is előállíthatunk technológiától függően, a RED II-ben feltüntetett szorzók alkalmazásával.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni témavezetőm, Dr. Palocz-Andresen Mihály professzor Úr támogatását, útmutatását, aki hasznos tanácsaival, folyamatos biztatásával segítette munkámat.

Nagyon köszönöm társtémavezetőm, Dr. Marosvölgyi Béla professzor Úr segítségét, aki ötleteivel, szakmai tapasztalataival, javaslataival támogatott a dolgozat elkészítése során.

Köszönöm a segítséget Dr. Borovics Attila igazgató úrnak, aki lehetővé tette, hogy a NAIK ERTI fás szárú energetikai kísérleti ültetvényén a méréseimet elvégezzem, továbbá adatok terén és kérdések esetében mindig támogatott.

Köszönöm a segítséget Dr. Papp Viktóriának, aki mindig rendelkezésemre állt, ha szükségem volt rá. Segített a terepi munkákban, ha kellett biztatott, vagy csak meghallgatott.

Köszönöm a támogatást Dr. habil Czupy Imrének, az Erdészeti-, Műszaki és Környezettechnikai Intézet vezetőjének, hogy lehetővé tette a laboratóriumi mérések kivitelezését, valamint javaslataival segítette a dolgozat elkészítését. Köszönöm továbbá az intézet munkatársainak a felmerülő kérdésekben nyújtott segítségét, tanácsait.

Köszönöm a segítséget Dr. Csanády Viktória és Dr. Horváth-Szováti Erika docens asszonyoknak, akik a statisztika terén segítettek eligazodni, valamint a Statisztika program kezelésében voltak a segítségemre.

Köszönöm a segítséget Nagy Pál cégvezető úrnak, aki megosztotta velem elképzeléseit, tapasztalatait, ötleteit egy tervezett biomassa pirolizáló üzemmel kapcsolatban. Továbbá lehetőséget adott a Jákófa Kft. működésének megismerésére.

Végül, de nem utolsó sorban szeretném megköszönni a családomnak és szeretteimnek, hogy idejüket és erejüket nem kímélve segítettek, támogattak, biztattak az utam során. Nagyon hálás vagyok Nekik, hogy ez a dolgozat létrejöhett.

„A jelen kutatás a TÁMOP-4.2.4.A/2-11/1-2012-0001 kiemelt projekt keretében meghirdetett Nemzeti Kiválóság Program ösztöndíj-támogatásnak köszönhetően valósult meg, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával.”

A kutatás megvalósulásához segítséget nyújtott a „Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozása.”

Kivonat

Magyarország a konvencionális biohajtóanyagok előállítása terén már napjainkban is jelentős kapacitásokkal rendelkezik. Azonban az Európai Unió előírásai a jövőben a nem élelmiszer növényekre alapozott biohajtóanyagok előállítását ösztönzik. Az erdészeti és mezőgazdasági melléktermékeket feldolgozó üzemek létrehozása a rendkívül nagy beruházási igényük miatt csak központi támogatási források vagy nagyipari beruházó segítségével teljesíthető, amely megalapozott döntéshozást igényel. Ennek egyik fő pillérét alkotja a megfelelő alapanyagellátás biztosítása. A dolgozatban ezért bemutatásra kerül a biohajtóanyag előállításra alkalmazható dendromassza melléktermékek potenciálja és annak várható hasznosítási módja, megyei bontásban. Azonban fontos tényező, hogy a dendromassza melléktermékek jelentős hányadát a vágástéri apadék képviseli, amely az egységnyi biohajtóanyagra vetített előállítását tekintve a vizsgált melléktermékek közül a legnagyobb begyűjtési körzettel rendelkezik. Kiemelten igaz ez az erdők egyre jellemzőbb örökzöld szemléletű kezelése esetében. A dolgozat alternatív megoldásként a növekvő biohajtóanyag-igény alapanyagellátásához jól illeszthető, ökológiailag előnyös rövid vágásfordulójú fás szárú energetikai ültetvényeket ajánlja. Jelentős mértékű telepítésükre a megfelelő támogatási rendszer kidolgozása és biztosítása esetén van mód. A vizsgált nagy mennyiségű lomb- és gyökérvár termelésük révén fontos szerepet tölthetnek be a jövőben a légköri CO₂ megkötésében és az alacsony minőségű mezőgazdasági talajok szervesanyag tartalmának javításában. A segítségükkel történő pirolitikus eljárás alapuló biohajtóanyag előállítás és hasznosítás teljes életciklusát vizsgálva elmondható, hogy alacsony karbonkibocsátás történik a dendromassza termesztés rövid szenciklusának köszönhetően. Hátrányként említendő technológiai szempontból az ültetvényekre jellemző vékony faanyag magas kéreghányada az erdei faanyaghoz képest, emiatt a cseppfolyós hajtóanyag előállításban kéregmentes faipari melléktermékekkel együtt érdemes felhasználni, vagy önmagában jó hatásfokkal működő kapcsolt hő- és villamosenergia termelő egységekbe juttatni. Az utóbbi a közeljövőben Magyarországon előnyt élvez a cseppfolyós lignocellulóz hajtóanyag felhasználásával szemben, a kiforrott technológia rendelkezésre állása és a kisebb kockázattal járó beruházási igény miatt. Ösztönzésük az új EU-s biohajtóanyag jogszabályokban is fokozottan jelenik meg.

Abstract

Hungary has already significant capacities in the production of conventional biofuels. However, the European Union regulations will encourage the production of non-crop-based biofuels in the future. Installing lignocellulose biofuel plants can only be achieved with the help of central funding sources or large industrial investors due to their extremely large investment needs. It requires well-founded decision-making, which is one of the main pillars of the right base material supply. The research covers the estimation of the potential of dendromass by-products and the expected method of these utilization. The forest residues represent a significant proportion of the examined by-products; however, they need the largest collection area for production of the same amount of biofuel. According to the investigation the short rotation coppices is a possible alternative solution to the base material supply of increasing biofuel requirements. Significant plantation area can be achieved by developing and providing the appropriate support system. They offer high biomass output per hectare, while the large amount of foliage and root can play an important role to the atmospheric CO₂ sequestration in the future and improves the organic content of low-quality agricultural soils. The life cycle carbon emission of the short rotation woody biomass based biofuel production is low thanks to the

short carbon cycle of dendromass production. High bark content is disadvantageous from a technological point of view, therefore it is suggested to mixing with barkless sawdust during pyrolytic biooil production, or can be used alone to supply high-efficiency combined heat and power plants. The latter will in the near future benefit in Hungary because reliable technology is available and the lower investment risk is lower.

Ábrajegyzék

1. ábra: A világ primerenergia felhasználásának alakulása 2016-ban [BP, 2017].....	7
2. ábra: A megújuló energiaforrásokból és hulladékból termelt primerenergia mennyiségének százalékos megoszlása Magyarországon [KSH, 2018 adatai alapján].....	10
3. ábra: Belsőégésű motorok üzemanyagainak rendszerszemléletű osztályozása [Hancsók, 2012].....	11
4. ábra: A biohajtóanyagok alkalmazásának jogi ösztönzése	12
5. ábra: Biohajtóanyagok ÜHG kibocsátás megtakarítása [WEB 6]	15
6. ábra: A pirolízis olaj hozamának változása a hamutartalom függvényében [Tröger et al., 2013].....	18
7. ábra: Megújuló hajtóanyag részaránya az EU 28-ban, összevetve az előírások célkitűzéseivel [EUROSTAT adatai alapján saját szerkesztés]	28
8. ábra: A lignocellulóz biohajtóanyag fejlesztés meghatározó országai [EUROSTAT adatai alapján saját szerkesztés].....	29
9. ábra: A bioenergia múltja, jelene és jövője [Speight, 2010]	34
10. ábra: A parlagok mennyisége vegetációtájkaként [Molnár et al., 2008].....	37
11. ábra: Fás szárú energetikai ültetvény karbon körfolyamata [Szalay, 2012]	39
12. ábra: ERTI Bajti kísérleti ültetvénye, a vizsgálatok helyszíne.....	48
13. ábra: Adobe Photoshop CS6 program segítségével elvégzett levélterület meghatározás..	50
14. ábra: IKA C-2000 típusú automata kaloriméter	52
15. ábra: Laboratóriumi izzítókemence.....	53
16. ábra: Elementar varioMax CNS elemanalizátor.....	53
17. ábra: Magyarországi erdőterületek kiterjedése a Corine Land Cover (CLC) felszínborítási térkép alapján	57
18. ábra: Keletkező és begyűjthető apadék mennyisége megyei bontásban	58
19. ábra: Magyarországi szőlő és gyümölcsfa ültetvények a Corine Land Cover (CLC) felszínborítási térkép alapján.....	60
20. ábra: Évente keletkező és begyűjthető szőlővenyige és gyümölcsfa nyesedék mennyisége megyei bontásban	61
21. ábra: Dendromassza alapú melléktermékek begyűjthető mennyisége megyei bontásban .	62
22. ábra: Begyűjthető biomassza potenciál a konkurens hasznosítók igényének függvényében, megyei bontásban	62
23. ábra: A dendromassza alapú szabad potenciál lehetséges felhasználási útja	63
24. ábra: Energetikai ültetvények elméleti energetikai potenciálja megyei bontásban energia-tartalomban kifejezve	64
25. ábra: Magyarország szántóterülete a Corine Land Cover felszínborítási térkép alapján ...	65
26. ábra: Évente keletkező mezőgazdasági melléktermékek tömege megyei bontásban (2013-2017 átlaga betakarításkori nedvességtartalommal)	65
27. ábra: Lágyszárú mezőgazdasági melléktermékek potenciálja megyei bontásban.....	67
28. ábra: Lágyszárú és fásszárú begyűjthető melléktermékek megoszlása megyei bontásban	68
29. ábra: Szalma- és szármennyiségek változása a növénytermesztési tevékenységek következtében [Szalay-Palocz; 2013]	70
30. ábra: A tavaszi fagy hatása különböző nyárfa klónokra.....	71
31. ábra: Két különböző nyárfaklón magasságkülönbsége azonos környezeti és talajadottságok mellett.....	72
32. ábra: Hozamingadozás 2010-2016 között a vizsgált biodízel alapanyagoknál, abszolút értékben kifejezve	76
33. ábra: Hozamingadozás az elmúlt 10 évben a vizsgált bioetanol alapanyagok esetében....	77

34. ábra: A módszertanban meghatározott időintervallumon belül vizsgált átlag-, legmagasabb- és legalacsonyabb hozam függvényében meghatározott alapanyag lábnyom ..	79
35. ábra: A Landsat 7 felvételek kiértékelése Digiterria programban.....	80
36. ábra: Elméleti és valós alapanyaglábnym kukorica és kukoricaszár esetében.....	80
37. ábra: Erdőfelújítási módszer hatása a biohajtóanyag alapanyagbegyűjtési területére	80
38. ábra: 1 TJ energiatartalmú biohajtóanyag alapanyagának gyűjtőterülete	81
39. ábra: Adott fafajra/fajtára jellemző fatömeghez visznyított kéregarány	83
40. ábra: Az átmérőosztályhoz tartozó tömeg alapján számított átlagos kéregarány.....	84
41. ábra: Hamutartalomvizsgálat izzítókemencében.....	84
42. ábra: Hamutartalom vizsgálat eredményei a különböző fafajok/fajták esetében.....	85
43. ábra: Fűtőérték vizsgálat kéregre és teljes fára	88
44. ábra: A vizsgált fafajok/fajták átmérőhöz tartozó átlagos testsűrűsége	89
45. ábra: A vizsgált fafajok/fajták átlagos sűrűsége.....	89
46. ábra: Az energiaszára kidolgozott minőségi osztályozás eredményei 3 éves ültetvényen ..	90
47. ábra: Vizsgált fafajok/fajták hozamai a mintaterületen a betakarítástól számított 3 évben	91
48. ábra: A 4 fajta 3 különböző vegetációs évben mért sarjtömeg eloszlása	92
49. ábra: <i>Populus x euramericana</i> 'Koltay', <i>Populus x euramericana</i> 'I-214', valamint <i>Salix alba</i> 'Drávamenti' és <i>Robinia pseudoacacia</i> ágszerkezete 2 éves korban.....	93
50. ábra: Ágszerkezet összehasonlítása, hasonló magasságú sarjak esetében	93
51. ábra: $h < 1,3$ m magasságú sarjak számának és tömegének aránya az összes kategóriánként vizsgált sarjhoz viszonyítva, különböző vegetációs évben	95
52. ábra: <i>Populus x euramericana</i> 'Koltay' lombtömegének meghatározása a tőátmérő függvényében Avrami féle telítési függvény segítségével.....	96
53. ábra: <i>Populus x euramericana</i> 'I-214' lombtömegének meghatározása a tőátmérő függvényében Avrami féle telítési függvény segítségével.....	97
54. ábra: <i>Salix alba</i> 'Drávamenti' lombtömegének meghatározása a tőátmérő függvényében Avrami féle telítési függvény segítségével	97
55. ábra: <i>Robinia pseudoacacia</i> lombtömegének meghatározása a tőátmérő függvényében Avrami féle telítési függvény segítségével	98
56. ábra: Lombtömeg sarjtömeghez viszonyított aránya a 4 fafaj/fajta esetében 3 különböző vegetációs ciklusban.....	98
57. ábra: Lombfelület alakulása a sarjtömeg függvényében a 2. vegetációs évben.....	99
58. ábra: Lombfelület alakulása a sarjtömeg függvényében a 3. vegetációs évben.....	99
59. ábra: Hektáronkénti lombtömeg abszolút száraz tömegben kifejezve az ültetvény egy, kettő és három éves korában	100
60. ábra: Telepített ültetvények területe [ha] a támogatottság függvényében [NÉBIH adatai alapján saját szerkesztés].....	105
61. ábra: A telepítések jellemző területnagysága a telepítések számának tekintetében [NÉBIH adatai alapján saját szerkesztés]	106
62. ábra: Ültetvények megoszlása nagy felvevőkapacitással ellátott megyékben [NÉBIH adatai alapján, saját szerkesztés].....	107

Táblázatjegyzék

1. táblázat: Az üvegházhatásúgáz-megtakarítási küszöbök a közlekedési bioüzemanyagokra és a szilárd és gáznemű biomassza előállítási teljesítményére, fűtésére és hűtésére.....	14
2. táblázat: Termikus kezelési technológiák tipikus reakciókörülményei [Demirbaş, 2000; Bodnár, 2016].....	17
3. táblázat: A pirolízis olaj tulajdonságainak összevetése további feldolgozás előtt és után és a hagyományos fűtőolaj és a biodízel minőségek [SenterNovem, 2013 Table 4-2.].....	21
4. táblázat: Főbb kereskedelmi méretben termelő fejlett etanol üzemek Európában.....	25
5. táblázat: Kihozatal és melléktermék arányok főbb faipari ágazatokban, 1 m ³ hengeres élőfára vetítve [Alpár et al., 2011]	32
6. táblázat: A zöldítés és a SAPS támogatási összegei [NAK, 2018]	35
7. táblázat: Az alkalmazott fafajok átlagos hozama és a törzs karbontartalma [Ivelics, 2006; Hajdú, 2009; Führer et al., 2008; Buzás, 2006; Singh-Lodhiyal, 2009; Yin et al., 2012; Fang et al., 2007; Stolarsky, 2008; Quinkenstein et al. 2012; Heil et al., 2017; Gyuricza, 2010; Czupy-Vágvölgyi, 2011; Tamás-Blaskó, 2008].....	40
8. táblázat: Dendromassza alapanyagok jellemzői.....	44
9. táblázat: A vizsgált alapanyagok hozamainak összehasonlítása [Eurostat, 2018; GSOVN, 2018; Vágvölgyi, 2014].....	46
10. táblázat: Évente betakarítható melléktermékek tömegének ingadozása	69
11. táblázat: Állatállomány becsült éves alomszükséglete a 2017-es évben [Maga, 2012; KSH, 2018 alapján]	73
12. táblázat: Alapanyagbázis lábnyom (BMF) 1t és 10 GJ biohajtóanyagra számítva.....	78
13. táblázat: A BTL-BTG pirolízis technológia bemenő alapanyagra vonatkozó követelményei	82
14. táblázat: Mezőelemtartalom a vizsgált fafajok esetében az ERTI mérései alapján	86
15. táblázat: Fenometriai paraméterek alakulása a vizsgált nyár, akác és fűz energetikai ültetvényeken	92
16. táblázat: Korrelációs együtthatók értékei a négy vizsgált fafaj/fajta esetében.....	94
17. táblázat: A lomb szerepe a talaj széntartalmának növelésében.....	101
18. táblázat: Energetikai ültetvények természetes szénmérlege.....	102
19. táblázat: Gépi munkák során kibocsátott szén mennyiségek becslése alacsony és magas munkagép teljesítmény mellett [Vágvölgyi, 2013 nyomán saját számítás]	103
20. táblázat: Kettő dendromasszát hasznosító magyarországi villamos erőmű főbb jellemzői [WEB 8 alapján saját szerkesztés]	108
21. táblázat: 1 tonna fa alapanyagból előállítható hajtóanyag vagy villamosenergia és az általuk megtehető távolság	109

Irodalomjegyzék

Ábel M. (2016): Mezőgazdasági hulladékok hasznosításának és az alkalmazott enzim visszanyerésének lehetőségei. Doktori disszertáció. Szegedi Tudományegyetem, Szeged. p. 119.

Abrahamson L. P.; Robinson D. J.; Volk T. A.; White E. H.; Neuhauser E. F.; Benjamin W. H.; Peterson J. M. (1998): Sustainability and environmental issues associated with willow bioenergy development in New York (U.S. A.). *Biomass and Bioenergy* 15, pp. 17-22.

Ádám A.; Holló F. (2001) Magyar Nagylexikon. Magyar Nagylexikon Kiadó, Budapest.

Adler A.; Verwijst T.; Aronsson P. (2005): Estimation and relevance of bark proportion in a willow stand. *Biomass and Bioenergy* 29 (2). pp. 102-113.

Agblevor F. A.; Besler S. (1996): Inorganic compounds in biomass feedstocks .1. Effect on the quality of fast pyrolysis oils. *Energ Fuel*. 10(2), pp. 293-298.

AGMRC Agricultural Marketing Resource Center (2017): Rapeseed.
<https://www.agmrc.org/commodities-products/grains-oilseeds/rapeseed>

Agrárágazat (2013): Tapasztalatok a biomassza fűtés területén VI. ? alternatív üzemanyagok.
<https://agraragazat.hu/cikk/tapasztalatok-biomassza-futes-teruleten-vi-alternativ-uzemanyagok>

Al Afas N.; Marron N.; Van Dongen S.; Laureysens I.; Ceulemans R. (2008): Dynamics of biomass production in a poplar coppice culture over three rotations (11 years). *Forest Ecology and Management* 255, pp. 1883-1891.

Alonso D. M.; Bond, J. Q.; Dumesic J. A. (2010): Catalytic conversion of biomass to biofuels. *Green chem*, 12, pp. 1493-1513.

Alpár T.; Csóka L.; Németh G. (2011): Faipari melléktermékek hasznosítása és a CO₂-kibocsátás. Magyar Asztalos és Faipar Konferencia.

Asadullah, M.; Miyazawa, T.; Ito, S.; Kunimori, K.; Tomishige K. (2003): Demonstration of real biomass gasification drastically promoted by effective catalyst. *Appl Catal A*, 246, pp. 103-116.

Ádám B. (2011): Energiaellátás, alternatív energiaforrások hasznosítása. Digitális Tankönyvtár. Szent István Egyetem.
https://www.tankonyvtar.hu/en/tartalom/tamop412A/2010-0019_Energiaellatas_alternativ_energiaforrasok_hasznositasa/ch09s02.html

Bai A.; Kormányos Sz. (2006): Projektjavaslat bioetanol-termelésre Hajdú-Bihar megyében. Elő-megvalósíthatósági tanulmány. Megrendelő: OTP Hungaro-Projekt KFT, Budapest. Debrecen, p 53.

Bai A.- Tarsoly P. (2011): A hazai melléktermék-hasznosítás. Agrárium. Debreceni Egyetem.

Bai A. (2013): A bioetanol és a második generációs biohajtóanyagok. Digitális Tankönyvtár. Debreceni Egyetem.
https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0085_bioetanol_es_a_masodik_generacios_biohajtoanyagok/ch07s04.html

Bai A. (2013b): Biogáz előállításának technológiája. Digitális Tankönyvtár. Debreceni Egyetem.

Bajomi B. (2014): Kell-e nekünk a bioüzemanyag?. Origo.
<http://www.origo.hu/kornyezet/20140523-etanol-biodizel-kornyezetvedelem-eletciklus-uveghazgaz-kibocsatas-kell-e-nekunk-a-biouzemanyag.html>

Bakti B. (2016): Kedvezőtlen termőhelyi feltételek mellett telepített fás szárú energetikai ültetvény hozamvizsgálata. Konferenciakiadvány. Alföldi Erdőkért Egyesület 2016. Kutatói Nap, pp. 11-17.

Balla J. (2012): A földgáz gázkromatográfiás elemzéssel meghatározott összetételéből számított karbon tartalmának és fűtőértékének bizonytalansága. FGSZ ZRT.
https://fgsz.hu/hu-hu/Documents/142/karbon_tartalom_bizonytalansaga_2012_02.pdf

Banks S. W.; Nowakowski D. J.; Bridgwater A. V. (2014): Fast pyrolysis processing of surfactant washed Miscanthus. Fuel Process Technol. 128, pp. 94-103.

Barkóczy Zs.; Ivelics R. (2008): Energetikai célú ültetvények. Erdészeti Kisfüzetek, Sopron. p. 88.

Barótfi I. (szerk.) (2003): Környezettechnika. Mezőgazda Kiadó. p. 982. ISBN: 9789639239500

Barótfi I. (2009): Legyen több kicsi biomassza erőmű. Zöldtech magazin.
<http://zoldtech.hu/cikkek/20090817-biomassza-interju/?idorend=novekvo>

Basu P. (2010): Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory. Elsevier. ISBN 978-0-12-374988-8, p. 365.

Battelle (2013): Creating Bio-Oil from Wood Chips a Reality at Battelle.
<https://www.battelle.org/newsroom/press-releases/press-releases-detail/creating-bio-oil-from-wood-chips-a-reality-at-battelle>

Bárány G.; Csiha I (2007): Kivezető út vagy zsákutca- Gondolatok az energetikai ültetvényekkel kapcsolatosan. In: Erdészeti lapok CXLII. évf. 4. szám. pp. 114-115.

Bay Zoltán AKKN Kft: Szektorközi kapcsolatépítés. Értékteremtés a mezőgazdasági és erdészeti szektorban. Horizon 2020.
<http://www.nyeromagyarok.eu/bay-zoltan-alkalmazott-kutatasi-kozasznu-nonprofit-kft.html>

Bense L.; Nagy I. (2011): Modern szecsikázógépek. Agroforum. pp. 82-86.
https://www.farmit.hu/sites/default/files/documents/agroforum/BenseL_af_2011jun.pdf

Bergante S.; Nervo G.; Facciotto G. (2014): Biomass production of fast growing species SRC in a marginal soil (Italy). Poster. EU BC and E 2014. 22nd European Biomass Conference and Exhibition.
http://www.populus.it/pdf/2014_BERGANTE_HAMBURG_BIOMASS_1CV.4.43_POSTER_A4.PDF

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, pp. 167-179.

Beszédes S.; Tachon A.; Lemmer B.; ÁBEL M.; Szabó G.; Hodúr C. (2012): Bio-fuels from cellulose by microwave irradiation. *Annals of Faculty of Engineering Huneodara-International Journal of Engineering* 10 (2), pp. 43-48.

Biorefineries (2017): Cellulosic ethanol biorefineries at commercial scale.
<https://biorrefineria.blogspot.com/2015/08/cellulosic-ethanol-biorefineries.html>

Bíró B. (2012) Biomassza hasznosítás. Kézirat. Edutus Főiskola. p. 86.

Blanco-Canqui H. (2016): Growing dedicated energy crops on marginal lands and ecosystems services. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 80, pp. 845-858.

Bodnár I. (2014): A biomasszából előállított szintézisgáz alternatív üzemanyagként történő alkalmazásának vizsgálata. *Multidiszciplináris tudományok* 4 (1). pp. 77-92.

Bodnár I. (2016): Hulladékok energetikai célú hasznosításának vizsgálata energiahatékonyság, költség-haszon és életciklus-elemzési módszerekkel. Doktori disszertáció. Miskolci Egyetem, Miskolc, p. 161.

Boman U. R.; Turnbull J. H. (1997): Integrated biomass energy systems and emissions of carbon dioxide. *Biomass and Bioenergy* 13 (6), pp. 333-343.

Borovics A. (2008): Energetikai faültetvények gyakorlati megvalósítása. Előadás. Kutatási eredmények hasznosításával a korszerű mezőgazdaságért. 2008. március 30. Kecskemét.

Borovics A.; Csiha I.; Benke A. (2013): Az energetikai ültetvények fajtaválasztéka. Dendromassza alapú energiaforrások. Projektkiadvány. p. 12-15. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó. Budapest

Bouvier J. M.; Gelus M.; Maugendre S. (1988): Wood liquefaction-An overview. *Applied Energy* 30(2), pp. 85-98.

BP statistical review of world energy (2014): june 2014
<http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf>

BP Statistical Review of World Energy June (2017)
<https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

Bridgwater A. V.; Toft A. J.; Brammer J. G. (2002): A techno-economic comparison of power production by biomass fast pyrolysis with gasification and combustion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 6 pp. 181–248.

Bungarta, R., Hüttel, R.F. (2001): Production of biomass for energy in post-mining landscapes and nutrient dynamics. *Biomass and Bioenergy* 20 (3) pp 181–187.

van Bussel L. (2006): The potential contribution of a short-rotation willow plantation to mitigate climate change. Doktori disszertáció. Wageningen University. p. 51.

Buzás Z. (2006): Az erdőben évente keletkező famennyiségben megkötött szén, illetve a folyónövedék keletkezéséhez szükséges légköri szén-dioxid mennyiség meghatározásának módszere. Fagosz.

http://www.fagosz.hu/fataj/FATAJ_online/2006/08_02200226/Kyoto/Buzas_SZ-xx-erdotag-szamitasa.pdf

Castaño-Díaz M.; Barrio-Anta M.; Afif-Khouri E; Cámara-Obregón A. (2018): Willow Short Rotation Coppice Trial in a Former Mining Area in Northern Spain: Effects of Clone, Fertilization and Planting Density on Yield after Five Years. *Forests* 9 (3), 154; doi:10.3390/f9030154

Clausen C. A.; Smith R. L. (1998): CCA removal from treated wood by chemical, mechanical, and microbial processing. *Proceedings of the 4th International Wood Preservation Symposium The Challenge-Safety and Environment*.

<https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1998/claus98b.pdf>

Clausen C (2004): Improving the two-step remediation process for CCA-treated wood: Part I. Evaluating oxalic acid extraction. *Waste Management* 24(4) pp 401-405.

CNBC Consumer News and Business Channel (2011): Oil will be gone in 50 years.

<http://www.cnbc.com/id/42224813>

Coleman M. D.; Friend A. L.; Kern C. C. (2004): Carbon allocation and nitrogen acquisition in a developing *Populus deltoides* plantation. *Tree Physiol.* 24(12) pp. 1347-1357.

Cosi, B.; Stani, Z.; Dui, N. (2011): Geographic distribution of economic potential of agricultural and forest biomass residual for energy use: Case study Croatia. *Energy* 36(4) pp 2017-2028.

Csanády V.; Horváth-Szováti E.; Szalay L. (2013): *Alkalmazott statisztika. Egyetemi jegyzet. Nyugat-magyarországi Egyetemi Kiadó.* p 175. ISBN 978-963-334-243-5.

Czupy I.; Vágvolgyi A. (2011): *Mezőgazdasági (növénytermesztés, állattartás, erdészeti) hulladékok kezelése és hasznosítása. Digitális Tankönyvtár. Pannon Egyetem.*
https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Mezogazdasag_hulladekai/adatok.html

Danon G.; Stevanovic J. T; Bujanovic B.; Stanojevic G. (1996): Short-rotation poplar bark utilization for the production of light briquettes. *Biomass for the energy and the environment. Proceedings of the Ninth European Bioenergy Conference, Copenhagen, Denmark, vol. 2, p. 942–947.*

Demirbas, A. (2000): Recent advances in biomass conversion technologies. *Energy Education, Science and Technology* 6, pp. 77–83.

De Rezende Pinho A.; De Almeida M. B. B.; Mendez F. L.; Casavechia L. C.; Talmadge M. S.; Kinchin C.; Chum H. (2017): Co-processing of pyrolysis oil in conventional refinery operations to produce biomass-derived gasoline and diesel fuel blendstocks. *BBEST Conference 2017. Campos do Jordão, Brazil.* p. 13.

Dibdiakova J.; Vadla K. (2012): Basic density and moisture content of coniferous branches and wood in Northern Norway. *EPJ Web of Conferences* 33 02005. DOI: 10.1051/epjconf/20123302005.

Dobos A.; Megyes A.; Sulyok D. (2006): Fás szárú növények energetikai célú hasznosításának lehetőségei a Nyírbátori kistérségben. *Tanulmány. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum, Földműveléstani és Területfejlesztési Tanszék.* p 32.

Dou, C.; Marcondes, W. F.; Djaja, J. E.; Gustafson, R.; Bura, R. (2017b): Can we use short rotation poplar coppice for sugar based biorefinery feedstock? Bioconversion of 2-year-old poplar grown as short rotationcoppice. *Biotechnol. Biofuels*.

Dou C.; Chandler D. S.; Resende F.; Bura R. (2017a): Fast Pyrolysis of Short Rotation Coppice Poplar: An Investigation in Thermochemical Conversion of a Realistic Feedstock for the Biorefinery. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* 5(8). DOI: 10.1021/acssuschemeng.7b01000.

Drzewiecka K.; Mleczek M.; Gąsecka M.; Magdziak Z.; Goliński P. (2012): Changes in *Salix viminalis* L. cv. 'Cannabina' morphology and physiology in response to nickel ions – Hydroponic investigations. *Journal of Hazardous Materials Volumes* 217-218, pp 429–438.

EBTP (2013): European Biomass Technology Platform-Agricultural residues as feedstocks for biofuels production. <http://biofuelstp.eu/agri-residues.html>

Egyházi A.; Réczai I.; Simándi B. [2001]: Szuperkritikus oldószerek alkalmazása a lignocellulózok hasznosításában, *Olaj, szappan, kozmetika* 50 (3).

Elliott D. C.; Biller P.; Ross A. B.; Schmidt A. J.; Jones S. B. (2014): Hydrothermal liquefaction of biomass: Developments from batch to continuous process. *Bioresource Technology* 178, pp. 147–156.

Enerdata (2017): Global Energy Statistical Yearbook
<https://yearbook.enerdata.net/oil-products/world-oil-domestic-consumption-statistics.html>

ERTI NAIK Erdészeti Tudományos Intézet (2018): Kutatások
<http://www.erti.hu/hu/kutat%C3%A1sok/%C3%BCltetv%C3%A9nyszer%C5%B1-fatermeszt%C3%A9s?id=266>

Fábián Cs.; Jóri J. I. (2012): A kukoricaszár betakarítás agrotechnikai műszaki feltételrendszere.
https://www.magyar kukoricaklub.hu/data/file/2012/09/06/pdf_kukoricaklub_2006102105290_0_g5lzz.pdf?show=

Fang, S.; Xue, J.; Tang, L. (2007): Biomass production and carbon sequestration potential in poplar plantations with different management patterns. *Journal of Environmental Management* 85 (3) pp 672–679.

Farkas I. (2016): Így takaríthatjuk be a kukoricaszárat. *Agroinform*.
<https://www.agroinform.hu/gepeszet/igy-takarithatjuk-be-a-kukoricaszarat-30535-001>

Filyó D.; Olajos I. (2013): A biogáz és az arra vonatkozó speciális szabályozások. *Anyagmérnöki Tudományok*, 38 (1). pp. 67-76.

Fogarassy Cs. (2001): Energianövények a szántóföldön. SZIE GTK Európai Tanulmányok Központja, Gödöllő. ISBN 963 9256 47 1, p. 144.

Fontana M.; Labrecque M.; Messier C.; Bélanger N. (2018): Permanent site characteristics exert a larger influence than atmospheric conditions on leaf mass, foliar nutrients and ultimately aboveground biomass productivity of *Salix miyabeana* 'SX67'. *Forest Ecology and Management*. vol. 427. pp 423-433.

- Foster K. (2001): 1771 Cugnot Fardier a Vapeur: The mother of all motorcars. Autoweek. <http://autoweek.com/article/car-news/1771-cugnot-fardier-vapeur-mother-all-motorcars>
- Frankó B.; Galbe M.; Wallberg O. (2015): Influence of bark on fuel ethanol production from steam-pretreated spruce. *Biotechnology for Biofuels* 8(1). DOI: 10.1186/s13068-015-0199-x
- Frankó B.; Galbe M.; Wallberg O. (2016): Bioethanol production from forestry residues: A comparative techno-economic analysis. *Applied Energy* 184, pp. 727-736.
- Fu P.; Hu S.; Sun L.; Xiang J.; Yang T.; Zhang A. (2009): Structural evolution of maize stalk/char particles during pyrolysis *Bioresource Technol* 100, pp. 4877-4883.
- Führer E.; Bidló A.; Somogyi Z. (2015): : Szénkészlet és talajtermékenység. In: Bidló A. (2015): Agrárklíma Az előrevetített klímaváltozás hatáselemzése és az alkalmazkodás lehetőségei az erdészeti- és agrárszektorban. Zárókiadvány. Agrárklíma projekt. <http://publicatio.nyme.hu/354/1/09.pdf>
- Führer E.; Rédei K.; Tóth B. (2008): Ültetvényszerű fatermesztés 2. Agroiinform Kiadó, Budapest. ISBN 978-963-502-888-7
- Gockler L. (2010): Fás szárú energiaültetvények a mezőgazdaságban 2. rész – A sarjaztatásos fás szárú energetikai ültetvény technológiájának megfontolandó elemei. *Mezőgazdasági technika*, 2010/11.
- Goel V. L.; Behl H. M. (1996): Fuelwood quality of promising tree species for alkaline soil sites in relation to tree age. *Biomass and Bioenergy* 10 (1), pp 57-61.
- Gordos M. (1969): Néhány gondolat a bruttó fatömeg helyes kiszámításához. *Az Erdő* 18. (104.) évf. 4. füzet, pp 154-158.
- Goudriaan J.; Unsworth M. H. (1990): Implications of Increasing Carbon Dioxide and Climate Change for Agricultural Productivity and Water Resources. In *Impact of Carbon Dioxide, Trace Gases, and Climate Change on Global Agriculture*, ASA Special Publication no. 53. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America
- GSOVN GENERAL STATISTICS OFFICE of VIET NAM 2018
https://www.gso.gov.vn/Default_en.aspx?tabid=515
- Gyulai I. (2006): Biomassza dilemma. Magyar Természetvédők Szövetsége Kiadó. Budapest. Második átdolgozott kiadás. ISBN-10: 963-86870-8-8; ISBN-13: 978-963-86870-8-1
- Gyuricza Cs. (szerk.) (2014): Energianövények, biomassza termelés és felhasználás. 6. tananyag. Ágazati együttműködés a hulladékgazdálkodás, szennyvízkezelés és megújuló energia képzési rendszerének fejlesztése érdekében. Gödöllő. p. 143.
- Gyuricza, Cs. (2007): Cultivating woody energy crops for energetic purposes. *Biowaste*. 2 (4) pp 25-32.
- Gyuricza Cs (2010): Új fás szárú energiaültetvény technológiája és hasznosításának komplex kidolgozása teljes termékpálya mentén. 3. munkaszakasz szakmai beszámolója. Részjelentés 2009. 02.01. – 2010.01.31. <http://www.econovum.hu/images/3munkbesz.pdf>

Ha M.; Munster C. L.; Capareda S.; Vietor D. M.; Provin T.; Palma M. (2011): GIS Program to Optimize Feedstock Utilization for Mobile Pyrolysis Units. Konferenciakiadvány. Konferencia: 2011.08 7-10. Louisville, Kentucky. DOI: 10.13031/2013.38518.

Haffner T. (2017): A megújuló energiaforrások alkalmazása a villamosenergia- és hőtermelésre II.: geotermikus energia és biomassza Közép-európai közlemények, (10) 2, pp. 44-59.

Hajdú J. (2009): Alternatív energiatermelés a gyakorlatban-Technológiák és gyakorlati alkalmazások. Karbonpiac 2009 konferencia kiadvány. II., p. 170.

Hajdú J. (2015): A szőlővenyige betakarítása és energetikai hasznosítása. Mezőgazdasági technika. 2015. május.

http://technika.gmgi.hu/uploads/termek_751/a_szolovenyige_betakaritasa_es_energetikai_hasznositasa_15_05.pdf

Hancsók J. (2004): Korszerű motor- és sugárhajtómű üzemanyagok III. Alternatív Motorhajtóanyagok. Veszprémi Egyetemi Kiadó. p. 430. ISBN 963 9495 33 6.

Hancsók J.; Kovács F.; Krár M. (2004): Production of vegetable oil fatty acid methyl esters. Petroleum&Coal 42(3), pp. 36-47.

Hancsók J.; Nagy G.; Varga Z. (2006): Gázolajok előállítása szintetikus kőolaj izomerizáló hidrokrakkolásával. Pannon Egyetem.

http://vikkk.vein.hu/publix/mkn06/Polczmann_Gazolajok_ea_ihk.pdf

Hancsók J. (2012): Belsőégésű motorok korszerű, cseppfolyós üzemanyagai. Magyar Tudomány. Mobilitás és környezet különszám. 173. évfolyam – 2012/7 – különszám. p. 161-175.

Haszon Agrár (2010): Mit kezdünk a kukoricaszárral?

<http://www.haszon.hu/agrar/noevenytermesztes/533-mit-kezdjenk-a-kukoricaszaral.html>

Heil B.; Heilig D.; Kovács G. (2017): Fás szárú ültetvények létesítési lehetőségei új Európai Unió támogatással. Nemzeti Agrárkamrai Kiadvány.

<https://www.nak.hu/kiadvanyok/tisz/1716-fas-szaru-ultetvenyek-letesitesi-lehetosegei2/file>

Heinsoo K.; Merilo E.; Petrovits M.; Koppel A. (2009): Fine root biomass and production in a *Salix viminalis* and *Salix dasyclados* plantation. Estonian Journal of Ecology 58 (1), pp. 27-37.

Hirka A. (szerk) (2014): A 2013. évi biotikus és abiotikus erdőgazdasági károk, valamint a 2014-ben várható károsítások. Erdészeti Tudományos Intézet, NÉBIH Erdészeti Igazgatóság, p. 103.

Hoonsoo L.; Byoung-Kwan C.; Moon S. K.; Wang-Hee L.; Jagdish T.; Hanhong B.; Soo-In S.; Hee-Youn C. (2013): Prediction of crude protein and oil content of soybeans using Raman spectroscopy. Sensors and Actuators B: Chemical 185, pp. 694-700.

Horváth B.; Horváth A. L. (2014): Erdészeti többcélú kihordó fejlesztése. Erdészeti Lapok CXLIX. évf. 1. szám

Hunethanol (2017): Operating large-scale bioethanol production from lignocellulosic feedstocks. Our project

<http://hunethanol.com/project/#more-37>

Ibity, Á. (1955): A természetes felújítás hozamfokozó hatásáról. Erdészeti Lapok, 1955. június (http://www.erdeszetilapok.hu/?page=arch_view&id=5937)

IEA International Energy Agency (2017): Tracking Progress: Transport biofuels
<https://www.iea.org/etp/tracking2017/transportbiofuels/>

IPCC Intergovernmental Panel of Climate Change (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>

Ivelics R. (2006): Minirotációs energetikai faültetvények termesztéstechnológiájának és hasznosításának fejlesztése. Doktori (PhD) értekezés. Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, p. 204.

Jahirul M. I; Rasul M. G.; Chowdhury A. A.; Ashwath N. (2012): Biofuels Production through Biomass Pyrolysis —A Technological Review. *Energies* 5, pp. 4952-5001. doi:10.3390/en5124952, ISSN 1996-1073.

Jákófa (2017): Pirolízis technológián alapuló hulladék fűrészpor feldolgozás
<https://ec.europa.eu/eipp/desktop/hu/projects/project-print-293.html>

Járó Z. (1958): Alommennyiségek a magyar erdők egyes típusaiban. Erdészeti és Faipari Tudományos Közlemények 1, pp. 151-160.

Járó Z. (1959): Az erdei alom. Az erdő. IVIII (8), pp. 281-320.

Jiménez-Sánchez G.; Philip J. (2016): Chapter 11 - Genomics and the Bioeconomy: Opportunities to Meet Global Challenges. *Genomics and Society, Ethical, Legal, Cultural and Socioeconomic Implications*. pp. 207-238.

Johnson, E. (2008): Goodbye to carbon neutral: Getting biomass footprints right. *ScienceDirect*, EIR-05579; p. 4.

Jose S. (szerk.) (2010): Agroforestry for Ecosystem Services and Environmental Benefits. Springer Kiadó, ISBN 978-90-481-3322-2

Juhász Gy. (2006): A régióra jellemző mezőgazdasági hulladékok és melléktermékek tüzeléstechnikai hasznosítása. PhD értekezés. Debreceni Egyetem, Debrecen, p. 120.

Jung L.; Gergely S. (2011): Zöldláng Projekt, III. munkaszakasz beszámoló.
http://www.zoldlang.com/sites/default/files/III%20munkaszakasz_0.pdf

Kandasamy M.; Hamawand I.; Bowtell L.; Seneweera S.; Chakrabarty S.; Yusaf T.; Shakoor Z.; Algayyim S.; Eberhard F. (2017): Investigation of Ethanol Production Potential from Lignocellulosic Material without Enzymatic Hydrolysis Using the Ultrasound Technique. *Energies* 10 (62) doi:10.3390/en10010062

Karp A.; Haughton A. J.; Bohan D. A.; Lovett A. A.; Bond A. J.; Dockerty T.; Sünnenberg G.; Finch J. W.; Sage R. B.; Appleton K. J.; Riche A. B.; Mallott M. D.; Mallott V. E.; Cunningham M. D.; Clark S. J.; Turner M. M. (2009): Perennial energy crops: implications and potential. In: Winter M.; Lobley M. (szerk.) (2009) What is Land For? The Food, Fuel and Climate Change Debate. Earthscan; London, pp 47–72.

Katonáné G. K. (2010): Birtoktervezési és rendezési ismeretek 13., A fenntartható erdőgazdálkodás tervezése, nyilvántartásának rendszere. Nyugat-magyarországi Egyetem, Digitális Tankönyvtár.

http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_BTRI13/ch01s02.html

Kazai Zs. (2008.): Zöld energiát okosan avagy, a biomassza energetikai célú hasznosításának környezeti fenntarthatósági feltételei, Energia Klub.

Keenleyside, C.; Tucker, G. M. (2010): Farmland Abandonment in the EU: an Assessment of Trends and Prospects. Report prepared for WWF. Institute for European Environmental Policy, London, p. 93.

KEMOH (2015): A Pilisi Parkerdő Zrt. Komárom-Esztergom megyei erdőterületeinek állapota, az erdőterületek fejlesztése, fenntartása, a közmunkaprogram tapasztalatai.

http://www.kemoh.hu/cikk_kepek/pdf/kozgyules/150924/20150924_5.pdf

Kenney K. L.; Smith W. A.; Gresham G. L.; Westover T. L. (2014): Understanding biomass feedstock variability. *Journal Biofuels* 4 (1). pp. 111-127.

Kern C. C. ; Friend A. L.; Johnson J. M. F.(2004): Fine root dynamics in a developing *Populus deltoides* plantation. *Tree Physiol* 24, pp. 651–660.

Klasnja B.; Kopitovic S.; Orlovic S. (2002): Wood and bark of some poplar and willow clones as fuelwood. *Biomass and Bioenergy* 23 (6), pp. 427-432.

Kline R. (2010): Estimating crop residue cover for soil erosion control. Soil factsheet. Ministry of Agriculture. British Columbia. pp. 1-4.

Kocsis I. (2011): Komposztálás, biogáztermelés. Digitális Tankönyvtár. Szent István Egyetem.

[https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-](https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019_Komposztalas_biogaztermeles/ch01.html)

[0019_Komposztalas_biogaztermeles/ch01.html](https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0019_Komposztalas_biogaztermeles/ch01.html)

Kocsis L., Kelemen Zs. (2011): A kukoricaszár bálázása. *Agrárágazat* 2011/11.

Komán Sz.; Molnár S.; Fehér S.; Ábrahám J., Tóth B. (2010): Nyár és akác ültetvények fontosabb energetikai jellemzőinek vizsgálata. *Gép LXI évf. 1. sz.* pp. 29-32.

Kovács G.; Heil B.; Czupy I.; Vágvolgyi A. (2013): Fásszárú energia ültetvények termesztéstechnológiája. *Országos Erdészeti Egyesület 144. Vándorgyűlés. Július 12-13., Tata-Pusztavám*

Kovács G. (2010): A vörösiszap által szennyezett területek erdészeti hasznosítása. *Erdészeti Lapok CXLV. évf. 11. sz.*

Kovács G.; Magyar CS.; Győri T.; Vágvolgyi A.; Heil B. (2014): Energetikai ültetvények az Alföldön. *Alföldi Erdőkért Egyesület, XXII. Kutatói Nap.*

KSH Központi Statisztikai Hivatal (2016)

https://www.ksh.hu/sajtoszoba_kozlemenyek_tajekoztatok_2016_03_

KSH Központi Statisztikai Hivatal (2017) *Statistic of landuse*

KSH Központi Statisztikai Hivatal (2018): *Energia (2005–2016)*

http://www.ksh.hu/thm/3/indi3_1_2.html

Kumar P.; Rao P. V. C.; Choudary N. V.; Sriganesh G. (2017): Saw dust pyrolysis: Effect of temperature and catalysts. *Fuel* 199, pp. 339-345.

Kumar B. M.; Nair P. K. R. (szerk.) (2011): Carbon Sequestration Potential of Agroforestry System. Springer Kiadó. p. 307. ISBN 978-94-007-1629-2

Lako P (2010): ETSAP Energy Technology Systems Analysis Programme
<https://iea-etsap.org/E-TechDS/PDF/E05-BiomassforHP-GS-AD-gct.pdf>

Lakshmidhevi R.; Muthukumar K. (2010): Enzymatic saccharification and fermentation of paper and pulp industry effluent for biohydrogen production, *International Journal of Hydrogen Energy*, 35, pp 3389-3400.

Letzens, S.; Muysa, B.; Ceulemans, R.; Moonen, E.; Garcia J.; Coppina, P. (2003): Energy budget and greenhouse gas balance evaluation of sustainable coppice systems for electricity production. *Biomass and Bioenergy* 24, pp 179 – 197.

Lett B.; Stark M. (2017): Amit a számok mutatnak-Differenciált erdővagyon-gazdálkodás. Erdővagyon-gazdálkodási közlemények 7. Soproni Egyetem Kiadó, Sopron. ISBN 978-963-359-076-8.

Liberloo M.; Gielen B.; Calfapietra C.; Veys C.; Pigliacelli R.; Scarascia-Mugnozza G.; Ceulemans R. (2004): Growth of poplar short rotation coppice under elevated atmospheric CO₂ concentrations (EUROFACE) depends on fertilization and species. *Annals of Forest Science*, Springer Verlag/EDP Sciences 61 (4), pp. 299-307.

Liebhart P. (2009): Energetikai faültetvények. Rövid vágásfordulójú faanyagtermelés. A jövő nyersanyaga. Cser Kiadó, Budapest.

Loch J.; Nosticzius Á. (2004): Agrokémia és növényvédelmi kémia. Mezőgazda Kiadó, Budapest.

Lukács G. S. (1989): Energiaerdő. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

Lukács G. S. (2010): Falufűtőmű. Szaktudás Kiadó Ház. Budapest. 319 p.

MacDonald D.; Crabtree J. R.; Wiesinger G.; Dax T.; Stamou N.; Fleury P.; Gutierrez Lazpita J.; Gibon A. (2000): Agricultural abandonment in mountain areas of Europe: Environmental consequences and policy response. *J. Environ. Manag.* 59 pp. 47–69.

Maga J. (2012): A szalma energetikai hasznosításának lehetőségei Szlovákiában. Innovációval a zöld jövőért. Konferenciakiadvány. ISBN-978-963-9941-55-7, p. 99.

Makk Á. N. (2017): Lignocellulóz rendszerek anaerob fermentációjának vizsgálata. Doktori disszertáció. Soproni Egyetem, Sopron, p. 124.

Mann L.; Tolbert V.; Cushman J. (2002): Potential environmental effects of corn (*Zea mays* L) stover removal with emphasis on soil organic matter and erosion. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. p. 89.

Marosvölgyi B.; Kürtösi A.; Tamás R.; Tóth G.; Petznik P.; Körmendi P. (1999): Az ERTI által létesített energetikai faültetvényeken végzett utómérésekről, és egyéb vizsgálatokról. NYME Energetikai Tanszék, Sopron.

Marosvölgyi B. (1995): Energetikai célú és a racionális földhasznosítást is szolgáló faültetvények komplex vizsgálata. Kutatási jelentés. Erdészeti és Faipari Egyetem. Sopron, pp 28-31.

Marosvölgyi B. (2002): Biomassza-hasznosítás I. Egyetemi jegyzet. NYME Energetikai Tanszék. Sopron.

Marosvölgyi B. (2008): Lignocellulózok az ökoenergetikában. FATÁJ online. http://www.fagosz.hu/fataj/2008/11/061/200811061_Lignocellulozok.php

Marosvölgyi B.; Ivelics R. (2004): Research Report on wood-chips and energy wood production experiments. In: Energy Forest Project, Hungarian Experiments, Budapest.

Mátrai Erőmű Zrt (2015): <http://www.mert.hu/a-matrai-eromu-zrt-velemenyezese-espontositojavaslat-a-nemzeti-energiastrategia-2030-cimu-dokumentumhoz>

Mátyás Cs. (1997): Erdészeti ökológia. Mezőgazda Kiadó, Budapest, p. 312. ISBN: 9789637362958

Mc Cormack M. L.; Adams T. S.; Smithwick A. A. H.; Eissenstat D. M. (2012): Predicting fine root lifespan from plant functional traits in temperate trees. New Phytologist. doi:10.1111/j.1469-

McMillan, J. D. (1994): Pretreatment of lignocellulosic biomass. In: Himmel, M.E.; Baker, J.O.; Overend, R.P. (szerk.): Enzymatic Conversion of Biomass for Fuels Production. American Chemical Society, Washington, DC, pp. 292–324.

Mentes D.; Szemmelveisz T. (2018): Biomassza szerepe az energiaszegénység mérséklésében kistelepüléseken. Energiagazdálkodás. 59. (3-4).

Mészáros E.; Jakab E.; Várhegyi G.; Szepesváry P.; Marosvölgyi B. (2004): Comparative study of the thermal behavior of wood and bark of young shoots obtained from an energy plantation. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 72, pp. 317-328.

de Miguel Mercader F. (2011): Pyrolysis oil upgrading for co-processing in standard refinery units. Kutatási jelentés. ISBN: 978-90-365-3085-9.

Mohr A.; Raman S. (2013): Lessons from first generation biofuels and implications for the sustainability appraisal of second generation biofuels. Energy Policy 63, pp. 114–122.

Molnár Zs.; Horváth F.; Botta-Dukát Z. (2008): A parlagok kiterjedése, elterjedése és regenerációs potenciálja Magyarországon. In: Bartha S.; Molnár Zs. (szerk.)(2008) XI. MÉTA-Túra Füzet.

Molnár S.; Pásztory Z.; Komán Sz. (2013): A faenergetikai minőségi fejlesztésének szakmai megalapozása (mire elég a magyar dendromassza?!). FATÁJ online. www.fataj.hu

Molnár S. (2013): A bruttó-nettó fakitermelés és az apadék változása az elmúlt 20 évben, Fatáj online. from: http://www.fataj.hu/2013/03/071/201303071_brutto-netto-fakitermeles-es-az-apadek.php

Molnár S.; Bariska M. (2002): Magyarország ipari fái. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, p. 210. ISBN: 9639422533

Molnár S. Börcsök Z. (2009): Faenergia alapanyag forrásai és fejlesztési lehetőségei. Konferencialeőadás. A fa, mint megújuló energiaforrás konferencia. Sopron. <https://slideplayer.hu/slide/2125421/>

MVM (2017): Elektromos és belső égésű motoros autók energiafelhasználása, szén-dioxid-kibocsátása. Budapest. p. 8. https://www.mvmpartner.hu/-/media/MVMPartner/Documents/Dokumentumtr/Erdekessegek/20170616/Elektromos-es-belso-egesu-motoros-autok-energiafelhasznalasa_final.pdf?la=hu-HU

Mythili P.; Venkatachalam P.; Subramanian D. U. (2013): Characterization of bioresidues for biooil production through pyrolysis. *Bioresource Technology* 138.pp. 71-78.

Nagy I. (2016): Csodavárás helyett egy lehetséges megoldás – jövőnk az iparifa-ültetvény! (1. rész). Erdő-mező online. <http://erdo-mezo.hu/2016/02/07/csodavaras-helyett-egy-lehetseges-megoldas-jovonk-az-iparifa-ultetveny-1-resz/>

NAK Nemzeti Agrárgazdasági Kamara (2018): Zöldítés Gazdálkodói Kézikönyv. p. 72.

NÉBIH (2015a): Erdővagyon, erdőgazdálkodás Magyarországon. https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/206281/2015_leporello_magyar_web_300dpi.pdf/672fd0f8-3a59-4dc7-a51a-13fd0daa7c2f

Neményi M. (2009): Megújuló energiaforrások kutatási-fejlesztési tevékenysége a karon. http://www.mtk.nyme.hu/fileadmin/user_upload/szti/biomotion/biofuels_in_hungary.pdf

Német B. (2013): A fanyesedék és a szőlővenyige energetikai célú hasznosítása. Értékálló aranykorona. pp. 31-32. <http://www.physics.ttk.pte.hu/pages/munkatarsak/nemetb/Pub-31-EA-2013-10-Venyige%20hasznositas.pdf>

Németh G. (2009): Fafeldolgozási hulladékok kezelése, feldolgozhatósága. Doktori disszertáció. Nyugat-magyarországi Egyetem, Sopron, p. 199.

Németh K. (2007): A biomassza energetikai hasznosításának gazdasági és környezeti összefüggései. I. Terület- és vidékfejlesztési Konferencia, Kaposvár.

Németh K. (2011): Dendromassza-hasznosításon alapuló decentralizált hőenergia-termelés és felhasználás komplex elemzése. Doktori disszertáció. Pannon Egyetem, Keszthely, p. 151.

NFM Nemzeti Fejlesztési Minisztérium (2014): Nemzeti Energiastratégia 2030. Összefoglaló. p. 40. <http://2010-2014.kormany.hu/download/b/87/70000/ESTRAT%20r%C3%B6vid%20magyar%20verzi%C3%B3.pdf>

Nguyen Q.; Bowyer J.; Howe J.; Bratkovich S.; Groot H.; Pepke E.; Fernholz K. (2017): Global production of second generation biofuels: Trends and influences. p. 16.

Nwakaire J. N.; Ezeoha B. O.; Ugwuishiwu B. O. (2013): Production of cellulosic ethanol from wood sawdust. *Agric Eng Int: CIGR Journal* 15 (3).

OECD/FAO (2016), “OECD-FAO Agricultural Outlook”, OECD Agriculture statistics (database), <http://dx.doi.org/10.1787/agr-outl-data-en>

- Oudenhoven S. R. G.; Westerhof R. J. M.; Aldenkamp N.; Brilman D. W. F.; Kersten S. R. A. (2013): Demineralization of wood using wood-derived acid: Towards a selective pyrolysis process for fuel and chemicals production. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 103, pp 112-118.
- Papp V.; Szalay D.; Gaál L. (2016): Agripellet előállítás alapanyag bázis vizsgálata Magyarországon. *Journal of Central European Green Innovation*. pp 89-102.
- Papp V. (2018): Energetikai pelletek előállításának és hasznosításának ökoenergetikai vonatkozásai. PhD disszertáció. Soproni Egyetem, Sopron.
- Papp V.; Marosvölgyi B. (2010): A pelletálás energiamérlegének vizsgálata. *Tudományos eredmények a gyakorlatban, Szolnok*, p. 101–105.
- Pavlovič I.; Knez Z.; Škerget M. (2013): Hydrothermal reactions of agricultural and food processing wastes in sub- and supercritical water: a review of fundamentals, mechanisms, and state of research. *J Agr Food Chem*, 61 (34), pp 8003-8025.
- Pellegrino, E.; Di Bene, C.; Tozzini, C.; Bonari, E. (2011): Impact on soil quality of a 10-year-old short-rotation coppice poplar stand compared with intensive agricultural and uncultivated systems in a Mediterranean area. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140 pp 245–254.
- Pintér G.; Németh K.; Kis-Simon T. (2009): A szőlővenyige és a fanyesedék biomassza erőművi beszállításának elemzése. *Gazdálkodás*, 53. évf. 4. szám p 357.
- Posza B. (2018): A hazai energiaültetvények, mint megújuló energiaforrások gazdasági vizsgálata. *Kaposvári Egyetem. Kaposvár*, p. 176.
- Pölczman Gy. (2013): Korszerű üzemanyagkomponensek előállítása Fischer-Tropsch nehéz paraffinelegyből. Doktori disszertáció. Pannon Egyetem, Veszprém.
- Quinkenstein, A.; Pape, D.; Freese, D.; Schneider, B. U; Hüttl, R. F. (2012): Biomass, Carbon and Nitrogen Distribution in Living Woody Plant Parts of Robinia pseudoacacia L. Growing on Reclamation Sites in the Mining Region of Lower Lusatia (Northeast Germany). *International Journal of Forestry Research Volume*. Article ID 891798, p 10.
- Raavendran K.; Ganesh A.; Khilart K. C. (1995): Influence of Mineral Matter on Biomass Pyrolysis Characteristics. *Fuel* 74(12), pp. 1812-1822.
- Radics L. (szerk) (1994): Szántóföldi növénytermesztés. Egyetemi Jegyzet. Budapest. p. 220.
- Radó D. (1999): Fasorok EU-módszer szerinti értékelése. *Lélegzet* 1999/7–8
- Rajvanshi A, K. (1986): Biomass gasification *Altern Energy Agric*, 2, pp. 82-102.
- Ranzi E.; Debiagi P. E. A.; Frassoldati A. (2017): Mathematical Modeling of Fast Biomass Pyrolysis and Bio-Oil Formation. Note I: Kinetic Mechanism of Biomass Pyrolysis. *ACS Sustainable Chem. Eng.* 5, pp. 2867-2881.
- Rácz L. (2010): Aufgaben der Mitigation der Kohlenwasserstoff-industrie. In: Palocz-Andresen M.; Németh R.; Szalay D. (2010): *Támop-Humboldt Kolleg für den Umwelt- und Klimaschutz. Konferenciakiadvány. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron. ISBN 978-963-334-063-9. pp. 131-136.*

- Rátonyi T. (2013): Biomassza anyagismeret. Digitális Tankönyvtár. Debreceni Egyetem. https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0085_biomassza_anyagismeret/ch03.html
- Rédei K.; Csiha I.; Veperdi I. (2009): Energiaerdők, faültetvények új területhasznosítási lehetőségek. In: Magyar Tudomány 2. szám.
- Rédei K. (2014): Bevezetés az ültetvényszerű fatermesztés gyakorlatába. Agroinform Kiadó és Nyomda Kft., Budapest, pp. 92.
- Rénes J. (2008): Fás szárú energiaültetvények a gyakorlatban II. Bioenergia 3 (4), pp 16–19.
- Rénes J. (2010): Fatüzelésű erőművek és fűtőművek hosszú távú tüzelőanyag-ellátása energiaültetvényekről, 2010. <http://www.e-gepesz.hu/?action=show&id=4742>; Letöltés: 2011. december 9.
- Rétfalvi T.; Tukacs-Hajos A.; Albert L.; Marosvölgyi B. (2011): Laboratory scale examination of the effects of overloading on the anaerobic digestion by glycerol. Bioresource Technology 102. pp. 5270–5275.
- Robertson G. P.; Dale V. H.; Doering O. C.; Hamburg S. P.; Melillo J. M.; Wander M. M.; Parton W. J.; Adler P. R.; Barney J. N.; Cruse R. M. (2008): Agriculture. Sustainable biofuels redux. Science 322, pp. 49–50.
- Ruiz E.; Cara C.; Ballesteros M.; Manzanares P.; Ballesteros I.; Castro E. (2006): Ethanol production from pretreated olive tree wood and sunflower stalks by an SSF process. Appl. Biochem. Biotechnol, 129, pp. 631-643.
- Rytter, R.; Hansson, A. (1996): Seasonal Amount, Growth and Depth Distribution of Fine Roots in an Irrigated and Fertilized Salix Viminalis L. Plantation. Biomass and Bioenergy Vol. II, Nos Z/3, pp 129-137.
- Samson, R; Girouard, P.; Zan, C.; Mehdi, B; Martin, R; Henning, J. (1999): The Implications of Growing Short-Rotation Tree Species for Carbon Sequestration In Canada. National Climate Change Process, Solicitation No. 23103-8-0253/N
- Sebestyén Z. (2014): Biomassza anyagok jellemzése termikus analízis és analitikai pirolízis alkalmazásával. Doktori disszertáció. BME Budapest. p. 140.
- Sembery P., Tóth L. (2004): Hagyományos és megújuló energiák. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest
- SenterNovem (2013): Biofuels production via HTU and via pyrolysis. Jelentés. p. 39. <https://english.rvo.nl/sites/default/files/2013/11/Report%20Biofuels%20production%20via%20HTU%20and%20pyrolysis%20GAVE-05-07.pdf>
- Sierra-Alvarez R. (2009): Removal of copper, chromium and arsenic from preservative-treated wood by chemical extraction-fungal bioleaching. Waste Manag. 29(6), pp. 1885-91.
- Sikarwar V. S.; Zhao M.; Clough P.; Yao J.; Zhong X.; Memon M. Z. (2016): An overview of advances in biomass gasification. Energy Environ Sci 9 , pp. 2939-2977.
- Simon T. (2010): A biomassza-felhasználás jelene és jövője Magyarországon – a 4Biomass projekt bemutatása. A Magyar Mérnöki Kamara Épületgépészeti Tagozatának Lapja.

<https://www.e-gepesz.hu/cikkek/4812-a-biomassza-felhasznalas-jelene-es-jovoje-magyarorszagon-a-4biomass-projekt-bemutatasa>

Singh, P.; Lodhiyal, L.S. (2009): Biomass and Carbon Allocation in 8-year-old Poplar (*Populus deltoides* Marsh) Plantation in Tarai Agroforestry Systems of Central Himalaya, India. *New York Science Journal* 2(6), ISSN 1554-0200.

Somogyi Z. (2016): Fűben-fában – karbon. Elektronikus könyv. <http://www.scientia.hu/fubenfabankarbon>

Speight J. G. (2010): *The biofuels handbook*. Royal Society of Chemistry, Great Britain.

Spiertz J..H. J.; Ewert F. (2009): Crop production and resource use to meet the growing demand for food, feed and fuel: opportunities and constraints. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences* 56 (4), pp. 281–300.

Stefanovits P.; Filep Gy.; Füleky Gy. (1999): *Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest*. p. 470.

Stevanovic Janezic T, Kolin B, Jaic M, Danon G. (1995): Enhancement of wood technologies in correlation with properties of wood chemical constituents. Faculty of Forestry, Belgrade, 1995 (in Serbian)

Stolarsky, M. (2008): Content of carbon, hydrogen and sulphur in biomass of some shrub willow species. *J. Elementol.* 2008, 13(4): 655-663.

Styles, D.; Jones, M. (2007): Energy crops in Ireland: Quantifying the potential life-cycle greenhouse gas reductions of energy-crop electricity. *Biomass Bioenergy* 2007, 31, 759–772.

Szabó T. (2012): Teljes Talaj-előkészítéskomplex faanyag-hasznosítás. In: Major T. (2012): *Komplex-faanyag hasznosítás. Erdészeti Lapok CXLVII évf. 5. szám*, pp. 156-157.

Szabó O. (2016): Természetes anyagokkal történő tápanyag-utánpótlás fás szárú energetikai ültetvényben. Doktori értekezés. Nyugat-magyarországi Egyetem. Sopron.

Szabó P. G. (2017): Anaerob fermentációs folyamatok optimálása a mikroalga alkalmazhatóság továbbá a mikroelem adagolás tekintetében. Doktori disszertáció. Soproni Egyetem, p. 127.

Szajkó G., Mezősi A., Pató Zs., Scultéty O., Sugár A., Tóth A. (2009): Erdészeti és ültetvény eredetű fás szárú energetikai biomassza Magyarországon. *Műhelytanulmány* 2009-5.

Szakálosné M. K.; Horváth B.; Major T.; Horváth A. (2013): Magyarországi erdők energetikai célokra hasznosítható faanyaga. *Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap: Tudományos eredmények a gyakorlatban. Lakitelek*.

Szalay D. (2009): Biomassza alapú cseppfolyós üzemanyag előállításának lehetőségei, különös tekintettel a második generációs bioüzemanyagokra, *Diplomamunka, Sopron*

Szalay D. (2012): Az energetikai célú dendromassza termesztés és hasznosítás CO₂ mérlegét befolyásoló tényezők. *Környezeti problémák a Kárpát-medencében II. Konferenciakiadvány. Pécs*

Szalay D.; Palocz-Andresen M. (2013): A biomassza termesztés és feldolgozás függősége a klímaváltozástól. *Alföldi Erdőkért Egyesület, Kutatói nap kiadványa. Lakitelek*. pp. 89-93. ISBN: 978-963-08-7830-2

Széchy G. (2003): Bevezetés a kőolaj feldolgozás technológiájába. BME Egyetemi jegyzet. Budapest.

Szklo A.; Schaeffer R. (2007): Fuel specification, energy consumption and CO₂ emission in oil refineries. *Energy* 32 (7), pp. 1075-1092.

Taherzadeh M. J.; Karimi K. (2008): Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review. *Int J Mol Sci.* 9(9) pp. 1621–165

Tamás J.; Blaskó L. (2008): Environmental management. Debreceni Egyetem. Digitális Tankönyvtár.

https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0032_kornyezettechnologia/ch11s06.htm

Technip (2017): Biomass-to-Liquid. Empyro. Hengelo.

Thomas, S. C.; Martin, A. R. (2012): Carbon Content of Tree Tissues: A Synthesis. *Forests* 3, pp. 332-352; ISSN 1999-4907.

Thornley P.; Upham P.; Tomei J. (2009): Sustainability constraints on UK bioenergy development. *Energy Policy* 37, pp. 5623–5635.

Tóth, B.; Molnár, S.; Fehér, S. (2007): Az energetikai faültetvény létesítésének hasznosításának összefüggései. II. Ökoenergetikai és X. Biomassza Konferencia, Sopron. 2007. febr. 28 – márc. 1.

Tóvári P.; Szabó I., Madár V.; Jung L.; Dorsánszki Zs., Gergely S. (2013): Biomassza tüzelőanyagok termokémiai kezelésének laboratóriumi és félüzemi vizsgálata. Mezőgazdasági Technika 2013 február

http://technika.gmgi.hu/uploads/termek_29/biomassza_tuzeloanyagok_termokemiai_vizsgalat_a_13_02.pdf

Tröger N.; Richter D.; Stahl R. (2013): Effect of feedstock composition on product yields and energy recovery rates of fast pyrolysis products from different straw types. *J Anal Appl Pyrol.* 100, pp. 158-65.

USDA (2017): EU Biofuels Annual 2017. Gain Report.

https://gain.fas.usda.gov/Recent%20GAIN%20Publications/Biofuels%20Annual_The%20Hague_EU-28_6-19-2017.pdf

Vágvölgyi A. (2014): Fás szárú energetikai ültetvények helyzete Magyarországon napjainkig, üzemeltetésük, hasznosításuk alternatívái. Doktori értekezés. Nyugat-magyarországi Egyetem. Sopron, p. 195.

Velázquez-Martí B.; Fernández-González E.; López-Cortés I.; Salazar-Hernández D. M. (2011): Quantification of the residual biomass obtained from pruning of trees in Mediterranean almond groves. *Renewable Energy* 36(2), pp. 621-626.

Veperdi G. (szerk) (2005): Dendrometria (Erdőbecslés). Egyetemi jegyzet. Kézirat Sopron.

Venendaal R. (2018): Fast pyrolysis based advanced biofuels. TechnipFMC. New Delhi.

https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/19_renevenendaal-btg.pdf

Vértés Erőmű Zrt. (2014): Oroszlányi erőmű- <http://www.vert.hu/oroszlany.aspx>

Verwijst T, Makeschin F (1996) Environmental aspects of biomass production and routes for European energy supply. In: Concertes action AIR 3-94- 2466: report from the working group on chemical soil and water issues.

Világlex, Természettudományos lexikon a fizika, kémia és csillagászat témakörében.
http://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/MeguForr_.htm

VNN Viet Nam News 2015 VN ethanol industry faces crisis

Wang Z. J.; Zhu J. Y.; Zalesny R. S.; Chen K. F. (2012): Ethanol production from poplar wood through enzymatic saccharification and fermentation by dilute acid and SPORL pretreatments. Fuel 95, pp. 606-614.

Waring, R. H. and Schlesinger, W. H. (1985) Forest Ecosystems: Concepts and Management. Academic Press Inc., Orlando, San Diego. p. 340.

WBA World Bioenergy Association (2017): Global Bioenergy Statistics 2017.
http://worldbioenergy.org/uploads/WBA%20GBS%202017_hq.pdf

WBOD World Bank Open Data (2015) Statistic of land use

Wikipédia (2014): Reserves-to-production ratio. http://en.wikipedia.org/wiki/Reserves-to-production_ratio

Wildschut J.; Iqbal M.; Mahfud F. H.; Cabrera I. M.; Venderboschb R. H.; Heeres H. J. (2010): Insights in the hydrotreatment of fast pyrolysis oil using a ruthenium on carbon catalyst. Energy and Environmental Sci. 7, pp. 962-970.

Worldometers (2015): Energia. <http://www.worldometers.info/hu/>

Yin, W.; Yin, M.; Zhao, L.; Yang, L. (2012): Research on the Measurement of Carbon Storage in Plantation Tree Trunks Based on the Carbon Storage Dynamic Analysis Method. International Journal of Forestry Research. Volume 2012 (2012), Article ID 626149, 10 p.

Yuste R. (2016): Biofuels production in conventional oil refineries through bio-oil co-processing. Joint Workshop.
https://www.repsol.com/imagenes/global/es/Yuste%20R%20-%20Biofuels%20production%20in%20conventional%20oil%20refineries%20through%20bio-oil%20co-processing_tcm13-58321.pdf

Zan, C. (1998): Carbon storage in two biomass energy plantations. Diplomadolgozat. McGill University. Montreal, Canada.

Zhang L. H.; Xu C. B., Champagne (2010): Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass Energy Convers Manage 51, pp. 969-982.

Zöldy M. (2011): Alternatív hajtóanyagok. Mol Group.
[ftp://ftp.energia.bme.hu/pub/Belsoegesu_motorok_kornyezettechnikaja/BME_Alternat%C3%ADv%20Hajt%C3%B3anyagok_2011%20\[Kompatibilit%C3%A1si%20m%C3%B3d\].pdf](ftp://ftp.energia.bme.hu/pub/Belsoegesu_motorok_kornyezettechnikaja/BME_Alternat%C3%ADv%20Hajt%C3%B3anyagok_2011%20[Kompatibilit%C3%A1si%20m%C3%B3d].pdf)

Felhasznált weboldalak:

WEB 1: http://www.biomasszaeromuvek.hu/biomassza/erdeszeti_termekek

WEB 2: <http://www.energiainfo.hu/35-milliardert-venne-szalmat-pecsi-biomassza-eromu/>

WEB 3: <http://www.vert.hu/altinf.aspx>

WEB 4: https://biofuels-news.com/display_news/12889/advanced_biofuels_plant_to_be_built_in_slovakia/

WEB 5: <https://chemicalparks.eu/investment-projects/500>

WEB 6: <https://www.environmentalleader.com/2012/10/bsr-report-future-of-fuelsisefficiency/life-cycle-ghg-emissions-savings-biofuels-vs-fossil-fuels-chart/>

WEB 7: <https://www.okohaz.com/agroerdeszet/>

WEB 8: <https://www.veolia.hu/hu/letesitmenyeink>

MELLÉKLETEK

1. melléklet: Biohajtóanyagokkal kapcsolatos fogalmak és jogszabályi megjelenésük

Fogalmak és megjelenésük	Fogalmak magyarázata
Bioüzemanyag 2010. évi CXVII. tv.	Jellemzően biomasszából előállított, járművek hajtóanyagaként vagy ezek keverőkomponenseként felhasznált termék.
Kötelező bioüzemanyag részarány 279/2017. (IX. 22.)	Több üzemanyag- vagy bioüzemanyag-típust tartalmazó üzemanyag esetében az üzemanyag teljes mennyiségére vonatkozó energiatartalmat az üzemanyagban legnagyobb térfogatarányt képviselő üzemanyag-típus energiatartalmának figyelembevételével kell meghatározni. A kötelező bioüzemanyag-részarány mértéke a) a 2017. szeptember 1. és 2018. december 31. közötti időszakban 4,9%, b) a 2019. január 1. és 2020. december 31. közötti időszakban 6,4%.
Bio-energiahordozók 343/2010. (XII. 28.) Korm. rendelet	Biomasszából előállított, a közlekedéstől eltérő célokra energiaforrásként használt folyékony üzemanyagok, ideértve a villamos energiát, a fűtést és a hűtést is.
Biodízel 279/2017. (IX. 22.)	növényi vagy állati olajból vagy zsírból előállított, dízelüzemanyag minőségű metilészter
Bioetanol 279/2017. (IX. 22.)	kizárólag az Európai Gazdasági Térségben termelt vagy előállított biomasszából előállított etanol
Biobutanol, Biometanol, Bio-dimetil-éter 279/2017. (IX. 22.)	biomasszából előállított butanol, metanol, dimetiléter
Bio-etil-tercier-butiléter Bio-metil-tercier-butiléter, Bio-tercier-amil-etil-éter 279/2017. (IX. 22.)	bioetanol-alapon előállított etil-tercier-butiléter; metil-tercier-butiléter, terciér-amil-etil-éter
Biogáz 279/2017. (IX. 22.)	gáznemű, bioüzemanyagként felhasználható üzem-, tüzelő- vagy fűtőanyag, melyet biomasszából vagy hulladékok biológiai lebomló részéből állítanak elő, amelyből tisztítás útján földgázminőség érhető el, továbbá a fagáz.
Biohidrogén 279/2017. (IX. 22.)	biomasszából vagy más megújuló energiaforrás segítségével előállított hidrogén
Hidrogénnel kezelt növényi olaj (HVO) 279/2017. (IX. 22.)	termokémiai úton hidrogénnel kezelt növényi vagy állati eredetű anyagból előállított folyékony szénhidrogén
Szintetikus bioüzemanyag 279/2017. (IX. 22.)	biomasszából előállított szintézis gázból készített szintetikus szénhidrogén vagy szintetikus szénhidrogén-keverék (Fischer-Tropsch dízel)
Használt sütőolaj 2012. évi CLXXXV. tv. 16/2001 sz. KÖM rendelet	Élelmiszer-, ételhulladék kategóriába tartozó veszélyes hulladék. Európai Hulladék Katalógus kódja EWC 200125
Hulladékolaj 98/2001. (VI.15.) Korm.rendelet	Eredeti rendeltetési céljára már nem használható, hulladékká vált ásványolaj alapú kenőolaj, illetve ipari olaj, motorolajok, sebességváltó-olajok, turbinaolajok hidraulikaolajok

2. melléklet: Fejlett biohajtóanyag alapanyagok a RED II. IX. melléklete szerint

„A” rész:

- Tavakban vagy fotobioreaktorokban termesztett algák,
- Vegyes kommunális hulladék biomasszahányada, amelynek nem képezi részét a külön gyűjtött háztartási hulladék
- Szelektíven gyűjtött lakossági biohulladék,
- Az élelmezésre és takarmányozásra nem hasznosítható agrár-ipari hulladékok biomassza-hányada,
- Szalma,
- Állati eredetű trágya,
- Szennyvíziszap,
- Pálmaolajprés effluense és pálmatermés üres fűrtjei,
- Tallolaj-szurok,
- Nyers glicerín,
- Kipréselt cukornád,
- Szőlőtörköly, borseprő,
- Dióhéj,
- Háncs és héj,
- Lemorzolt kukoricacső,
- Az erdőgazdálkodásból és az erdőgazdálkodással kapcsolatos iparágakból származó hulladékok és maradékanyagok biomasszahányada, azaz fakéreg, ágak, ritkításból visszamaradt hulladékfa, levelek, tűlevelek, lombkorona, fűrészpor, faforgács, feketelúg, acetátoldat, rostiszap, lignin és tallolaj;
- Egyéb nem élelmezési célra szolgáló cellulózanyagok, ideértve például az élő fűféléket, valamint a fő növények előtti és utáni nem keményítőtartalmú növények termesztését is. Ez a kategória magában foglalja a növényi olajok, cukrok, keményítők és fehérjék kinyerése után visszamaradó ipari melléktermékeket is.
- Egyéb lignocellulóz anyagok, ideértve például a rövid vágásfordulójú fás szárú ültetvényeket, a cellulóz rönköket és más erdei biomasszát, kivéve a furnér és fűrész rönköket.
- „B” rész:
- Használt sütóolaj
- Emberi egészségre nagy kockázatot jelentő állati zsírok (1-es kategória) és talajjavításra és vegyipari hasznosításra alkalmas állati zsírok (2-es kategória)

3. melléklet: Kétszeres energiaértéken beszámítható alapanyagok és üzemanyagok, a 279/2017. (IX. 22.) Korm. rendelet 2. melléklete alapján

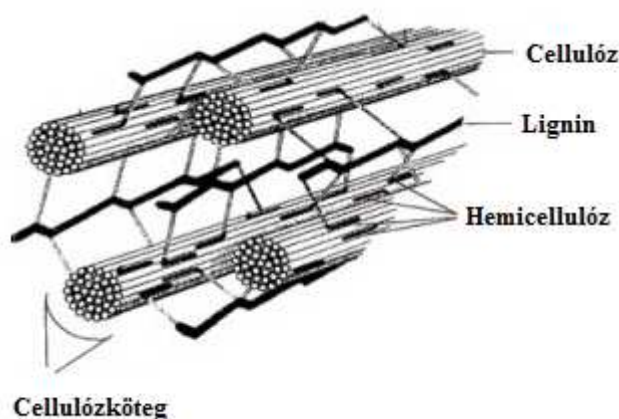
„A” rész:

- a) Tavakban vagy fotobioreaktorokban termesztett algák;
- b) Vegyes kommunális hulladék biomasszahányada, amelynek nem képezi részét a külön gyűjtött háztartási hulladék, amelyre a 2008/98/EK irányelv 11. cikke (2) bekezdésének a) pontjában meghatározott újrahasznosítási célértékek vonatkoznak;
- c) Magánháztartásokból származó, a 2008/98/EK irányelv 3. cikkének 4. pontjában meghatározott biohulladék, amelyre az ugyanezen irányelv 3. cikke 11. pontja szerinti elkülönített gyűjtés vonatkozik;
- d) Ipari hulladék biomasszahányada, amely nem alkalmas az élelmiszer- vagy takarmánynövény-termesztésben való felhasználásra, ideértve a kis- és nagykereskedelemből, valamint az agrár-élelmiszeriparból, a halászatból és akvakultúrából származó anyagokat is, az e melléklet B. részében felsorolt alapanyagok kivételével;
- e) Szalma;
- f) Állati eredetű trágya és szennyvíziszap;
- g) Pálmaolajprés effluense és pálmatermés üres héja;
- h) Tallolaj-szurok;
- i) Nyers glicerín;
- j) Kipréselt cukornád;
- k) Szőlőtörköly és borseprő;
- l) Dióhéj;
- m) Háncs és héj;
- n) Lemorzolt kukoricacső;
- o) Az erdőgazdálkodásból és az erdőgazdálkodással kapcsolatos iparágakból származó hulladékok és maradékanyagok biomasszahányada, azaz fakéreg, ágak, ritkításból visszamaradt hulladékfa, levelek, tűlevelek, lombkorona, fűrészpor, faforgács, feketelúg, acetátoldat, rostiszap, lignin és tallolaj;
- p) A 2009/28/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv 2. cikk második bekezdésének s) pontjában meghatározott egyéb nem élelmezési célú cellulóztartalmú anyagok;
- q) A 2009/28/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv 2. cikk második bekezdésének r) pontjában meghatározott egyéb lignocellulóz-tartalmú anyagok a fűrészrönkök és furnérrönkök kivételével;
- r) Nem biológiai eredetű, folyékony vagy gáznemű, megújuló energiaforrásból származó közlekedési célú üzemanyagok;
- s) Közlekedési célú szén-dioxid-leválasztás és felhasználás, amennyiben az energiaforrás a 2. cikk második bekezdése a) pontjának megfelelően megújuló energiaforrás;
- t) Baktériumok, amennyiben az energiaforrás a 2009/28/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv 2. cikk második bekezdése a) pontjának megfelelően megújuló energiaforrás.

„B” rész:

- a) Használt sütőolaj;
- b) Az 1069/2009/EK európai parlamenti és tanácsi rendelettel összhangban 1. és 2. kategóriába sorolt állati eredetű zsírok.

4. melléklet: Lignocellulóz felépítése



5. melléklet: Előkezelés lehetséges típusainak összehasonlítása [Kandasamy et al., 2017; Taherzadeh, et al., 2008]

Előkezelés	Folyamat	Lehetséges változások	Megjegyzés
Fizikai	- aprítás, őrlés	- a hozzáférhető felület és pórusok növelése - a cellulóz kristályok csökkentése - a polimerizáció mértékének csökkentése	- a leginkább hatékony eljárás, magas energiaigénnyel - lignin eltávolítására nem alkalmas
Kémiai/Fizikokémiai	- gőzrobbantás - alkáli - savas	- a hozzáférhető felület növelése - lignin eltávolítás - cellulóz kristályok csökkentése - cellulóz polimerizációs fokának csökkentése - hemicellulózok hidrolízise	- a leginkább hatékony eljárás ipari alkalmazásra - gyors kezelési arány
Biológiai	gomba és sugárgombák	- lignin eltávolítás - cellulóz polimerizációs fokának csökkentése - hemicellulóz részleges hidrolízise	- alacsony energiaigény - nagyon magas kezelési arány - nagyipari alkalmazásnál nem vehető figyelembe

6. melléklet: Fás szárú ültetvény telepítésére használható alapfafajok a 135/2017. (VI.9.) Kormányrendelet 1. melléklete szerint

	A	B
1.	Nyár fajok	Populus spp.
2.	Fehér fűz	Salix alba
3.	Fehér akác	Robinia pseudoacacia
4.	Dió fajok	Juglans spp.
5.	Kosárfonó fűz	Salix viminalis
6.	Mézgás éger	Alnus glutinosa
7.	Magas kőris	Fraxinus excelsior
8.	Magyar kőris	Fraxinus angustifolia danubialis
9.	Vörös tölgy	Quercus rubra
10.	Korai juhar	Acer platanoides

7. melléklet: Lágyszárú növények melléktermékei és jellemzőik [Sembery-Tóth, 2004; Fogarassy, 2001; Radics (szerk.), 1994; Barótfi, 2003; Papp-Marosvölgyi, 2010]

Megnevezés	Főtermék és melléktermék arány	Fűtőérték tárolás után [GJ/t]	Betakarításkori nedvességtartalom [%]
Kukoricaszár	1:1,5	12	30-40
Búzaszalma	1:1,2	13	10-15
Árpastralma őszi-tavaszi	1:1,2-1:1,5	13	15-20
Rozsszalma	1:1,8	13	15-20
Zabszalma	1:1,3	13	15-20
Tritikálészalma	1:1,2	13	15-20
Napraforgószár	1:2	14	25-35
Repceszár	1:1,4	14	15-20

8. melléklet: A kiválasztott országok jellemzői [KSH, 2017; WBOD, 2015]

	Lakosság [10⁶ fő]	Erdőterület aránya [%]	Mezőgazdasági terület aránya [%]	Szántóföld aránya [%]	Szántóföld [millió ha]
Vietnám	93	48	35	21	6,4
Németország	83	33	48	34	11,9
Magyarország	10	21	57	46	4,3

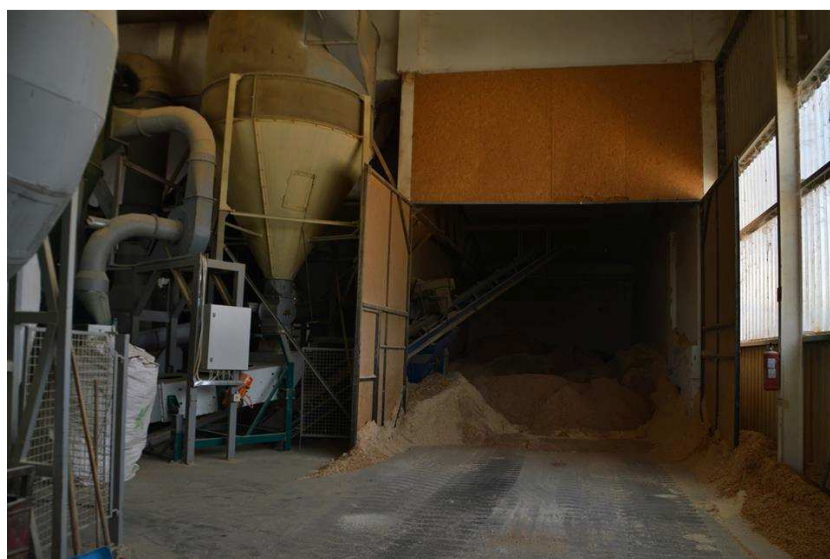
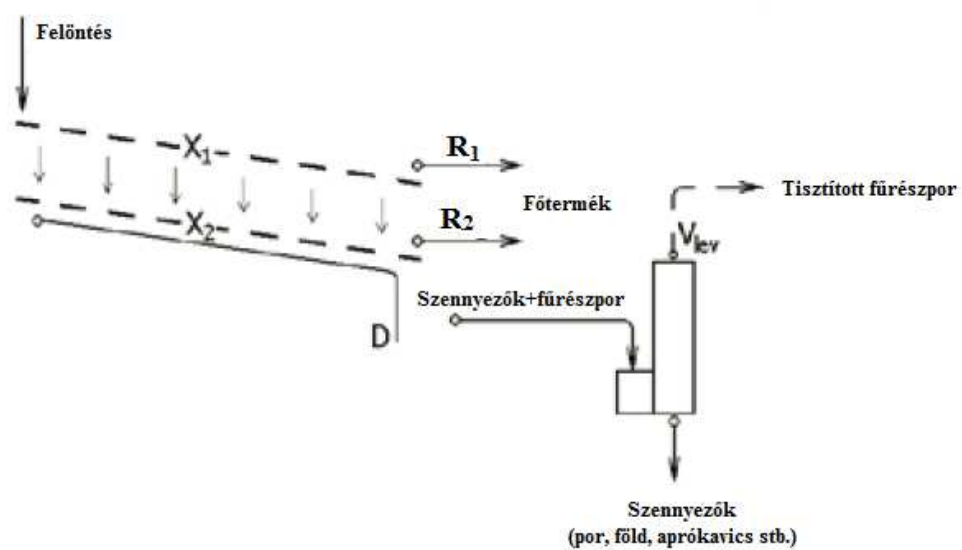
9. melléklet: Populus, Salix, Robinia nemzetségek termőhellyel szembeni igényei
[Liebhard, 2009; Rédei, 2014; Rédei et al., 2009; Bárány-Csiha, 2007; Kovács et al., 2014]

	Populus spp.	Salix spp.	Robinia spp.
Termőhelyi igény	Enyhe éghajlatú, fény-, talajlevegő- és vízigényes fafajok, szárazabb termőhelyen fontos a mélyebb termőréteg valamint a megfelelő tápanyag ellátottság megléte	Víz-, mész- és melegkedvelő, napos fekvést igénylő egyedek, bizonyos fajtaik jó fagyűrő képességgel rendelkeznek	Meleg éghajlatú területeket kedvelő, fényigényes fajták, a gyengébb és szárazabb termőhelyeket is jól tűri, azonban a pangó vizes területeket nem viseli
Talaj	jó vízellátottságú, vastagabb termőrétegű talajok, időszakos vízhatású területek a legmegfelelőbbek, a pangó vizes, vályog és agyagtalajok nem alkalmasak a termesztésre.	jó vízellátottságú, laza öntéstalajok, a tartós elárasztást is jól tűri, a tartós aszályt csak abban az esetben viseli el, ha gyökere eléri a talajvizet	erodált talajú hegy- és dombvidéki területeket kedveli többletvíztől mentes, alacsony szerves anyag tartalmú területeken érdemes ezzel a fajjal tervezni
Növekedési jellemzők	Gyorsan növő, magassági és vastagsági növekedésük kulminációját 1-3 év között érik el.	Nagy számú vékony hajtás (bokrosodás) és gyors kezdeti növekedés jellemzi, nagyon rövid fordulóú ültetvények telepítésére alkalmas.	Jó újuló képességekkel rendelkezik, fontos a megfelelő telepítési hálózat kialakítása, első három vegetációs évben mérsékelt a fahozama.

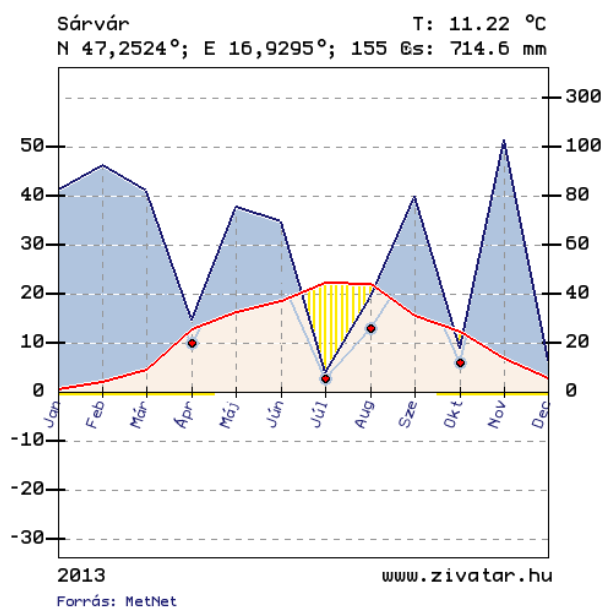
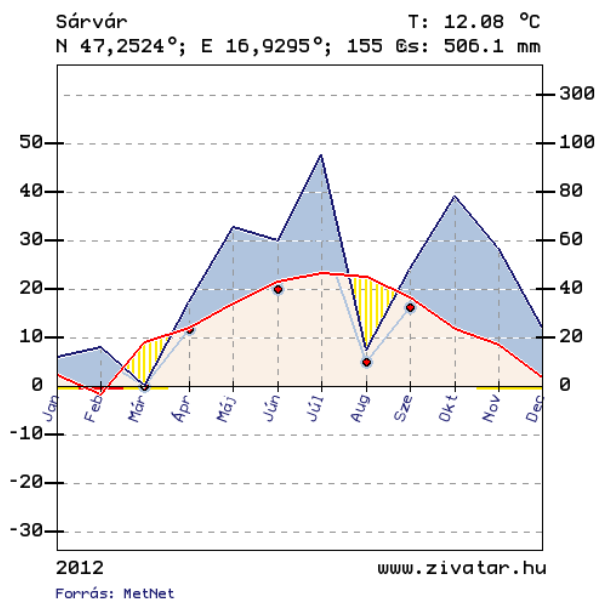
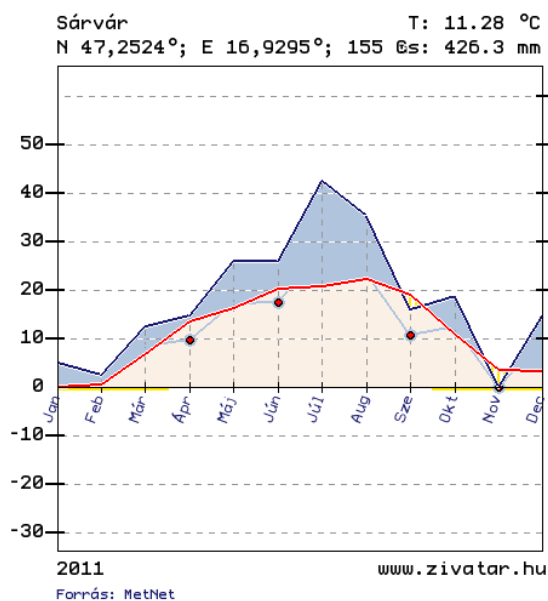
10. melléklet: Főbb dendromassza hasznosító erőművek, fűtőművek megyei bontásban

Elhelyezkedés	Biomassza igény	Megye összesen
Pest		
Szentendre	20 000	21 200
Gyömrő	1 200	
Fejér		
Solt	1 000	1 000
Komárom-Esztergom		
Oroszlány	100 000	207 520
Tatabánya	100 000	
Tata	6 800	
Bakonyszombathely	720	
Veszprém		
Ajka	269 000	279 000
Papkeszi	10 000	
Győr-Moson-Sopron		
Pannonhalma	1 100	1 100
Vas		
Szombathely	8 000	15 200
Körmend	6 000	
Pornóapáti	1 200	
Baranya		
Pécs	450 000	475 148
Komló	15 000	
Mohács	7 948	
Szigetvár	2 200	
Borsod-Abaúj-Zemplén		
Miskolc	4 000	8 740
Sárospatak	3 000	
Hangony	720	
Homrogd	720	
Tiszaújváros	300	
Heves		
Visonta	350 000	350 000
Nógrád		
Balassagyarmat	12 000	12 000
Hajdú-Bihar		
Debrecen	3 600	3 600
Jász-Nagykun-Szolnok		
Szolnok	4 700	4 700
Szabolcs-Szatmár-Bereg		
Szakoly	180 000	186 000
Mátészalka	6 000	
Bács-Kiskun		
Baja	1 800	1 800

11. melléklet: Szelelő rosta felépítése és működési elvének ábrázolása



12. melléklet: Walter-Lieth féle klímadiagrammok a 2011-es, 2012-es, 2013-as évre, Sárvára

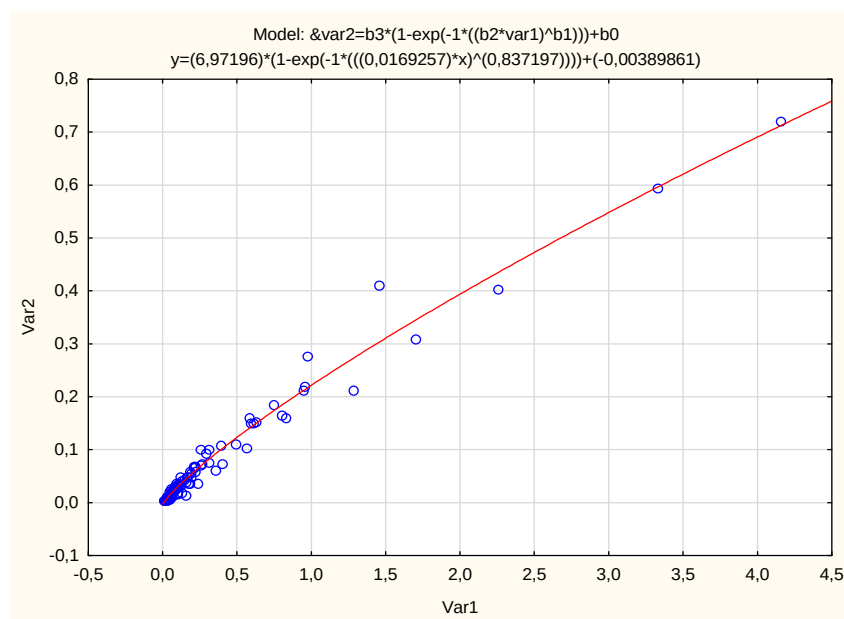


||| arid időszak
■ humid időszak
● aszályveszélyes időszak

--- fagyveszélyes hónap
--- fagyos hónap

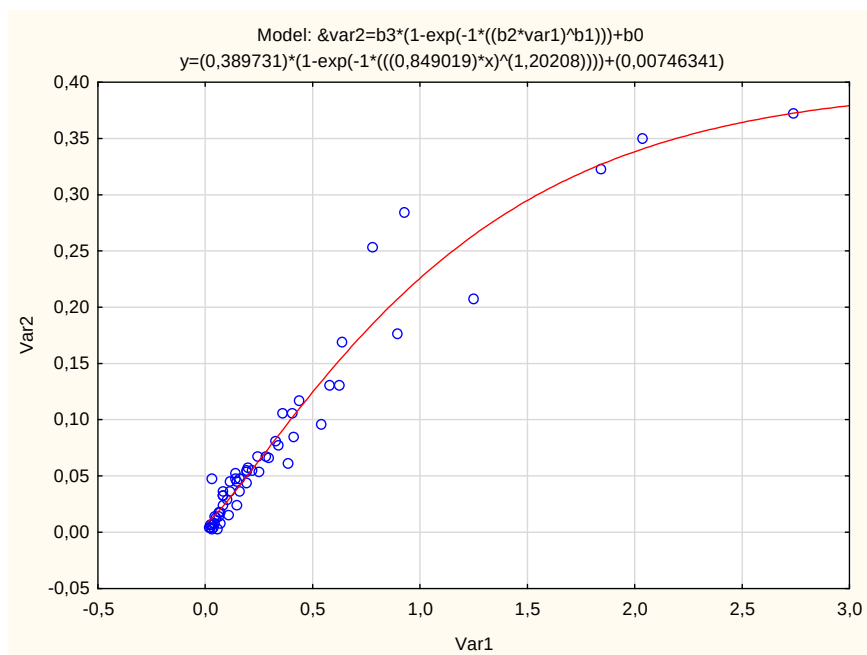
13-1. melléklet: Koltay nyárfajta sarjtömeg és lombtömeg közötti összefüggése

N=99	Model: $\text{var2} = b3 * (1 - \exp(-1 * ((b2 * \text{var1})^{b1}))) + b0$ (Spreadsheet in Do			
	Dep. var: Var2 Loss: (OBS-PRED)**2 Final loss: ,031732268 R= ,98805 Variance explained: 97,624%			
	b3	b2	b1	b0
Estimate	6,97195€	0,01692€	0,837197	-0,00389€



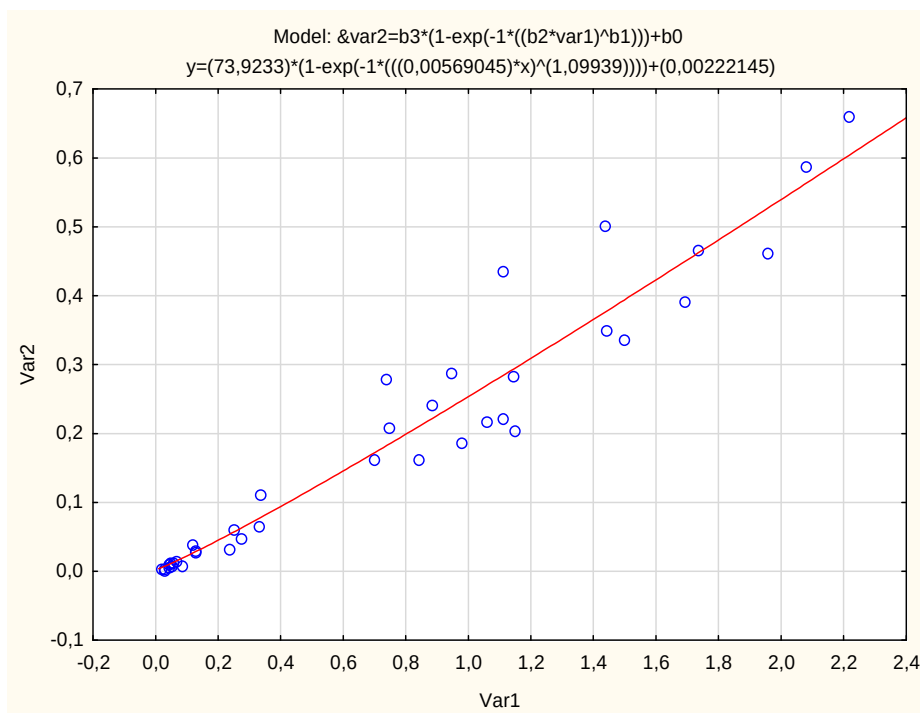
13-2. melléklet: I-214 nyárfajta sarjtömeg és lombtömeg közötti összefüggése

Model: $\text{var2} = b_3 \cdot (1 - \exp(-1 \cdot ((b_2 \cdot \text{var1})^{b_1}))) + b_0$ (Spreadsheet1)				
Dep. var: Var2 Loss: (OBS-PRED)**2				
Final loss: ,022250013 R= ,97474 Variance explained: 95,013%				
N=58	b3	b2	b1	b0
Estimate	0,389731	0,849019	1,202078	0,007463



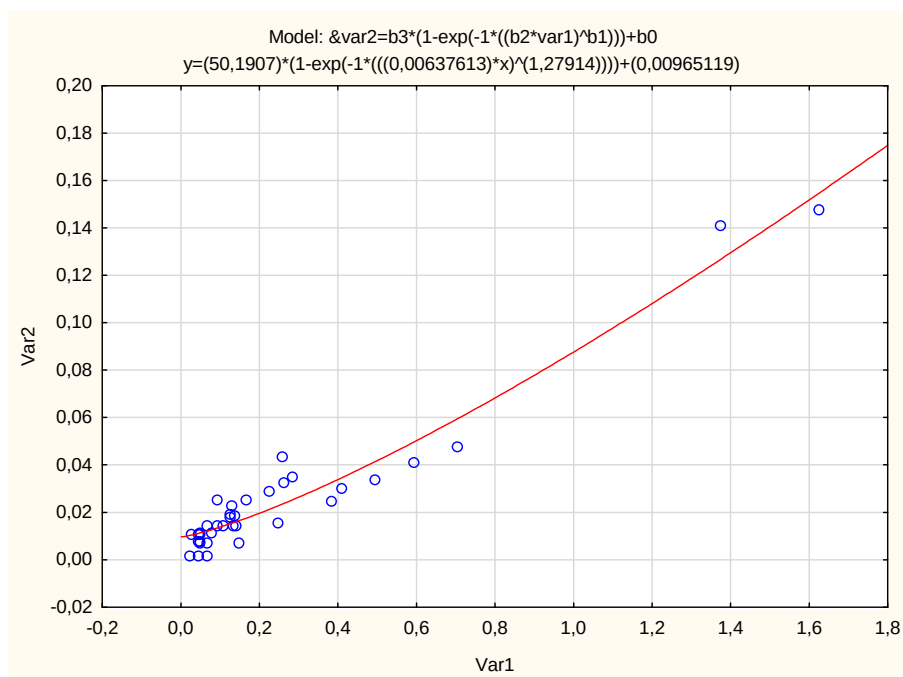
13-3. melléklet: Akác fafajra felírt sarjtömeg és lombtömeg közötti összefüggés

Model: $\text{var2} = b_3 \cdot (1 - \exp(-1 \cdot ((b_2 \cdot \text{var1})^{b_1}))) + b_0$ (Spreadsheet1)				
Dep. var: Var2 Loss: (OBS-PRED)**2				
Final loss: ,090694736 R= ,96441 Variance explained: 93,009%				
N=38	b3	b2	b1	b0
Estimate	73,92334	0,005690	1,099387	0,002221



13-4. melléklet: Fűz fafajra felírt sarjtömeg és lombtömeg közötti összefüggés

N=36	Model: $\text{var2} = b3 \cdot (1 - \exp(-1 \cdot ((b2 \cdot \text{var1})^{b1}))) + b0$ (Spreadsheet1)			
	Dep. var: Var2 Loss: (OBS-PRED)**2			
	Final loss: ,002041133 R= ,97024 Variance explained: 94,137%			
	b3	b2	b1	b0
Estimate	50,19068	0,006376	1,279143	0,009651



14. melléklet: Gyökértömeg, gyökér széntartalom, fatest széntartalom adatok [ERTI]

	Gyökértömeg asz (t/ha)	Gyökér széntartalom (%)	Fatest széntartalom (%)
Nyár			
Koltay,	7,69*	47,5	52,2
I-214	4,97		
Akác	4,49	47,4	52,1
Fűz	1,50	46,8	49,7

*becsült adat