

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

**ENERGETIKAI PELLETEK ELŐÁLLÍTÁSÁNAK ÉS
HASZNOSÍTÁSÁNAK ÖKOENERGETIKAI VONATKOZÁSAI**

Írta:

PAPP VIKTÓRIA
okl. környezet-kutató

Témavezetők:

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

Dr. NÉMETH GÁBOR
egyetemi docens

Sopron
2018

**ENERGETIKAI PELLETEK ELŐÁLLÍTÁSÁNAK ÉS HASZNOSÍTÁSÁNAK
ÖKOENERGETIKAI VONATKOZÁSAI**

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

Írta:
PAPP VIKTÓRIA

Témavezető: Prof. Dr.Sc. habil MAROSVÖLGYI BÉLA

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

.....
(aláírás)

Társ témavezető: Dr.NÉMETH GÁBOR

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

Jelmagyarázat	6
Kivonat	7
1 Bevezetés	8
2 A kutatás célkitűzései, módszerei	9
2.1 A témaválasztás indoklása, a téma időszerűsége	11
3 A pellet általános jellemzése, a gyártási technológia bemutatása	12
3.1 A gyártási technológia bemutatása	14
3.2 A pellet gyártósor	15
3.3 A pellet tömörítése, présgépek	16
4 Pellet szabványrendszerek, minőségi követelmények	19
4.1 Ausztriai szabvány: ÖNORM M 7135	19
4.2 Svéd szabvány SS 187120	19
4.3 Német szabvány DIN 51731 és DIN EN 15270	19
4.4 Olasz minőségi követelmények CTI-R04/05	20
4.5 Francia javaslat: ITEBE	20
4.6 Európai Szabvány Bizottság (European Standard Committee) CEN/TC 335	20
5 A pelletgyártás helyzete az Európai Unióban	22
6 A pelletgyártás helyzete Magyarországon	24
7 Agripelletek alapanyagbázis vizsgálata Magyarországon	27
7.1 Adatgyűjtés	29
8 Anyag és módszer, mérések bemutatása	34
8.1 Kaloriméteres mérés	35
8.2 Az égéshő és fűtőérték meghatározása	37
8.3 Hamutartalom és nedvesség tartalom mérése	38
8.4 A finomhányad meghatározása („F ^m ”)	40
8.5 A pelletek mechanikai ellenálló képessége („DU ^m ”)	41
8.6 A pelletek hosszúsága és átmérője	41
8.7 Térfogatsűrűség (ún. telítési tömörség, „BD ^m ”)	42
8.8 Pellet alapanyagok, darálás utáni frakcióelemzése	43
8.9 Füstgázelemzési vizsgálatok	43
9 A fapellet előállítás energia igényének vizsgálata	46
9.1 Szállítás energia igénye	49
9.2 Pellet előállítás energetikai ültetvények anyagából	52

9.3 Pellet tüzelő berendezések.....	53
9.4 Pelletkályhák és kazánok energia fogyasztása	55
9.5 Szárítás energia igénye	57
10 Agripellet előállítás energia igénye	61
10.1 Alapanyagok szállításának energia igénye	62
10.2 A műtrágyázás energia igényének kérdése.....	66
10.3 Napraforgó héj pellet.....	68
10.4 Fa-pellet és repce-szár pellet füstgázelemzése	69
10.4.1 Vizsgálatok bemutatása	70
10.5 A pelletálás előállításának és hasznosításának összesített energia hatékonysága	79
11 A pelletgyártás szén-dioxid kibocsátása.....	83
11.1 Agipellet előállítás ÜHG kibocsátása, figyelembe véve a műtrágya felhasználást.....	87
12 A repce-szár pelletálása, felhasználásának hatása a biodízel-gyártás energiamérlegére vetítve	91
12.1 A repce-szár pellet felhasználása a biodízel-gyártás energiamérlegére vetítve.....	94
12.2 Energiamérlegek - biodízel.....	96
13 Ipari pelletek, melléktermékekből és hulladékból készült keverék pellet	100
13.1 Papírszap-keverék pelletek.....	100
13.1.1 A papírszap általános jellemzése.....	101
13.1.2 A vizsgálatok bemutatása	102
13.2 Pirolízis korom –fapellet mix	106
13.2.1 A vizsgálatok bemutatása	109
14 A pellet gyártás és hasznosítás ökonómiai kérdése	112
15 Összefoglalás, javaslatok.....	116
16 Tézisek, új kutatási eredmények.....	118
IRODALOMJEGYZÉK	122
Táblázatjegyzék.....	138
Ábrajegyzék.....	139
Mellékletek.....	141

Jelmagyarázat

BAT – Best Available Technique – Legjobb rendelkezésre álló módszer

BD – Térfogati sűrűség

CO₂ ekv – Szén-dioxid ekvivalens érték

Du – Mechanikai tartósság

EPR - European Pellet Report

EROEI – Energy returned on energy invested – Befektetett és visszanyerhető energia hányadosa

ESC - European Standard Comitee –Európai Szabvány Bizottság

FAO – Food and Agricultural Organization

GWP –Global Warming Potential – Globális felmelegedési potenciál

IPCC – International Panel on Climate Change

KSH – Központi Statisztikai Hivatal

LCA – Life Circle Assesment – életciklus elemzés

MJ/t –Mega Joule per tonna

Mtoe – Millió tonna olaj egyenérték

ppm – Part per million – milliomod rész

MAPE – Magyar Pellet Egyesület

NPK –Nitrogén, foszfor és kálium alapú műtrágya

λ – légfelesleg tényező

η – hatásfok

PAHs –poliaromás-szénhidrogének

PJ –Peta Joule

PellA- Pellet Atlasz

ÜHG – Üvegházhatású gáz

T_{lev} – külső léghőmérséklet (Celsius)

T_{füst} – füstgáz hőmérséklet (Celsius)

Kivonat

Magyarország talajtani és klimatológiai adottságainak köszönhetően nagy mennyiségű energetikai célokra is hasznosítható biomasszával rendelkezik. A faiparban és mezőgazdaságban megjelenő melléktermékek kis térfogati sűrűséggel rendelkeznek, tüzelésük eredeti állapotban problémás. Doktori munkám során különböző alapanyagok pelletálásával, energetikai és mechanikai tulajdonságainak vizsgálatával foglalkoztam. Az Európai Unióban folyamatosan nő az igény a jó minőségű fapelletre, a faipari készletek azonban végesek. Ezért egyre nagyobb mértékben vonnak be darabos vagy nedves faanyagot a pelletálásba ezzel jelentősen megváltoztatva a folyamat energia mérlegét. Munkám során agri és fapellet előállítás és hasznosítás hazai üzemeknél folytatott energia és szén-dioxid mérlegének vizsgálatával foglalkoztam, rávilágítva a folyamat során a túlzott primer energia felhasználásra. A munka másik felében kis pelletáló berendezésen előállított pelletek energetikai és mechanikai tulajdonságait vizsgáltam. Részletesebben foglalkoztam a biodízel előállítás melléktermékeként megjelenő repce-szár pelletálásával, mely hasznosítása szignifikánsan megváltoztatja a biodízel gyártás energia mérlegét. Az alapanyag bázis hulladékokkal vagy ipari melléktermékekkel is bővíthető. Papíriszap és pirolízis korom faanyaghoz való adagolásával állítottam elő keverék pelleteket, melyeken energetikai vizsgálatokat végeztem.

Abstract

The opportunities among the renewable energies in Hungary largely lies in the utilization of biomass, due to the characteristics of its agricultural industry large amounts of herbaceous residues are available. Straw and various agricultural and wood industry by-products can be used as the raw materials for pellets. Common complications of the various by-products used in pellet production are the ability to store and manage them, in addition to their combustion. Therefore it is important to create pellets that will reduce the energy put into transportation and improve the combustion parameters. The demand for wood pellets is steadily increasing in the European Union, however wood stocks are limited. It is therefore increasingly used for round logs or wet timber in pellet process, thus significantly altering the energy balance. During my work I dealt with carbon and energy balance of different pellet producing processes, emphasizing the excessive consumption of primary energy. Another part of the job energy and mechanical properties of the pellets were examined. In the studies I dealt with the biodiesel production generated from the by-product of rapeseed stalk. Utilization of rapeseed-stalk pellets are significantly changes the energy balance of biodiesel production. The raw material base of pellet production can be upgraded with industrial waste or by-product. Paper sludge, pyrolysis carbon black and wood blend pellets were produced on which energy laboratory investigations were performed.

1 Bevezetés

A klímakutatók 97%-a szerint az emberi tevékenység, a fosszilis készletekre alapozott energia ellátás a felelős a légköri szén-dioxid szint emelkedésért. Az ipari forradalom óta 180 ppm-ről napjainkra 406 ppm-re emelkedett a CO₂, és egyéb üvegházhatású gázok, mint a metán valamint N₂O szint is emelkedik, ami több kutató szerint visszafordíthatatlan felmelegedési folyamatot indított el [National Atmospheric Administration 2015]. A környezetvédelmi indokokon túl, a fosszilis készletekre alapozott energiaellátás, az Európai Unióban, és Magyarországon is erős importfüggőséget eredményez. Hazánk talajtani és klimatológiai adottságai révén, nagy mennyiségű energetikai célra hasznosítható biomassza potenciállal rendelkezik. A megújuló energiák arányának növelésére a biomassza energetikai hasznosítása egy lehetséges alternatíva Magyarországon. Nagy mennyiségben állnak a rendelkezésünkre erdészeti, faipari és mezőgazdasági melléktermékek. Az alapanyagok közös tulajdonsága, hogy eredeti állapotban nehezen kezelhetők, tüzelésük problémás, illetve kis térfogati sűrűséggel rendelkeznek. A pelletálás egy tömörítési eljárás, mely során olyan tüzelőanyagot nyerünk, ami automatizált berendezésekben is hasznosítható, így a fűtés komfortossága a gáz alapú energiatermeléssel szinte megegyező. A pelletágazat gyors fejlődésnek indult Európában, az utóbbi években a fapellet gyárak száma megduplázódott, főként faipari melléktermékként megjelenő faforgácsot hasznosítanak.

A megújuló energiák arányának növelésével, valamint a faalapú készletek korlátozott rendelkezésre állása miatt egyre nagyobb szerepet kapnak a mezőgazdasági melléktermékből, főként szalmából és szárból előállított tömörítvények. Ezek a lágyszárú növények a szántóföldeken minden évben újra termelődnek, és Magyarország talajtani és klimatológiai adottságainak köszönhetően jelentős hasznosítható potenciállal rendelkezik. Az agripellet használata is folyamatosan nő az Európai Unióban, de egyelőre eltölpül a jobb minőségű fapellettel szemben. Doktori munkám során laboratóriumi és üzemi körülmények között előállított tömörítvények energetikai és mechanikai tulajdonságait vizsgáltam, különböző anyagok, faipari, mezőgazdasági és ipari melléktermékek pelletálási jellemzőit, és az eltérő technológiai folyamatok primer energia igényét tanulmányoztam.

Doktori munkám témája szerteágazó, mivel komplexen is szeretném vizsgálni a különböző anyagok pelletálásának energia és CO₂ mérlegét, egy tézis kimondásához számos vizsgálatot kellett elvégeznem egy fajta pelleten, és az alapanyagokon, valamint adatokat gyűjteni a hazai pellet üzemektől. Az általános mérési részeket az anyag és módszer fejezetben mutatom be, az eredményeket viszont az adott pellet vizsgálati részénél szemléltetem. Mivel a különböző anyagok tulajdonságaiban és energia mérlegében is jelentős eltérések vannak, nem lehet, illetve nem lenne célszerű egységes szakirodalmi áttekintést adni. Az eltérő anyagok pelletálási tulajdonságainak szakirodalmi háttérét ezért az adott agri, fa vagy ipari pellet fejezetben mutatom be részletesebben. A felépítést tekintve az első három fejezet általános szakirodalmi áttekintés a pellet gyártásról, a hazai és Európai Uniók helyzetről, valamint az agripelletek hazai alapanyagbázisáról.

2 A kutatás célkitűzései, módszerei

A doktori munka során laboratóriumi és üzemi körülmények között előállított különböző fás és lágyszárú, valamint ipari melléktermékekből készült pelletek energetikai és mechanikai tulajdonságait vizsgáltam. A kutatás egyik területe új anyagok bevonása a pelletálásba, az alapanyag bázis bővítése céljából. Kísérleti pelletáló berendezéssel állítottam elő különböző mezőgazdasági melléktermékekből, illetve faanyag és ipari melléktermékből keverék pelleteket, melyeknek vizsgáltam a fontosabb energetikai jellemzőit. Papíripari hulladékként megjelenő papíriszapot, és pirolízis melléktermékeként keletkező korom anyagot is pelletáltam, valamint keverék pelleteket állítottam elő faanyag hozzáadásával. A faiparban nagy mennyiségű szennyezett melléktermék is megjelenik, felület kezelt anyagok, ragasztó, festék maradványok melyek EN-14961-1 szabvány alapján nem lehetnek a lakossági használatban fapellet alapanyagai, viszont ipari pellet alapanyagként hasznosíthatók. A gumi pirolízis korom (maximum 20%-os bekeverésig), és a papíriszap, ezen szennyezett faanyaggal együtt lehetne felhasználható. A különböző pelletek energetikai és mechanikai tulajdonságait vizsgáltam, melyekben az eltérő keverési arányok során szignifikáns eltérések jelentek meg a pelletek hosszúságában, valamint a fűtőértékben és hamutartalmakban is.

A kutatás másik felében, üzemi körülmények között előállított fa és agripelletek tulajdonságait vizsgáltam, ahol kiemelten fontos volt az alapanyagok és késztermék fűtőértékének, nedvesség és hamutartalmának meghatározása. A tömörítvényeknek a mechanikai tulajdonságait is vizsgáltam, melyek közül a legfontosabbak az átmérő és hosszúság, az ömlesztett sűrűség, a finomhányad és mechanikai szilárdság mérése volt.

A kutatások egyik fontos területe az energetikai elemzés, amelyben először a fapelletálás majd agripellet előállítás legkisebb energiafelhasználásával kapcsolatos vizsgálatokat végeztem el a felhasználóhelyig történő szállítás nélkül. A vizsgálatokat két fapellet, valamint két agripellet üzemnél végeztem. Az energiamérleg meghatározásához a gyártási technológia primer villamos energia igényét, és az anyagmozgatás gépeinek energia felhasználását határoztam meg egységnyi tömegű pelletre vonatkoztatva. Az alap gyártási technológia EROEI értékének, vagyis a ráfordított és visszanyerhető energia mennyiségének megadásához a különböző anyagú pelletek fűtőérték vizsgálatát minden esetben elvégeztem. A visszanyerhető energia meghatározásánál figyelembe vettem a pellet tüzelő berendezések hatásfokát is, melyeket szakirodalmi adatokból, valamint kis pellet tüzelő esetén saját mérésekből határoztam meg. A kutatásom egyik célja, az energiamérleg vizsgálatokat kiterjeszteni a hazánkban jellemző üzemi példák alapján a különböző technológiai folyamatokra, valamint a késztermék szállításának energia igényére. Doktori munkám során hazai példák alapján szeretném bemutatni, hogyan változtatja meg a gyengébb minőségű, nedvesebb alapanyag az alap gyártási technológia primer energia igényét. Egyre több példa van arra is, hogy raklapgyári darbos fát, vagy aprítékot használnak, mint pellet alapanyag. Ezzel jelentősen megnő az alapanyag aprítására fordított energia is, mely nem csak a gyártás költségeit növeli, az energia és szén-dioxid mérleget is nagymértékben megváltoztatja.

Az energiamérleget szintén jelentősen befolyásolja az alapanyag pelletüzembe történő szállításának távolsága. A kis térfogati sűrűséggel rendelkező forgács, illetve agripelletek

esetén a bálák beszállítása jelentős energiát igényel, és tovább rontja az energiamérleget, ha nedves alapanyagot szállítanak. Hazai példák alapján mutatom be, hogyan változik egységnyi tömegű pellet előállítás energia-igénye a beszállítási távolságok növelésével.

Véleményem szerint környezetvédelmi szempontból egy komplex előállítási és gyártási folyamat vizsgálata a leginkább lényeges. Számos tanulmány foglalkozik a pellet gyártás energia felhasználásával, és logisztikai kérdésekkel. Azonban kevés esetben térnek ki a gyártás és szállítás primer energia igényére, és az ehhez viszonyított CO₂ kibocsátásokra. Nem szabad figyelmen kívül hagyni azt sem, hogy az automatizált módon működő pellet kályhák és kazánok hatásfoka is változó, valamint működésük során villamos energiát használnak fel. Kis pelletüzelő berendezésen folytatott füstgázelemzési mérések alapján vizsgáltam a hatásfok változását különböző alapanyagú pelleték égetése során.

Magyarországon a fapellet fűtés a gáz árának csökkenése miatt már nem versenyképes. Az aktuális fapellet és gáz árakat figyelembe véve jelenleg a gázzal történő fűtés olcsóbb, mint a fapellet alapú. Ha a pelletkályhák és kazánok árával is számolunk, melyek sokkal drágábbak, mint egy gázkazán, könnyen belátható, hogy támogatások nélkül a hazai lakossági szektorban nem várható fapellet keresletnövekedés. Ezzel a hazai gyártók egyre inkább export orientáltak, mellyel bár gazdasági szempontból jövedelmező üzletág jön létre, de a késztermék hosszú szállítási útvonala miatt a ráfordított üzemanyag felhasználás környezetvédelmi szempontból kérdéses. Munkám során különböző szállítási távolságokat figyelembe véve határoztam meg az energia felhasználást, és a felhasználó helyig történő szállítás CO₂ kibocsátását. A kutatás végén így egységnyi tömegű pelletre határoztam meg a különböző gyártási folyamatok, különböző alapanyagok, szállítási távolságok valamint a pelletüzelés során ráfordított primer energiákat. Ráműtöttem arra, hogy a folyamat során sajnos környezetvédelmi szempontból a pellet gyártás és hasznosítás számos kérdést vet fel, valamint az egész folyamatot figyelembe véve, az üvegházhatású gázok kibocsátása is jelentős.

Az agripelletek energia mérlegeinek meghatározásánál, a repceszár pellet vizsgálatára részletesebben kitértem. Munkám során kis pelletáló berendezésen állítottam elő repce-szár pelletet, melynek vizsgáltam az energetikai tulajdonságait. A repce termőterülete az utóbbi tíz évben jelentősen megnőtt a biodízel előállítás következményeként. A repceszár pelletként történő hasznosításával az egységnyi területről kinyerhető energia jelentős, és szignifikánsan megváltoztatja a biodízel előállításra vetített energia-mérleget.

A repceszár pellettel kis pelletüzelőben végzett füstgázelemzési vizsgálatok alapján égési problémák léptek fel. A hatásfok nem érte el a 60%-ot és a CO ppm is magas értékeket adott. Ezért különböző arányú keverék alapanyagból készült repceszalma és búzaszalma pellettel is elvégeztem a füstgázelemzési vizsgálatokat, melyeket a Szentesen működő T&T Technik Kft. üzemében állítottak elő. A keverék pelleték égési tulajdonságai szignifikánsan jobbak voltak, mint a tiszta repceszár pelleté.

2.1 A témaválasztás indoklása, a téma időszerűsége

Az utóbbi ötven év meteorológiai mérései alapján, a globális átlaghőmérséklet jelentősen növekszik, és aggasztó, hogy a felemelegedés mértéke és ezzel összefüggésben a sarki jégtakaró olvadása az utóbbi 15 évben felgyorsult [National Atmospheric Administration 2015]. A klímakutatók 97%-a szerint, a globális felemelegedésért az emberi tevékenység is felelős. A probléma fontosságát felismerve, az Európai Unióban, és világszerte fogalmaznak meg politikai irányelveket az üvegházhatású gázok csökkentésére vonatkozóan. Magyarországon az EU-s követelményeknek megfelelően, a Nemzeti Cselekvési Tervben meghatározott 14,65 %-os megújuló energia részarányt kell teljesíteni 2020-ig. Hazánk talajtani és klimatológiai adottságai révén, a biomassza hasznosítása a megújuló energiákon belül kiemelten fontos. A mezőgazdasági és faipari melléktermékek közös tulajdonsága, hogy eredeti állapotban nehezen kezelhetők, tüzelésük problémás, illetve kis térfogati sűrűséggel rendelkeznek. Ezért a pelletálás egy lehetséges alternatíva ezen anyagok energetikai hasznosítására. A fapellet előállítás és kereskedelme szignifikánsan emelkedett 2008 óta [Eurostat 2015, Pell. Atlas 2014]. Az Egyesült Államok és Kanada fő gyártó és exportőr lett, elsődlegesen az Európai Unióba. Az EU fapellet „függőségét” az üvegházhatású gázok csökkentésére, és a megújuló energiák arányának növelésére irányuló politikai irányelv idézi elő. Számos európai villamos-energia előállító konvertálta, vagy folyamatban van a szén és gáz kiváltása biomasszával, mely sok esetben fapellettel történik. A vizsgált hazai fapellet üzemekben az előállított pellet 85-90%-át Olaszországban értékesítik. A Magyar Pellet Egyesület 2015-ös adatai alapján a fapellet gyártók 80%-a Olaszországba és Ausztriába exportál, főként lakossági fűtés, kisebb pellet tüzelők és kazánok alapanyag igényének kielégítésére. A fapellet iránti többoldalú kereslet növekedése azt eredményezte, hogy különböző minőségű, méretű és összetételű faanyagot vonnak be a pelletálásba, a faiparból származó forgács és fűrészpor nem fedezi a szükségletet. Mivel a faipari készletek végesek, kiemelten fontos tehát, a pelletálás alapanyag bázisának bővítése különböző anyagokkal, az ipari pelletek és agripelletek is egyre nagyobb szerephez juthatnak a jövőben.

További fontos kérdés, az energiamérleg vizsgálatok kiterjesztése, a kész termék szállítására valamint a felhasználás primer energiaigényére és hatásfokára vonatkozóan. Számos tanulmány foglalkozik a pelletgyártás energiamérlegével [Jannasch et al. 2001, Pastre 2002, Sokhansaj 2006, Adapa et al. 2011, Hagberg L. 2009, Mann M. 2004, Kocsis Z. 2014, Németh G. 2016, Szamosi 2014, Papp-Marosvölgyi 2011] azonban közülük csak kevesen térnek ki az anyag beszállításának és a pellet felhasználó helyig történő szállításának energia igényére is. További probléma, hogy sok esetben nem veszik figyelembe a primer energiaigényeket, ami véleményem szerint, ha egy folyamatot egészében szeretnénk vizsgálni, az egyik legfontosabb kérdés. Az előállítási folyamatok EROEI vizsgálatait, melyek a szakirodalom alapján főként fapelletre, agripelletek esetén pedig búzaszalmára irányultak, nem veszik figyelembe a pellet tüzelés során a hatásfokot, valamint a pellettüzelés energia igényeit sem. Ezért fontosnak tartom az energiamérleg vizsgálatok kiterjesztését, hiszen környezetvédelmi szempontból, ennek van leginkább jelentősége.

3 A pellet általános jellemzése, a gyártási technológia bemutatása

A fapellet és agripellet nagy nyomáson, 800-900 bar-on előállított energetikai tömörítvény. A faforgács és a különböző mezőgazdasági melléktermékek kis térfogati sűrűséggel rendelkeznek, ezért az energiasűrűség növelésének egyik legalkalmasabb módja az alapanyag tömörítése. A tömörítés során a kiinduló alapanyag halmazsűrűségét megnövelik 80-160 kg/m³-ről [Fenyvesi et al. 2008] 600-650 kg/m³-re [Ongrádi, 2006]. Technológiától függően a pelletek mérete változó, átmérőjük 4-10 mm, hosszuk 15-50 mm közötti. Európában a 6 és 8 mm átmérőjű pelletek terjedtek el. A kémiai összetevők közül a lignin, a pentozánok valamint a fehérje jelenléte nagyban befolyásolja a tömörítvény tulajdonságait. A lignin jelenléte megváltoztatja, ill. alakítja ki a kötési jellemzőket. Viszonylag alacsony hőmérsékleten, 140 C^o-on megolvad, s később ez tartja össze a részecskéket a tömörítés után [Dam, - Oever, -Teunissen 2004]. A fehérje tartalom is fontos szerepet játszik a pelletálás során kialakuló kötésekből. A tartózkodási idő, a hőmérséklet, valamint a magas nyomás a fehérjék részleges denaturációját okozza [Wood 1987].

A primer biomasszát a növények vázanyagai (sejtfal-komponensei) alkotják, amelyek közül ipari szempontból a cellulóz, a hemicellulóz és a lignin fontosak. A vázanyagok mellett kisebb mennyiségben egyéb anyagok is megtalálhatók (pl. sók, olajok, gyanták), amelyeket rendszerint ki lehet vonni az anyagból valamilyen oldószerrel (vízzel vagy szerves oldószerekkel), ezért ezek összességét extraktanyagnak szokták nevezni. A lignin, a hemicellulóz és egyéb összetevők kémiai felépítésében és tulajdonságaiban a különféle növényfajták között lényeges különbségek lehetnek [Bíró 2011]. Ezért is lehetnek jelentős eltérések a fa és agripelletek mechanikai tulajdonságaiban, valamint fűtőértékében is.

A cellulóz a növényvilágban a legnagyobb mennyiségben előforduló szerves vegyület, amely mint a sejtfalat felépítő poliszacharid, a magasabb rendű növényekben a vázanyag szerepét tölti be (a növényi sejtfal legfontosabb komponense), mivel a cellulózmolekulákból álló szálak hálózata határozza meg a sejtfalak alapszerkezetét. A „hemicellulóz” gyűjtőnév. Azokat a poliszacharidokat soroljuk ide, amelyek a cellulózon kívül részt vesznek a sejtfal felépítésében. Szerepük a cellulóz szálak hálózatából álló sejtfalváz rögzítése a cellulózmolekulákhoz kapcsolódva. A hemicellulózok között pentozánok (pentóz egységekből felépülő poliszacharidok) a leggyakoribbak. A lignin a sejtfal cellulózból és hemicellulózból felépülő rácsszerkezetének molekuláris méretű üregeibe rakódik be, a sejtfal mechanikai ellenálló képességét növeli. A „lignin” elnevezés is gyűjtőnév: jelenti a fának vagy az elfásodott növényi részeknek azt a vázanyagát, amely aromás építőkövekből épül fel. A különféle fafajtákban vagy elfásodott növényi részekben található lignin más és más felépítésű, de fellelhetők bennük szerkezeti hasonlóságok [Molnár 2004].

1. táblázat: Különböző fafajok vegyi összetétele [Marosvölgyi 2002, Németh 1998, Molnár 2009 alapján]

Fafaj	Pentozán %	Cellulóz %	Lignin %	Egyéb
Lucfenyő	11,30	57,84	28,29	2,57
Erdeifenyő	11,02	54,25	26,35	8,38
Bükk	24,86	53,46	22,46	0,78
Nyír	27,07	45,30	19,56	8,07
Nyár	23,75	47,16	18,24	10,85
Cser	22	45	22	10
Akác	19	48	27	8

A táblázat a hazánkban előforduló leggyakoribb fafajok vegyi összetételét mutatja be. Látható, hogy legnagyobb mennyiségben a cellulóz fordul elő 45-57,84% értékek között, közel egyenletes mértékben. A legnagyobb ingadozást pedig a pentozán mutatja (mely a hemicellulózok közé sorolandó) 11,02-27,07% mennyiségben. Az egyéb kategóriába tartozó extraktumok, nyír esetén a csersavat, míg fenyők esetén a gyantatartalmat jelzik, ami a többi faanyaghoz képest, kicsit magasabb fűtőértéket is jelentenek. Lágyszárú minták pelletálásával és kémiai összetételének vizsgálatával foglalkozó kutatások alapján [Mania et al. 2008] általánosságban elmondható, hogy lignin tartalmuk a faanyaghoz képest jelentősen alacsonyabb, hemicellulóz tartalmuk megegyezik, vagy magasabb, mint a fás növényeké.

2. táblázat: Lágyszárú növények kémiai összetevői [Mania et al 2008 alapján]

	Búzaszalma	Árpa szalma	Kukorica-szár	Energia köles
Fehérje %	5.7	6.6	8.7	1.6
Lignin, %	7.61	6.81	3.12	7.43
Cellulóz, %	42.51	42.42	31.32	44.34
Hemi-cellulóz, %	22.96	27.81	21.08	30.00
Hamu, %	8.32	10.72	7.46	5.49

A lágyszárú növények tüzeléstechnikai szempontból fontos tulajdonsága, a hamutartalom, mely a faanyag hamujának többszöröse lehet, valamint a hamuolvadáspont. A szalma és szár káliumot és klórt is tartalmaz, melyek csökkentik a hamu olvadás pontját. Ezek az alkáli anyagok gyakorlatilag jelen vannak az összes évente aratásra kerülő lágyszárú növényi maradékban. A NYME KKK Ökoenergetikai kutatásokban különböző biomasszák hamuolvadását is vizsgálták. Eredményeik alapján a faalapú tüzelőanyagok olvadási és salakosodási hőmérséklete általában ezer fok felett, 1100-1200 °C körül található, ezzel

szemben a lágyszárú anyagok hamuja már 650 és 800 °C körül megolvadhat [Tóvári-Marosvölgyi 2011]. Az alkáliák az égés során szublimálnak, és a hőcserélőben a sók finom por formájában kicsapódnak. Ez a kazánokban korróziós problémákhoz is vezethet. Lágyszárúak erőművi hasznosítása során gyakran co-firing technikával védekeznek, vagyis szénnel keverik a biomasszát. Mivel a kis és közepes kommunális kazánok egyike sem üzemel ilyen körülmények közt, ezért a kazánokba lerakódhat az energiafű és szalmafélek égetésekor a kálium-klorid kristály. Emiatt sem egyszerű piacot generálni az agripelletnek. Ehhez először ki kell fejleszteni olyan kazánokat, amelyek agripellettel is megfelelően működnek [Carborobot 2014].

3. táblázat: Lágyszárú növények hamutartalma és hamuolvadási hőmérséklete [Tóvári-Marosvölgyi 2011, Carborobot 2014, Papp –Marosvölgyi 2011, Toscano-Corinaldesi 2010 alapján]

	Hamutartalom (%)	Hamuolvadás pont (C°)
Búzaszalma	4,5-8,9	650-750
Kukorica-szár	6,5-10,5	750-850
Repce szár	3,5-7,5	700-750
Energia fű	3,8-5,5	750-850
Miscanthus nád	2,7-3,1	950-1000

A növények hamutartalmát, kémiai összetételük mellett, nagyban befolyásolja a betakarítás során esetlegesen szárra kerülő talajmaradványok, lerakódások mennyisége is. Ezen anyagok nem csak a hamutartalmat növelik, a lágyszárú növényekben egyébként is jelenlévő szilícium aránya is megnövekedhet, ami a salakképződésre gyakorol hatást. Míg a növényekben jelenlévő kálium, klór és nátrium csökkenti, a kalcium és magnézium jelenléte megemeli a hamuolvadási pontot [Biedermann-Oberberger 2008]. Számos tanulmány foglalkozik CaO, MgO és mészhidrát hamuolvadásra gyakorolt vizsgálatával [Malte 2008, Bhattacharya 2003, Llorente-Fernandez 2006]. A jövőben különböző összetételű adalékanyagok biomasszához történő adagolása, a hamuolvadás pont növelésének lehetősége céljából, az agripellet előállítás során is egy lehetséges alternatíva lehet.

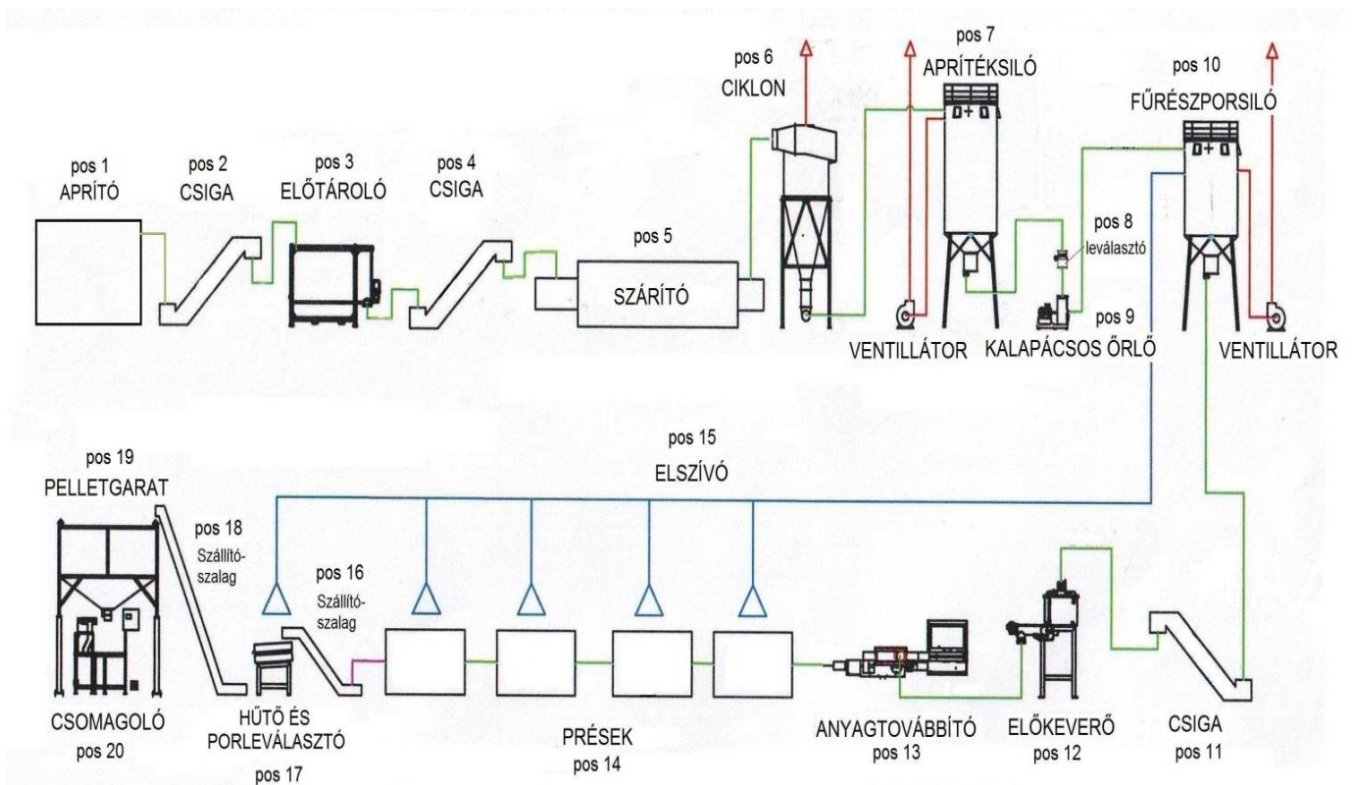
3.1 A gyártási technológia bemutatása

A különböző alapanyagok tömörítési eljárása, az anyagi összetételtől függően változó lehet. A préselési folyamat fa és lágyszárú növények esetén nagyon hasonló, viszont az azt megelőző lépésekben, az aprításban, darálásban vagy szárításban lehetnek különbségek. A tömörítés előtt, az alapanyag nedvességétől függően gyakran kell szárítási technológiát alkalmazni, a pelletáláshoz ugyanis 10-12%-os nedvességtartalom az optimális [Burján Z. 2010]. A pellet mérete változó, átmérője 3-10 mm, hossza 3-5 cm [Szamosi Z, 2012]. A fapelletre 2004, az agripelletre 2015 óta léteznek szabványrendszerek, melyek meghatározzák például a tömörséget, fűtőértéket, nedvesség és hamutartalmat, valamint a hamu olvadáspontot. Míg fapellet esetén az Európai Unió piac megköveteli a jó minőségű pellet gyártását, agripelletek esetén a szabványnak megfelelő minőségű pellet előállítása egyelőre kevésbé jellemző. Ezt

indokolhatja a belföldi értékesítés, valamint az agripelletek sokféle és különböző alapanyagból történő gyártása, ezzel változóvá és kiszámíthatatlanná téve az energetikai jellemzőket.

3.2 A pellet gyártósor

Az agripelet és fapellet gyártás technológiája hasonló egymáshoz, az alapanyag kezelésében, és aprításában vannak a fő eltérések. A beérkező alapanyag agripellet gyártás esetén először a bálabontóba kerül. Nedvességtől függően szükség lehet szárítási technológiára, melyet hazánkban csak fapellet gyártás esetén alkalmaznak, amennyiben túl nedves a forgács illetve a faanyag. Itt is különböző eljárások ismertek: szalagos vagy forgódobos szárító rendszereket alkalmaznak. „A gyártástechnológia ugyan nem bonyolult, de eléggé összetett, és az általában ellenőrizhetetlenül és előrejelezhetetlenül változó gyártáskörnyezeti paraméterek miatt nehezen tervezhető, nagy tapasztalatot igénylő tevékenység” [Burján Z. 2010]. Az 1. ábra a fapelletgyártás technológiáját szemlélteti.



1. ábra: A pelletgyártás technológiája [Burján Z. 2010 alapján]

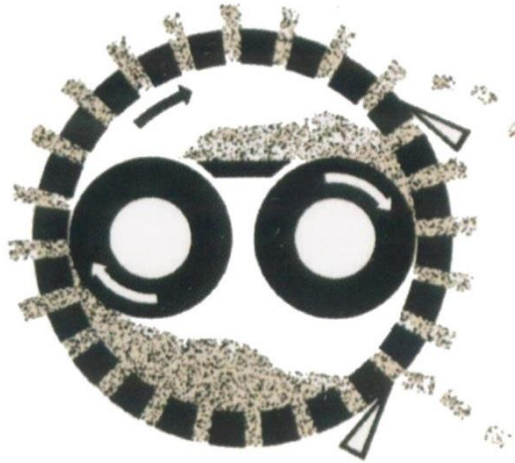
A telephelyre beszállított alapanyag – amennyiben nem megfelelő a szemcsemérete – először az aprítógépbe (pos 1) kerül, ahonnan csigás anyagtovábbítóval az előtárolóba (pos 3) jut. Az előtárolónak az a feladata, hogy olyan puffertárolót képezzen a szárító (pos 5) előtt, ahonnan biztosítható a nedves alapanyag /szárítás utáni nedvességtartalom változásának függvényében/ a folyamatosan változó tömegáramú anyagbehordás a szabályozott fordulatszámú csigás kihordóval (pos 4) a szárítóba. A szárítóközeget (forró levegő, vagy füstgáz), és a szárítandó anyagot a ciklon ventilátora (pos 6) mozgatja át a szárítón. A nagy

sebességű légáram magával sodorja a száraz szemcséket, amelyek a ciklonba jutva – mivel az áramlási keresztmetszet hirtelen kitágul, és az áramlási sebesség lecsökken – különválnak, és a száraz alapanyag a ciklon aljába esik, ahonnan cellás adagolóval történik a kitarazás. Innen szintén pneumatikus szállítással jut az úgynevezett aprítéksilóba, ahonnan először egy mágneses leválasztóba (pos 8), majd a kalapácsos őrlőbe (pos 9) kerül, hogy a már száraz alapanyagot a pelletálásnoz szükséges 2-4 mm-es szemcsenagyságra darálja. A kalapácsos őrlőből (továbbra is légszállítással) az alapanyag a fűrészporsilóba (pos 10) kerül, ahol tulajdonképpen már a megfelelő szemcsenagyságú, szárított fűrészpor várja pelletálást. A silók és csővezetékeik – tekintettel az esetleges porrobbanás lehetőségére, illetve a finompor környezetterhelésére – rendelkeznek saját szikraoltó, tűzoltó és sűrített levegős szűrőtisztító rendszerrel is. Mindezek mellett, mivel a fűrészpor hajlamos a boltozódásra, saját bolygatóművel és kitarazóval vannak felszerelve. A fűrészporsilóból csigás anyagtovábbítóval (pos 11) kerül az anyag az előkeverőbe (pos 12), ahol megtörténik a homogenizálása, illetve szükség esetén az anyag vízpermettel, esetleg vízgőzzel való kondicionálása, amennyiben a szárítás a célérték (10%) alattira sikerült. Innen általában egy körpályás anyagtovábbító (pos 13) hordja ki a présgépekhez (pos 14) az előkészített alapanyagot. A présgépekben történik a tulajdonképpeni pelletálás, ami 800-900 bar-os nyomáson, 130-160 °C-os hőmérséklet mellett megy végbe.

A présekből kikerülő pelletet egy szállítószalag (pos 16) gyűjti össze, s egy porleválasztó és hűtő (pos 17) egységhez továbbítja. A hűtő fontos része a technológiai sornak, hiszen míg a kötőanyag (lignin) nem hűl le, addig a pellet nagyon sérülékeny: könnyen törik és porlad. Innen egy szállítószalag (pos 18) a csomagoló (pos 20) előtti pelletgaratba (pos 19) szállítja a kész pelletet. A megrendelő igényektől függően a csomagolás történhet 15 kg-os zsákba, Big-bag zsákba, illetve ömlesztve [Burján Z. 2010].

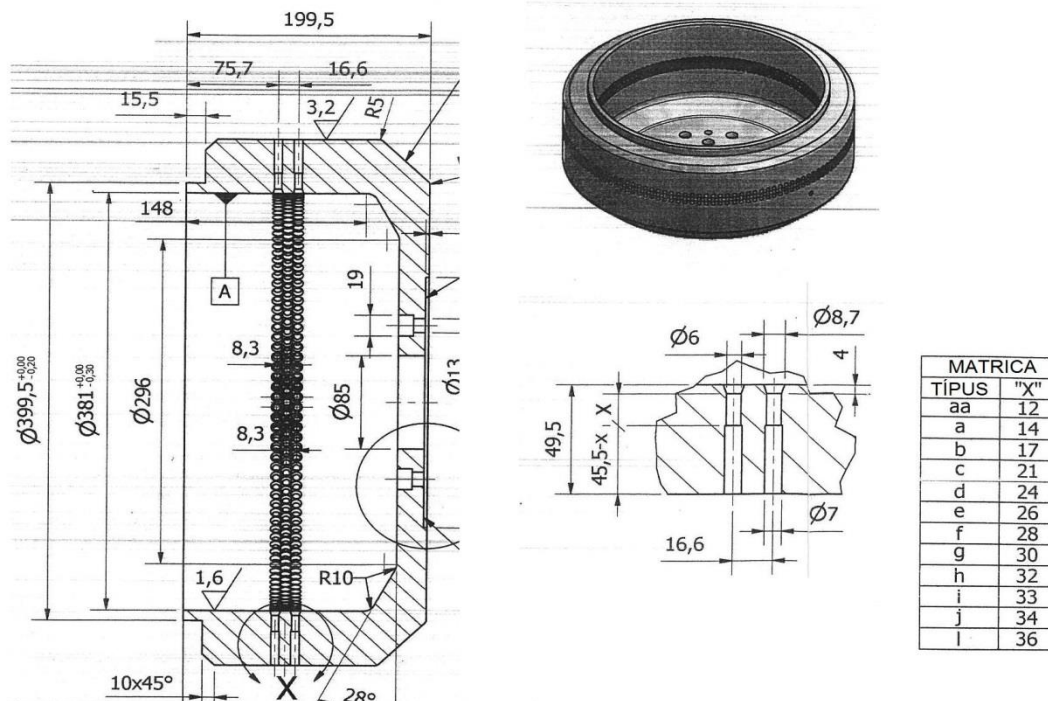
3.3 A pellet tömörítése, présgépek

A kör keresztmetszetű geometriai formát a présszerszám, az úgynevezett matrica alakítja ki, és a fenti nyomás és hőmérsékleti viszonyok mellett megolvadó természetes kötőanyag, a lignin „ragasztja” tartja össze a szemcséket a présből való kikerülés után. A préselés során különböző matricákon megy át az anyag. Megkülönböztetünk sík és gyűrűs matricás pelletálást.



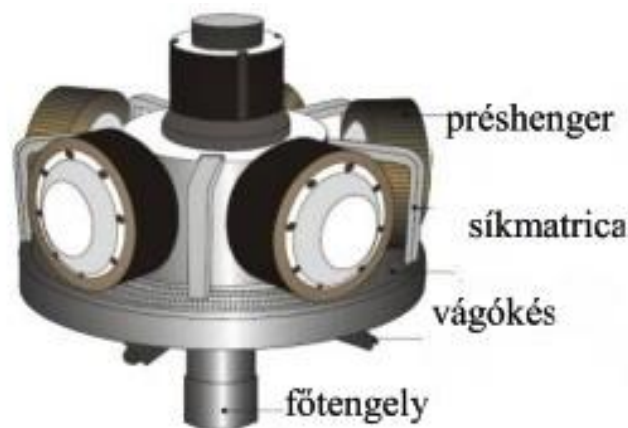
2. ábra: A pelletprés működési elve [Pannon Pell. 2012]

A második ábrán szemléltetett módon állítják elő a préselési nyomást mechanikai úton. Az alapanyag a matrica belső terébe kerül, ahol a forgó matrica magával ragadja, és a belső palásthoz közel (0,5-1 mm) állított görgők alá kényszeríti. A görgők a matrica palástján elhelyezett, megfelelően kiképzett furatokba préselik az alapanyagot, majd a külső paláston kibúvó rudakat a törökécek megfelelő hosszúságban darabolják (1-3 cm)[Burján Z. 2010]. Kiemelkedő jelentősége van a jó minőségű pellet gyártásánál a présfuratok és az alapanyag „összehangolásának” melyet a 3. ábra segítségével szeretném szemléltetni.



3. ábra: A présmatrica keresztmetszete

Az „X” metszeten látható, hogy a matrica falvastagságát két különböző átmérőjű furat töri át. Az egyik furat a belső palásttól egy bevezető kúp után $\varnothing 6$ mm átmérővel indul, ezt nevezzük présfuratnak, míg a külső palásttól egy $\varnothing 7$ mm-es furat megy szembe a présfurattal, ez a kivezető furat. A furathosszak kialakítása attól függ, hogy milyen fafajtából vagy szalmából (kemény vagy puha) akarunk pelletet gyártani. „A puhább fát hosszabb présfuratban, míg a keményfát rövidebben lehet a megfelelő tömörségűre préselni. A metszet mellett lévő táblázat sejteti, hogy nincs túl nagy „préshossz- tolerancia” a különböző keménységű fafajták, illetve ezek keverékei között, hiszen a legpuhább és legkeményebb között 10 db 1-2 mm különbözőségű préshosszúságú matrica rendelhető. Amennyiben túl rövid a préshossz, akkor nem lesz megfelelő tömörségű a pellet. Ha viszont túl hosszú a présfurat, akkor azon túl, hogy jelentősen nő a préseléshez szükséges energiaigény, szélsőséges esetben az is előfordulhat, hogy belesül a szerszámba az alapanyag, amit aztán csak „kézi munkával” lehet eltávolítani. „[Burján Z. 2010]



4. ábra: Síkmatricás pelletprés [Pelletmagyarország 2010 alapján]

Általánosságban elmondható, hogy kisebb teljesítményű pelletálókra jellemző a síkmatricás megoldás, míg a nagyobb kapacitású üzemek szinte teljes mértékben gyűrűs matricás kialakítást alkalmaznak.



5. ábra: Gyűrűs matricás pelletprések

4 Pellet szabványrendszerek, minőségi követelmények

A pelletek minősége közvetlenül kapcsolódik a fizikai, kémiai és mechanikai tulajdonságokhoz. Befolyásolja az égésből származó kibocsátást, valamint a felhasználást különböző kazánokban és kályhákban. Több európai ország fejlesztett ki saját követelmény rendszert, hogy garantálja a minőséget és a környezetbarát hasznosítást. A következőkben kitérek az olasz, ausztriai, német, svéd, francia valamint az Európai Szabvány Bizottság (European Standard Committee C-EN/TC 335) által alkalmazott rendszerekre. Ezen előírások összehasonlítása bizonyítja a jelentős különbséget a pelletek minőségében valamint a gyártás irányelveiben, továbbá jelentősen befolyásolja a pellet elterjedését Európában. [A. García-Maravera, V. Popovb, M. Zamoranoa 2010] 2011 óta van érvényben a nemzetközi EN illetve EN plusz nemzetközi tanúsítvány is, ami a EN-14961-2 szabványon alapul. Használatával lassan kiszorítja a különböző országokéi pellet követelményeket, és egy egységes rendszert létrehozva garantálja a jobb minőségű pelletek elterjedését, valamint kitér a gyengébb minőségű és ipari pelletekre is.

4.1 Ausztriai szabvány: ÖNORM M 7135

Az ausztriai ÖNORM megállapítja a követelményeket és vizsgálati előírásokat a tiszta fából valamint kéregből készült pellet és brikett minőségére vonatkozóan. Ezen kívül kitér a szalmából valamint energia nádból előállított agripelletre is. A fizikai tulajdonságok közül az átmérőt, hosszúságot és rézecske sűrűséget adja meg. A fűtőérték, nedvességtartalom és hamutartalom a legfontosabb jellemzők, valamint kitér az adalék anyagok maximális mennyiségére, amit 2% alatt határoz meg. Az I. mellékletben elhelyezett táblázat az ÖNORM fontosabb paramétereit foglalja össze.

4.2 Svéd szabvány SS 187120

Svédország az elsők között volt a pellet minőségi követelmény rendszer kifejlesztésében. Ez a sztenderd három kategóriát különít el a meghatározó paraméterek határértékének függvényében. A fizikai, mechanikai, kémiai tulajdonságokat a II. melléklet táblázata tartalmazza.

4.3 Német szabvány DIN 51731 és DIN EN 15270

Németország két szabványrendszert alkalmaz, az egyik a DIN 51731 pelletekre és brikettre, a másik a magas minőségű pelletre a DIN EN 15270. Az első fa alapú tömörítvényre vonatkozó követelmény rendszert már 1996-ban kifejlesztették. A többi országhoz képest magasabb hamutartalmat enged meg, ami limitálja a kisebb pellet tüzelő berendezésekben való égetést. A részletes adatokat bemutató táblázatot a III. melléklet tartalmazza.

4.4 Olasz minőségi követelmények CTI-R04/05

Az olasz CTI-R04/05 követelmény rendszer a biomassza alapú pelletekre vonatkozik. Három kategóriát különítettek el az összetételtől függően:

A1: kéreg nélküli lombhullató és fenyő faanyagból készült pellet; faiparból származó kezeletlen melléktermék; valamint ezek keverékei.

A2: Az A1 kategóriába nem tartozó alapanyagok, valamint kezeletlen lágyszárú növényekből készült pellet.

A3: Minden egyéb biomassza alapú pellet ami nem sorolható az előző két kategóriába. A részletes táblázatot a IV. mellékletben helyeztem el.

4.5 Francia javaslat: ITEBE

Bár Franciaország nem rendelkezik hivatalos szabvánnyal a fapelletre vonatkozóan, a kormány létrehozott egy minőségi követelmény rendszert, ami a pelleteket felhasználási területek alapján különíti el (kis pellettüzelők, kazánok, hulladékégetők). A fűtőérték, hamutartalom és nedvességtartalom itt is döntő szerepet játszik, valamint az átmérő, hosszúság és térfogati sűrűség is szerepel a jellemzők között. A részletes táblázatot az ötödik melléklet tartalmazza.

4.6 Európai Szabvány Bizottság (European Standard Committee) CEN/TC 335

Végül, az Európai Szabvány Bizottság által létrehozott C-EN/TC rendszer magába foglalja az összes szilárd biomasszára vonatkozó követelményt, beleértve a fapelletet és brikettet, fa aprítékot, rönköket, faforgácsot és szalmabálát. Az irányelvek és a pellet osztályozása különböző a többi országhoz képest. A legnagyobb eltérés, hogy három általános kategóriát különít el az alapanyag eredete alapján: 1. fa pellet, 2. lágyszárú biomassza alapú pellet, 3. egyéb biomassza valamint keverék pelletek. A rendszer ezen kívül további négy alkategóriát tartalmaz, valamint ezek az alkategóriák is tovább kategorizáltak. Például fapellet esetén: 1.1 erdészeti faanyagból készülő pellet, 1.2 faipari melléktermék, 1.3 használt fa, 1.4 keverékek. Ezen belül tovább osztható: 1.1.1 egész fa gyökér nélkül, 1.1.2 fatörzs, 1.1.3 kitermelési maradványok, 1.1.4 tuskók/gyökerek, 1.1.5 fakéreg, 1.1.6 kertek, gyümölcsösök, szőlészetek, parkok fahulladékai, 1.1.7 keverékek. Végül ezek az alkategóriák is további részekre oszthatók. Például 1.1.1. esetén: 1.1.1.1 lombhullató, 1.1.1.2 tülevelű, 1.1.1.3 bokrok, 1.1.1.4 keverékek. Ez a rendszer magába foglalja és kategorizálja a különböző helyekről, és eltérő alapanyagokból készülő pelleteket, valamint irányelveket fogalmaz meg a felhasználásra vonatkozóan is.

Ezen kívül elkülönítik a felhasználás helyét, például kis pellet tüzelőkben jobb minőségű anyag égethető csak, mint a nagyobb berendezésekben. Ipari felhasználás esetén a rendszerek rendelkeznek por-szűrőkkel esetleg füstgáz tisztítókkal, a hamutartalomra sem annyira

érzékenyek, így a gyengébb minőségű tüzelőanyag is biztonságosan égethető. A részletes táblázatot az VI. mellékletben helyeztem el.

A különböző országok rendszerei eltérnek alapvető követelményekben, határértékekben, és ebből adódóan a pellet felhasználásának módjában is. A pelletek mérete, fűtőértéke, hamu és nedvességtartalma jelenik meg leggyakrabban a követelmény rendszerekben, de a méret az egyetlen meghatározó, amit minden szabvány rendszer tartalmaz. Az EN plus rendszere már külön kitér a lágyszárú alapanyagokból készült agripelletre. Ez esetben alacsonyabb fűtőértéket, és magasabb hamutartalom értékeket engednek meg. A következő táblázat néhány fizikai és kémiai jellemzőt, lágyszárú növényből készült tömörítvény megengedett paramétereit tünteti fel.

4. táblázat: Agripelletek minőségi követelmény rendszere

Paraméter	Mértékegység	ENplus-A1	ENplus-A2	EN-B	Vizsgálati szabvány
Átmérő	mm	6(+1) vagy 8(+1)			EN 15101
Hossz	mm	3.15<L<40			EN 15102
Halmaz sűrűség	kg/m ³	>600			EN 15103
Fűtőérték	MJ/kg	>16.5	>16.3	>16.0	EN 14918
Nedvességtartalom	Max.-%	<10			EN 14774
Finomhányad	Max.-%	<1			EN 15149
Mechanikai tartósság	Max.-%	>97.5		>96.5	EN 15210
Hamutartalom	Max.-%	<0.7	<1.5	<3.0	EN 14775
Hamu olvadáspont	T - C°	>1200	>1100		EN 15370
Klór tartalom	Max.-%	<0.02	<0.03		EN 15289
Kén tartalom	Max.-%	<0.05			EN 15289
Nitrogén tartalom	Max.-%	<0.3	<0.5	<1.0	EN 15104

A legtöbb európai országban csak néhány követelményt határoztak meg a pellet minőségére és előállítására. Ezért gyakran rossz minőségű pellet kerül a piacra, ami elriaszthatja a felhasználókat. 2011-óta érvényben van az EN plus minősítés, az Európai Pellet Tanács által kiadott kézikönyvből, mely az EN-14961-2 szabványon alapul, érintve számos szabványt, egy egységes fapellet tanúsítási eljárást foglal össze. Mivel doktorimnak nem témája a pellet szabványok és minőségi követelmények elemzése, további részletekre nem térek ki. A pellet vizsgálatoknál, az anyag és módszer részről feltüntettem az adott témához köthető szabványokat.

5 A pelletgyártás helyzete az Európai Unióban

A megújuló, illetve megújítható energiaforrásokat egyre nagyobb mértékben használják ki világszerte, de a legnagyobb növekedés az Európai Unióban figyelhető meg. A biomassza továbbra is jelentős értéket képvisel, míg 2004-ben az összes energia felhasználáshoz képest 4%-ot, 2013-ban 7,7%-ra emelkedett. A megújuló energiákhoz viszonyítva, a biomassza 65-70%-ot tesz ki az Európai Unióban [EPRS 2015]. Az EORE (European Observatory on Renewable Energy) felmérései szerint a biomassza 13%-ot (7 Mtoe) képvisel a megújulókból előállított villamos energiában, 15%-ot pedig ipari hőellátásban. A további 65 Mtoe egyenértéknek megfelelő energia háztartások fűtésében jelenik meg. Az észak-európai régiók egy főre jutó biomassza hasznosítása szignifikánsan magasabb, mint a közép-európai régiókban. A fapellet, mint megújuló energiaforrás, előállítása és kereskedelme jelentősen emelkedett 2008 óta. Az Egyesült Államok a fő gyártó és exportőr lett, elsődlegesen az Európai Unióba. Az EU fapellet „függőségét”, az üvegházhatású gázok csökkentésére, és a megújuló energiák arányának növelésére irányuló politikai irányelv idézi elő. Számos európai villamos-energia előállító konvertálta, vagy folyamatban van a szén kiváltása biomasszával, mely sok esetben fapellel történik. Ezzel is próbálják teljesíteni a 2020-ra előírt 20%-os megújuló energia részarányt. A fapellet hasznosítása világszerte emelkedett, jelentősen Japánban és Koreában is [A. Goetzl 2015].

A fapelletet egyre nagyobb mértékben hasznosítják ipari célokra, villamos energia, hő- és villamos energia (CHP) erőművekben. Mivel sok EU-s országban a helyi előállítás nem elégíti ki a szükségletet, a fapellet egyre keresettebb importcikké vált. Kanadában és az Egyesült Államokban, mivel a faipari melléktermékek végesek, sajnos egyre több példa van arra, hogy kitermelés után, a farönkök szolgálnak a pelletálás alapanyagául.

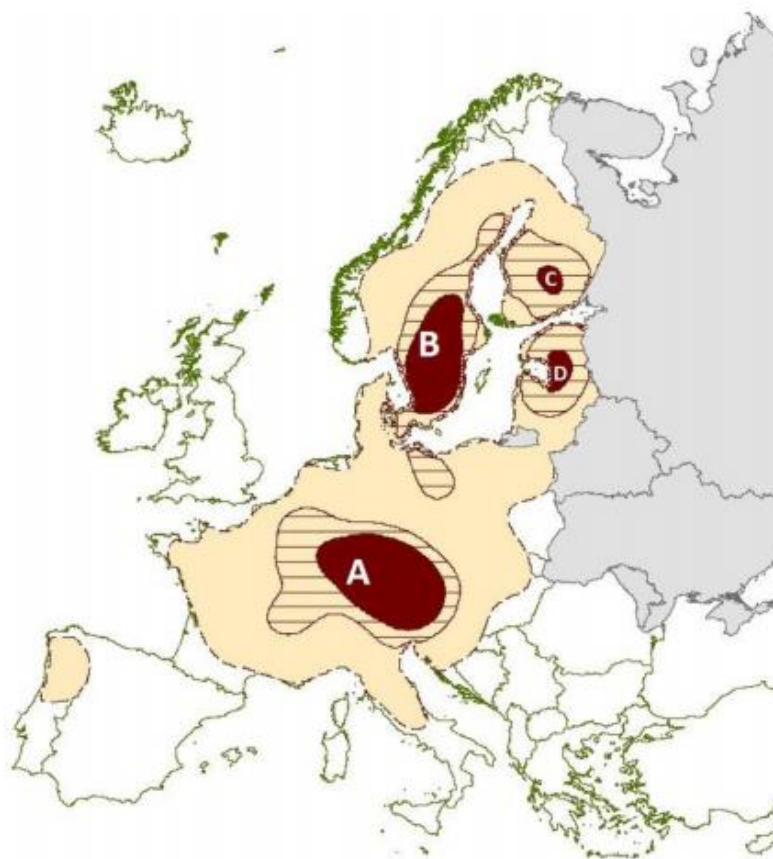
Az EU-ba a legnagyobb beszállítók az Egyesült Államok, Kanada és Oroszország. Ez véleményem szerint több szempontból is problémákat vet fel. A hosszú szállítási útvonal, bár a hajóval történő szállítás energiaigénye a legkisebb, de így is jelentősen megváltoztatja a folyamat energia-mérlegét. Továbbá, az Oroszországból és Amerikából történő exporttal, az EU növeli importfüggőségét az energiaszektorban. A pellet igény növekedésének hatására, az Amerikai Egyesült Államokban 2008-óta 3 millió tonnáról, 12 millió tonnára emelkedett az előállított fapellet éves mennyisége [FAO Stat 2015].

A pellet nem egy új energetikai termék, de a nagy gyártó, és felhasználó ipari létesítmények, főleg Európában, hatalmas fejlődésen mennek keresztül. Bár a fapelletet már régóta használják lakossági, kis és közepes méretű létesítmények fűtésére, az ipari felhasználásban, villamos és hő energia előállítására, co-firing, és CHP erőművekben jelenik meg egyre nagyobb igény.

A világban évente előállított pellet mennyisége 24-25 millió tonna, melyből az EU 10 millió tonnát állít elő. A felhasználást tekintve az EU kimagaslóan vezet, évente 19 millió tonna fapelletet hasznosítanak, melyből 10 millió tonna háztartási, lakossági fűtés, és 9 millió tonna ipari hasznosítás. [Huang J. 2014, FAOSTAT 2014] A fapellet iránti kereslet Nagy-Britanniában, Dániában, Belgiumban és Hollandiában a legnagyobb, ahol a felhasználást tekintve villamos energia előállításra hasznosítják a pellet nagy részét [EBA2014]. Az

előállításban élen jár Németország, Lettország, Svédország és Ausztria, az Egyesült Államok és Kanada exportja mellett szintén jelentős EU-n belüli exporttal. Az Egyesült Királyságban az egyik legnagyobb áram termelő, a Drax Power Limited, 6 széntüzelésű erőművéből hármat co-firing, hármat pedig teljes pellet tüzelésre alakított át. 2013-ban körülbelül 7 millió tonna pelletet hasznosítottak, melyből 2000 megawatt energiát állítottak elő. A többi európai országban is hasonló fejlesztések várhatók, a villamos energia előállításba egyre nagyobb mértékbe vonják be a fapelletet. A legnagyobb európai fapellet importőrök Nagy-Britannia (főként Kanadából és az Egyesült Államokból), Dánia (főként Oroszországból és a Balkánról), Olaszország forrása főleg Ausztria és Németország, (a magyar fapellet gyártók nagy része is Olaszországba exportál) Belgium (az Egyesült Államok és Kanada), valamint Svédország (szintén elsősorban Oroszországból és Balkánról) [FAO Stat 2015].

Mola-Yudego, Selkimäki, és González-Olabarria finn és spanyol kutatók, a pelletüzemek elhelyezkedését és kapacitását vizsgálták az Európai Unióban. A felmérésekbe 378 üzem adatait használták fel, melyekben az éves előállított fapellet mennyisége 1000 tonna felett volt. Eredményeik alapján a pelletüzemek nagy része Németországban és közép-európai területeken, illetve Finnország és Svédország területén jelenik meg.



6. ábra: Fapellet gyártó üzemek elhelyezkedése az EU-ban [Mola-Yudego et al. 2014]

A pirossal jelölt körzetekben koncentrálódik az EU összes előállításának 30%-a, a csíkozott részekben 50%-a, a világos részekkel együtt pedig 90%-a.

6 A pelletgyártás helyzete Magyarországon

Az Európai Bizottság felmérései alapján a magyarországi primerenergia felhasználás 2005 óta jelentősen csökkent, 1160 PJ-ról, 963 PJ-ra. A végső energiafelhasználás változatlanul némileg meghaladja az uniós átlagot, és az előrejelzés szerint a GDP-növekedéstől elválva 2020-ig 2013-hoz képest enyhén csökkenni fog. A kormány elfogadta a Nemzeti Energiahatékonysági Cselekvési Tervet, és 2015. februárban ambiciózus 2020-as célszámokat határozott meg az energiafogyasztás és - megtakarítás tekintetében. Az energiahatékonyság javulása azért is fontos, mert a háztartások energiaintenzitása is magasabb az uniós átlagnál. A felmérések azt mutatják, hogy vissza nem térítendő támogatás nélkül sokan vonakodnak felújítani otthonukat. A kormány kedvezményes hiteleket engedélyez ilyen célokra. 2005 és 2013 között a kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés évente 6,8 %-kal csökkent, ez a második legrosszabb eredmény az uniós tagállamok között [Európai Bizottság Munkadokumentum 2016]. Magyarország jelenleg GDP-je 6 %-át költi energiainportra, ami az uniós átlag kétszerese [Member State Energy Dependence 2016]. Az energiainport függőség csökkentése – amely többek között a megújuló energiaforrások és az energiahatékony technológiák fokozott kiaknázásának támogatása révén valósulhatna meg – mérsékelné a fosszilis tüzelőanyagok árának ingadozásából eredő hatásokat és fokozná az energiabiztonságot [Európai Bizottság 2016]. Az elmúlt években a megújuló energiaforrások energiamixbeli aránya főként a biomassza felhasználás térhódítása miatt növekedett. A biomassza hasznosításán belül a legnagyobb arány a lakossági tűzifa használatból adódik, valamint alacsony hatásfokkal működő erőművekben, kisebb része fűtőművekben valósul meg. Az Európai Unió trendekhez hasonlóan, hazánkban is jelentősen nőtt a fapellet üzemek száma, míg az agripellet előállítás csak lassan növekszik. Az utóbbi években azonban több fapellet üzemnél is alapanyag ellátási gondok jelentkeztek. A termelők a jó minőségű fapelletet Ausztriába, és főként Olaszországba szállítják és értékesítik. A kereslet folyamatosan nő, azonban a hazai faipari melléktermékek nem tudják fedezni ezt a szükségletet. Doktori munkám során személyesen látogattam meg a fapellet gyártó Pellet Product Kft. petőházai üzemét, a Lenes-Agrofa Kft. ceglédi üzemét, az agipelletet gyártó T&T Technik Kft-t Szentesen, és az Agripell Kft. agárdi üzemét. Információkat gyűjtöttem a Magyar Pellet Egyesülettől, az interneten fellelhető céges adatokból, az Eurostat és a FAO statisztikai adatbázisából. Általánosságban elmondható, hogy a hazai üzemek nem tudják kihasználni a gyártási kapacitást, mely fapellet esetén a legtöbb esetben az alapanyag hiányára, vagy rossz minőségére vezethető vissza. A pellet gyárak előállítási mennyiségeiről nincs minden esetben információ, valamint az utóbbi években több üzem bezárt, vagy tulajdonos és névváltás történt. 2013-ban az egyik legnagyobb hazai gyártó, a Pannon Pellet is csődöt jelentett, és az üzem egy időre leállt, melyet az alapanyag hiányával, és technológiai hibákkal magyaráztak. Az elhúzódó tél miatt a somogyi és zalai erdőkben leállt a fakitermelés, így a fahulladékot, nagyrészt fűrészport felhasználó - azokból préssel - pelletet előállító üzem alapanyag nélkül maradt. [Kiss M. 2013] A FAO statisztikákban is csak a 2012-es és 2013-as évről van elérhető adat. Továbbá az évente előállított fapellet mennyiségekben is eltérés van a FAO és Eurostat adatbázisok között. A következő táblázatban a hazai pelletüzemek adatait foglaltam össze, 2010-2016-os adatok alapján.

5. táblázat: Pelletgyárak és alapanyag igényük Magyarországon

Telephely	Üzemeltető	Termék	Alapanyag	Kapacitás [t/év]
Tiszaújváros	Eko Fire Pellet	Fapellet	Keményfa, Erdészeti melléktermék, Energetikai ültetvény	30 000
Bakonyjákó	Jákófa Ipari és Ker. Kft.	Fapellett, Fabrikett	Fűrészipari, Asztalos ipari melléktermék	5 000
Polgárdi	Vertikál Zrt.	Fapellet	Faipari melléktermék Mezőgazdasági mellékter.	1 000
Tuzsér	Erdért-Tuzsér Zrt.	Fapellet	Kéregmentes apríték Fűrészpor, Faforgács	7 000
Lenti	Németh-Fa Kft.	Fapellet	Faipari melléktermék	1 000
Belezná	Pannon Pellet Kft.	Fapellet	Fűrészpor, apríték	13 000
Tiszalök	PelletInternat.Kft.	Fapellet	Raklapgyári melléktermék	3 500
Petőháza	Pellet Produkt Kft	Fapellet	Kéregmentes fenyő eselék	6 000
Cegléd, Érsekcsanád	Lenes-Agrofa Cégcsoport	Fapellet	Fűrészipari melléktermék	30 000
Lenti	Zalaerdő Zrt.	Fapellet	Fűrészipari fűrészpor	2 000
Lajosmizse	Hungaropell. Kft.	Fapellet	Faipari hulladék	80 000
Cegléd	Wood Pellet Kft.	Fapellet	Fűrészipari melléktermék	15 000
Zsira	Gold Pellet Kft.	Fapellet	n.a.	n.a.
Kölked	Mű-Pellet Zrt.	Fapellet	n.a.	n.a.
Szombathely	Pappel-T. Kft.	Fapellet	n.a.	n.a.
Szigetvár	Szigetvári P..Kft.	fapellet	n.a.	n.a.
Szentes	T&T Technik Kft	Agripellet	Energiafű, Búzaszalma Kukoricaszár, Repceszár Fanyesedékek, Energianád	3 600
Agárd- Pálmajor	Agripellet Kft	Agripellet	Széna, Búzaszalma Repceszár, Napraforgó héj	4 200
Kölked	Mű-Pellet Zrt.	Alompellet	Szalma	n.a.
Vép	Agripellet Üzem	Agripellet	Szalma	n.a.
Jászladány	Gold Brikett Kft.	Agripellet	Szalma	4 000
Összesen	Fapellet			194500
	Agripellet			12000

n.a. – nem áll rendelkezésre nyilvános adat

Saját szerkesztés [MPE 2010, MPE 2009, Jákófa Kft. 2012, Varga 2012, Zöldtech 2011, Zalaerdő Zrt 2012, Mű-Pellet Zrt. 2014, Pappel-T Kft. 2014, Szigetvári P. Kft. 2012, Simon E. 2011, Gold Brikett Kft. 2016] alapján

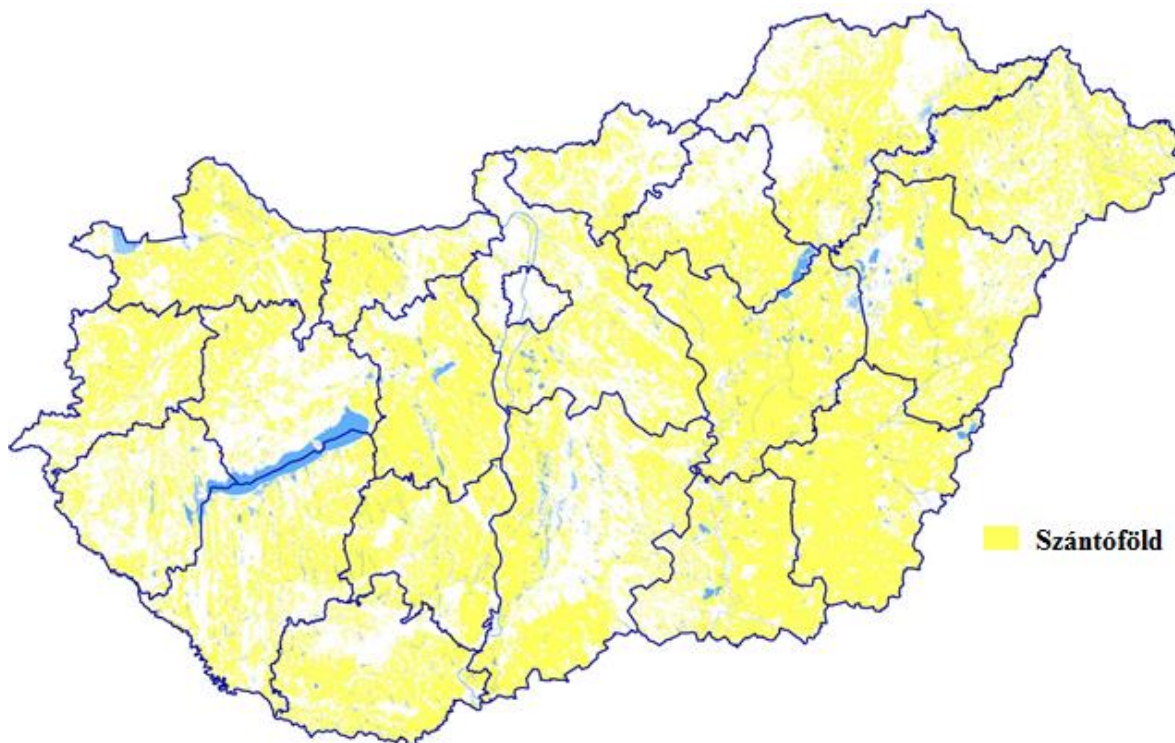
Szembetűnik, hogy az agripellet mennyisége, töredéke az előállított fapelletnek. Ennek egyik oka, hogy egyelőre az agripelletet az országon belül értékesítik, a kazánok és kályhák pedig

egy gázkazánhoz képest drágák, ami lassítja az elterjedését. Az alacsony gáz árak miatt jelenleg fapellettel már drágább lenne fűteni, az agripelletek ára alacsonyabb, de valamivel kisebb is a fűtőértékük. A gyakran magas hamutartalom, és alacsony hamuolvadási hőmérséklet, a magasabb finomhányad arány, gyengébb minőségű pelleteket eredményez. A lágyszárú növények hasznosítása továbbra is kihívás elé állítja a kazánfejlesztőket. A nyugat-európai országokban is főként a jó minőségű fapelletre van kereslet, azonban a jövőben a mezőgazdasági melléktermékek egyre nagyobb mértékű energetikai hasznosítása várható, amire az agripellet gyártás egy lehetséges alternatíva.

7 Agripelletek alapanyagbázis vizsgálata Magyarországon

A fapelletálás iránti kereslet Európai Unió növekedésével, a faipari készletek hasznosítása szinte teljes mértékben lefedett. A szántóföldeken keletkező szalma és szár maradványok azonban évente újratermelődnek, jelentős részük energetikai célokra lehetne használható. Korábbi kutatásaink alapján a mezőgazdasági melléktermékek potenciálja jelentős, tehát a fapellet előállításával szemben, az agripelletek hazánkban sokkal nagyobb alapanyagbázissal rendelkeznek [Papp – Szalay – Gaál 2015]. Ebben a fejezetben szeretném szemléltetni, és korábban publikált cikkünk alapján összefoglalni az évente keletkező mezőgazdasági melléktermékek mennyiségét, valamint egy becslést adni a konkurens felhasználók, a vetésforgó és aszályos évek figyelembe vételével. A nagy mennyiségben rendelkezésre álló mezőgazdasági melléktermékek miatt hazánkban az agripellet előállítás egy lehetséges alternatíva lenne ezen anyagok energetikai hasznosítására.

Magyarország 9,3 millió hektárnyi területének 79%-a – 7,4 millió hektár – termőterület. Ezen belül 5,3 millió hektár mezőgazdasági és 1,9 millió hektár erdőterület volt, a mezőgazdasági terület 57%-ot, az erdő 21%-ot foglalt el az ország területéből 2014-ben. A szántóterület 46%-os aránya (4 millió 326 ezer hektár) viszonylag stabil, mindössze 2%-kal marad el a 2004. évtől [KSH 2015]. Az agripellet előállítás során a fő alapanyagok a szalma és szár, de kukoricacsutka, malomipari melléktermékek, préselt napraforgómag is hasznosítható. A melléktermékek hasznosításának szempontjából a legfontosabb növények a kukorica, a kalászosok, a repce és a napraforgó. A felsorolt növények a szántóterületek 80%-át fedik le. A mezőgazdasági területek megyei eloszlását a Corine Land Cover felszínborítási adatok alapján az 7. ábra szemlélteti.



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

Magyarországon évente 1,1-1,2 millió hektáron termelnek szemes kukoricát. Jobb években a termés mennyisége meghaladja a 8 millió tonnát is. Az utóbbi öt év termésátlagos az aszályos évek figyelembe vételével átlagosan 6,1 tonna hektáronként [KSH 2015]. A kukoricaterméshez viszonyítva nagy tömegű kukoricaszár és csutka marad vissza a területen. A szakirodalmi források eltérőek a hektáronként keletkező melléktermék mennyiségére vonatkozóan, 0,8-1,5 szem-szár arány adatok jelennek meg [Sokhansaj 2011, Boris 2011, Christian 2014, Pappné Vancsó 2010,]. A kukoricaszár hasznosítás jelenleg legelterjedtebb módja a beszántás, mely a vetésterület kb. 93–94%-án történik [Haszon Agrár 2010]. A nagy mennyiségű szerves anyag cellulózhatást vált ki a talajban, amely nitrogénműtrágyával ellensúlyozható [Tármeg 2008]. A szármaradványok talajba kerülésekor drasztikusan megváltozik a szén-nitrogén arány, ami úgynevezett pentozán hatás kialakulását eredményezheti. A pentozán hatás lényege, hogy a magas cellulóztartalmú szerves anyagok bomlásához szükséges nitrogént a lebontó mikroorganizmusok a talajból, sok esetben a növény elől vonják el, amely a növényeken tápanyaghiány tünetek formájában válik láthatóvá [Zsombik 2007]. A nitrogén műtrágya nagy mennyiségű alkalmazása jelentős mértékben növeli a költségeket, és környezetvédelmi szempontból is problémákat vet fel. A növénytermesztésben használt műtrágyák, elsősorban a nitrogén és foszforműtrágyák károsan hatnak a víz minőségére. A nitrogénműtrágyák az N₃-N-szennyezés révén a vizek nitrátosodását, a foszforműtrágyák pedig azok eutrofizációját segítik elő. Közvetetten növelik a légkör NO_x-tartalmát, ami a savas eső és savas ülepedés formájában visszakerül a talajra és az élővizekbe [Rakonczay 2004]. Ugyanakkor kétségtelen, hogy a talaj szerves C tartalmának fenntartásához szükség van növényi anyagokra, melyek a talajban bomlanak le, és bonyolult folyamatok során jön létre a humusz.

A talajjavításra fordítandó szalma és szár mennyiségekről is különböző szakirodalmi értékek jelennek meg, a szár tömegének 20-30%-a lenne optimális a legtöbb elemzés szerint [EBTP 2013, Mann et al., 2002, Kline 2010]. Az ideális állapot az lenne, ha a lignocellulózok nem közvetlenül, hanem almozásban történő hasznosítást követően jutnának a talajba, mert ebben az esetben a N tartalom is növekedne [Marosvölgyi 2015].

Hőenergia nyereség céljából az új technológiákat is figyelembe véve igen jelentős mennyiségű kukoricaszár áll rendelkezésre. A tüzelésre való hasznosítást azonban a kukoricaszár magas, 40–65%-os nedvességtartalma nagyon megnehezíti. A szár fűtőértékét jelentősen befolyásolja a nedvességtartalom, melynek nagysága nagyban függ a betakarítás időpontjától és a betakarításkor uralkodó időjárástól [Kocsis-Kelemen 2013] Így szakirodalmi források alapján eltérő értékek jelennek meg a fűtőértékre vonatkozóan, 10-13 MJ/kg között [Bakosné Diószegi – Solymosi 2008]. Kukoricaszárból készült pelletek vizsgálata során 10%-os nedvességtartalomnál 15,5 MJ/kg-os fűtőértéket mértek [Fábián 2010]. A Gödöllői MGI kutatásaiban foglalkozott a kukoricaszár bálázásával. Vizsgálataik alapján a nagyobb aprítás következtében a szárrészek vízleadó felülete megnövekszik, és az anyag gyorsabban szárad. A szárzúzó 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].

2014-ben 7,2 millió tonna kalászos gabona termett, ami az előző évinél 6,1%-kal több [KSH 2015]. A növekedést elsődlegesen a tenyészidőszak alatti kedvező időjárás tette lehetővé. Búzából 2014-ben 5,2 millió tonna termést takarítottak be. A kalászosok területének jellemzően 80-87%-án takarítják be a szalmát az utóbbi években, a kalászosok termésátlaga és a szalmahozam között gyenge-közepes összefüggés tapasztalható [Bai –Tarsoly, 2011]. Kalászosok esetében is eltérő szakirodalmi adatok jelennek meg a melléktermék, a szalma mennyiségére vonatkozóan, a szem-szalma arány alapján 1:0,5-1,2 közötti értékek [Sokhansaj 2011, Boris 2011, Pappné Vancsó, 2010]. Kistérségi vizsgálatok alapján Borsod-Abaúj-Zemplén megyében 1,7-3 t/ha mennyiségű szalmát takarítottak be, a 2006-2011-es időszakban [Bai et al, 2016]. A gabonaszalma betakarításkor a kukoricaszárhoz képest alacsony nedvességtartalmú, 15-20% közötti értékek jelennek meg, fűtőértéke 14,5-15,5 MJ/kg [Bakosné Diószegi – Solymosi 2008].

A napraforgó és repceszár is jelentős mennyiséget képvisel a mezőgazdasági melléktermékek között. Az utóbbi években a napraforgó termőterülete 600 ezer hektár körül alakult, a repcét 190 ezer hektáron termesztették [KSH 2015]. A repceszár hasznosításával a biodízel gyártás fellendülésekor kezdtek foglalkozni. A szár hektáronkénti mennyisége a termés kétszerese is lehet. Laboratóriumi vizsgálatok során foglalkoztunk a pelletként történő hasznosítással, hamutartalom és fűtőérték vizsgálatokkal. Ezek alapján a repceszár jelentős energiát tartalmaz, fűtőértéke betakarításkor 14-16 MJ/kg [Papp-Marosvölgyi, 2010]. A napraforgószárat aratás után teljes mennyiségben összezúzzák és beszántják, holott betakarítás után viszonylag alacsony nedvességtartalmú, zöldtrágyaként alkalmazva egyenesen káros [Bai et al, 2002].

Az alapanyagbázis becslés során nem csak azt szükséges felmérni, hogy mennyi melléktermék keletkezik a vizsgált területen, hanem azt is, hogy milyen konkurens felhasználó üzemek vannak, amelyek csökkenthetik a hasznosítható alapanyag mennyiségét. A mezőgazdasági melléktermékek fő hasznosítási területei a talajjavítás, az állattartás, az erőművek, a fűtőművek, bálátüzelésű kazánok, papíripar és biogáz üzemek.

7.1 Adatgyűjtés

Corine Land Cover felszínborítási térkép segítségével földhasználati kategóriák szerint határoztam meg a biomassza termőterületét. 2012-től, a COPERNICUS program keretében zajlik a GIO-land projekt. Fő feladatai a CORINE felszínborítás adatbázis 2012-es évre vonatkozó aktualizálása (CLC, 2012), valamint ezzel párhuzamosan 2006-2012 közötti felszínborítás változások keresése. Új elemként 5 ún. Nagyfelbontású Felszínborítás Réteg is készül teljes Európára. A CLC2012 adatbázisokat a 2014 őszén befejeződött GIO-Magyarország projekt keretében, az EEA finanszírozásával készítették el [Fömi, 2015].

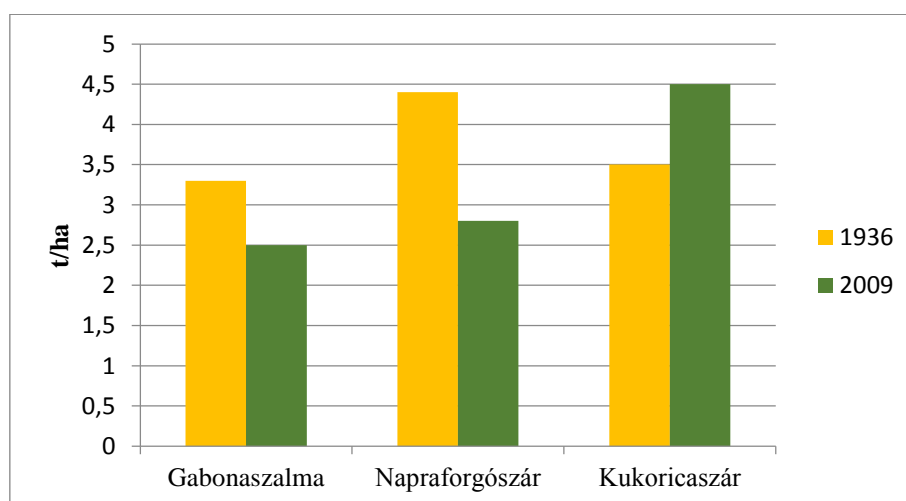
A standard EU CLC100 nomenklatúrából, az alábbiakat vettem figyelembe a munka során a térképek előállításához:

- Mesterséges felszínek: Ez a csoport elsősorban földhasználati osztályokat tartalmaz. Részletezi a lakott területeket, ipari területeket, közlekedési infrastruktúrát, bányákat, lerakóhelyeket és a városi zöld területeket.

- Mezőgazdasági területek: A kategóriából a szántóföldek, legelők, zártkertek, szőlő- és gyümölcs-ültetvények kerültek leválogatásra.

A mezőgazdasági növényi melléktermékek tömegének becslése, a termésátlagok meghatározása KSH táblázatok feldolgozásával és szakirodalmi adatok segítségével történt. A mezőgazdaságnál a termésmennyiségekkel, majd a szem-szár aránnyal határozható meg a keletkező melléktermék mennyisége [Boris et al. 2011]. Aszályos években a terméshozam, és így a melléktermék mennyisége is jelentősen csökkenhet, ezért öt éves termésátlagot (2010-2014) vettem alapul. Ebbe beletartozott egy erősen aszályos év is. Figyelembe vettem, hogy a betakarítás során mekkora a növény átlagos nedvességtartalma és ehhez mekkora fűtőérték tartozik. Ennek segítségével energiamennyiségben fejeztem ki az eredményeket. Figyelembe véve a felvevőpiacot és a konkurens felhasználókat, határoztam meg a potenciálisan agripellet előállítására felhasználható alapanyag éves átlagmennyiségét Magyarországon. A vetésforgó alkalmazása miatt, a mezőgazdasági melléktermékek mennyiségének becslése során ötéves országos átlagokat veszek figyelembe. A főbb növények leggyakrabban kétéves ciklusokban természetők ugyanazon a területen [Gyuricza 2006], olajnövények esetén ötéves ciklusok figyelhetők meg.

A melléktermékek mennyisége, a szárképzés a különböző fajták alapján is eltérő lehet. Magyarországon kukoricából és búzából is több száz fajtából választhatnak vetőmagot a termelők. Őszi búza esetén 66 magyar és 57 külföldi faj szerepel az állami fajlistán, azonban a területek 90%-án csak 20-25, jellemzően hazai fajtákat termesztnek [Beke 2007]. A fajtaszerkezet kialakításakor figyelembe kell venni a fajok ökológiai, agrotechnikai igényét, a fenntartható termesztés szempontjait és a gazdaságosságot is [Ágoston 2009]. Az időjárási körülmények, a csapadékos időszakok és az aszályos hónapok rendszeres megjelenését figyelembe véve el kell gondolkozni a vetett gabona fajtaszerkezet módosításán. Az elmúlt években ugyanis megfigyelhető, hogy a jelenlegi fajtaszerkezet a rendszeresen kialakuló szárazságot egyre kevésbé tolerálja [Szabó 2013]. A fő termékek mellett a mezőgazdasági melléktermékek, a szalma és szármennyiségek, a növénynemesítési folyamatok következtében is erős mennyiségbeli változáson mennek keresztül.



8. ábra: Szalma és szármennyiségek változása a növénynemesítési tevékenységek következtében, [Szalay-Palócz, 2013]

A gabonaszalma és a napraforgószár hektáronkénti tömege csökkenő tendenciát mutatott az elmúlt évszázadban, míg a kukorica esetében akár 1 tonnás növekedés is kimutatható. Oka, hogy a nemesítési tevékenységnek köszönhetően emelkedett a szár állékonysága. A szárszilárdság növelése - a veszteségmentes gépi betakarítás fontos követelménye. Azonban a dőlésmentes hibridkukorica és a nagyobb állománysűrűség termésmenővelő hatása csak a megfelelő tápanyag ellátottsági talajokon érhető el. Az 1922-től 1955-ig tartó időszakban elsősorban szerves trágyát alkalmaztak, a műtrágyák a felhasznált tápanyag csupán 5%-át tették ki. Az ezt követő időszakban azonban a szerves trágya és a felhasznált műtrágya aránya megváltozott, 85% lett a műtrágya és 15% az istállótrágya [Gombás, 2010] ezzel biztosítva a szükséges tápanyagellátást. Emellett a kukorica C4-es növény lévén a száraz, meleg klimatikus körülmények között is akár kétszerannyi szárazanyag előállítására képes, mint más C3-as gabonanövények [Pepó-Sárvári, 2011].

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 energiakonzentrációjuk miatt a szénát nem helyettesíthetik, ezért csak kisebb napi adagban etethetők eredményesen [Bokodi et al 2011]. 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 technológiák miatt. A használt alomanyag (jellemzően szalma) mennyisége, a telepen alkalmazott tartástechnológiától függ. 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 J. 2012].

A szakirodalmi adatokkal, valamint a Magyarországi állatállomány adataival számolva határoztam meg az évente átlagosan almozásra használt szalma mennyiségét. 2015. júniusi KSH adatok alapján 30 ezerrel emelkedett a szarvasmarhák száma. A sertések száma 64 ezerrel több az egy évvel korábbinál. A baromfi ágazatban is gyenge növekedés figyelhető meg [KSH 2015]. Az állatállomány éves alomszükségletét az 6. táblázat mutatja be.

6. táblázat: Az állatállomány átlagos éves alomszükséglete

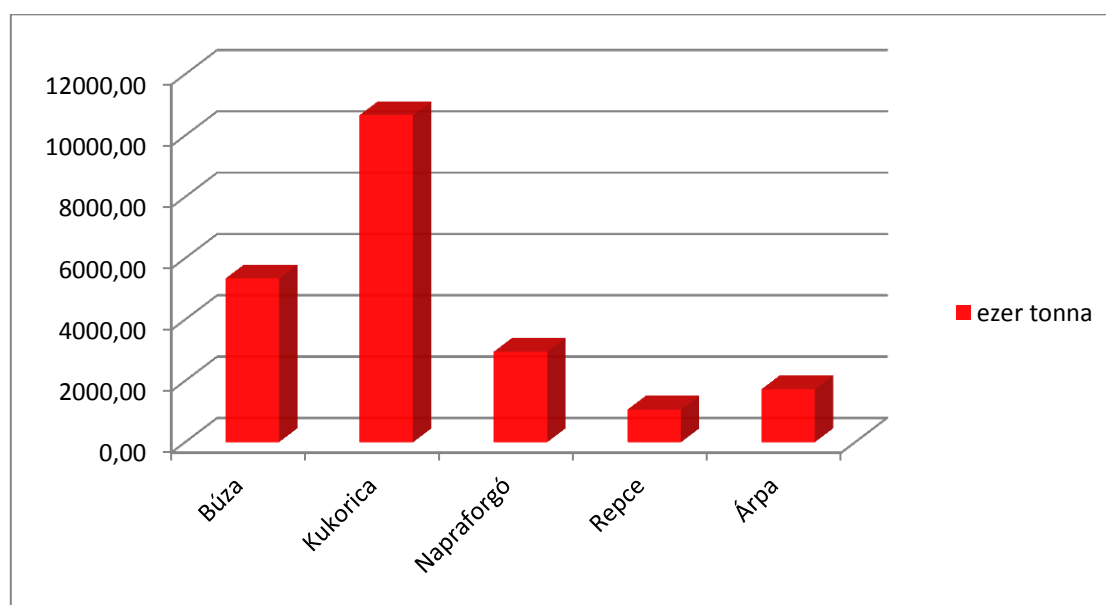
Gazdasági állatok	Szalma az aljzásra		Összes alomszükséglet [t/év]
	[kg/db/nap]	[kg/db/év]	
Szarvasmarha ágazat	3,8	1400	1 145 760
Sertéságazat	1,4	511	104 106
Juhágazat	1,1	220	264 110
Baromfiágazat	-	3,3	124 896

[Maga J. 2012, KSH (2010-2015) állatállomány adatai alapján]

Az országban vizsgált 27 biogáz üzem közül, csak három-négy olyan működik, amely valamilyen növényi szárat vagy szalmát hasznosít, mint kiegészítő alapanyag [AVE T. 2013, Solti Biogáz. 2014, ELMIB 2010]. Jövőben ezek bővülése várható, azonban a vizsgált rendelkezésre álló alapanyagok mennyiségét, egyelőre nem csökkentik jelentős mértékben. Papíripari szalmaszükséglet hazánkban csak a Dunacell Kft.-nél van, évi 30 ezer tonna [Koltai 2012].

Az erőművek, fűtőművek, egyre nagyobb mennyiségben hasznosítanak apríték és faipari melléktermékek kiegészítésére erdészeti, mezőgazdasági melléktermékeket, gyümölcsfa és szőlővenyige nyesevéket. Pécsen már kifejezetten mezőgazdasági melléktermékekre, elsősorban szalmára alapozott bálátüzelés folyik, éves szinten 240 ezer tonna mezőgazdasági mellékterméket felhasználva [PannonP. 2015]. 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].

Összegezve az öt éves (2010-2014) termésátlagok, szem:szár arány adatokat a kukoricatermesztés során évente átlag 10,6 millió tonna melléktermék keletkezik az országban. A búzaszalma mennyisége is jelentős, több mint 5,3 millió tonna. A kalászos gabonák közül az árpa szalma is nagy mennyiségű, évente átlagosan 1,7 millió tonna. Az olajos növények melléktermékei közül a napraforgószár és tányér keletkezett a legnagyobb mennyiségben, azonban a betakarítás nehézségei miatt az energetikai hasznosítás egyelőre kérdéses. A repceszár mennyisége is jelentős, 1,1 millió tonna, betakarítása a búzaszalmához hasonló. A szár pelletálására és energetikai laborvizsgálatára külön fejezetben térek ki.



9. ábra: Évente keletkező vizsgált növényi melléktermékek mennyisége Magyarországon (2010-2014 átlaga)[Papp-Szalay-Gaál 2016]

A hasznosítható mennyiségeket nagyban befolyásolja, hogy begyűjtésre kerül-e a melléktermék. Feltételezhető, hogy a technológia fejlődésével a kukorica-és napraforgószár is egyre nagyobb területekről betakarítható. Régebbi kutatások szerint a kukoricaszár szinte

teljes mennyisége eltűzelhető lenne, ha begyűjtésre kerül, míg a búzaszalma körülbelül fele lenne hasznosítható energiatermelésre [Barótfi, 2008]. Egyes elemzések szerint, az évente keletkező kukorica és napraforgószár 50%-a hasznosítható, míg búzaszalma esetén körülbelül 25-30% [Pappné Vancsó 2010]. Figyelembe véve a talajjavításra fordítandó, az állattartás során megjelenő, és a konkurens felhasználók által hasznosított mennyiségeket határoztam meg az elméletben rendelkezésre álló melléktermékek éves potenciálját.

7. táblázat: Magyarországon keletkező mezőgazdasági melléktermékek energia tartalma

	Évente keletkező [PJ]	Energetikai célra hasznosítható [PJ]
Kukoricaszár	128,0	62,0
Búzaszalma	66,7	26,7
Napraforgószár	33,9	16,5
Repceszár	14,8	7,1
Árpa szalma	19,8	8,2

Az évente átlagosan keletkező mezőgazdasági melléktermékek energiataralma 260 PJ, melyből a konkurens felhasználók és a talajjavításra fordítandó mennyiségek levonása után körülbelül 110 PJ lenne hasznosítható. Aszályos években, nem csak a terméshozam, de a melléktermékek mennyisége is jelentősen csökkenhet. Az utolsó erősen aszályos évben 2012-ben a kukorica termésátlagai 40%-kal, a búzáé 30%-kal csökkentek az átlagértékhez képest, ezzel együtt a melléktermékek mennyisége is jelentősen lecsökkent, ami kockázatot jelenthet egy nagyobb üzem alapanyag ellátása szempontjából. A vizsgálatok szerint az állattartásban évente 1,64 millió tonna szalmaszükséglet jelentkezik, és az állatállomány gyenge növekedése várható a következő években. A konkurens felhasználók közül kiemelkedik a Pécsi Erőmű évi 240 ezer tonna mezőgazdasági melléktermék hasznosításával. Az alapanyag begyűjtése, több környező megyére, és horvát területekre is kiterjed. Az agripellet alapanyagai lehetnek az olajsajtolás melléktermékeiként megjelenő préselt napraforgó és repcemag is, azonban ezek hasznosítása elsősorban állati takarmányozásra irányul, az energetikai hasznosítás másodlagos. A napraforgó héj pellet vizsgálatára külön fejezetben térek majd ki. Az egyelőre kis területtel rendelkező lágyszárú energianövények is alapanyagul szolgálhatnak, energiafű és energianád termesztésével és pellet előállításával már korábbi kutatások is foglalkoztak [Pintér-Marosvölgyi 2011]. A mezőgazdasági melléktermékek iránt, a jövőben egyre nagyobb kereslet várható a bővülő biomassza hasznosító üzemek, és újabb technológiák miatt, ami komoly versenyt idézhet elő az alapanyagok piacán. A legtöbb elemző szerint az agripellet előállítás csak nagyüzemi szinten, minimum 800 kg/h [Szamosi 2012] illetve 1 t/h előállított mennyiség felett lehet jövedelmező [Blaskó 2010], ami éves szinten jelentős mennyiségű alapanyagot igényel. Ezért egy agripellet üzem létesítése előtt mindenképp célszerű kisebb körzetben vizsgálni a rendelkezésre álló melléktermékek mennyiségét, és a konkurens felhasználókat is.

8 Anyag és módszer, mérések bemutatása

A doktori munkám során számos energetikai vizsgálatot végeztem el különböző összetételű fás és lágyszárú, valamint ipari mellékterméket tartalmazó alapanyagokon, és az ezekből előállított tömörítvényeken. Szeretném összefoglalni a kutatások alapját képező szabvány szerinti vizsgálatokat, melyek egy részét a NyME EMK Erdészeti-Műszaki és Környezettechnika Intézet laborjában, illetve a NyME KKK Kooperációs Kutató Központ Ökoenergetika kutatásokba bekapcsolódva végeztem el. A pelletek mechanikai tulajdonságainak vizsgálatára a NYME SKK Faipari Gépészeti Intézet energetikai laborjában került sor. Ebben a fejezetben a mérések menetét szemléltetem, az eredményeket mindig az adott anyag vizsgálati részénél tüntetem majd fel.

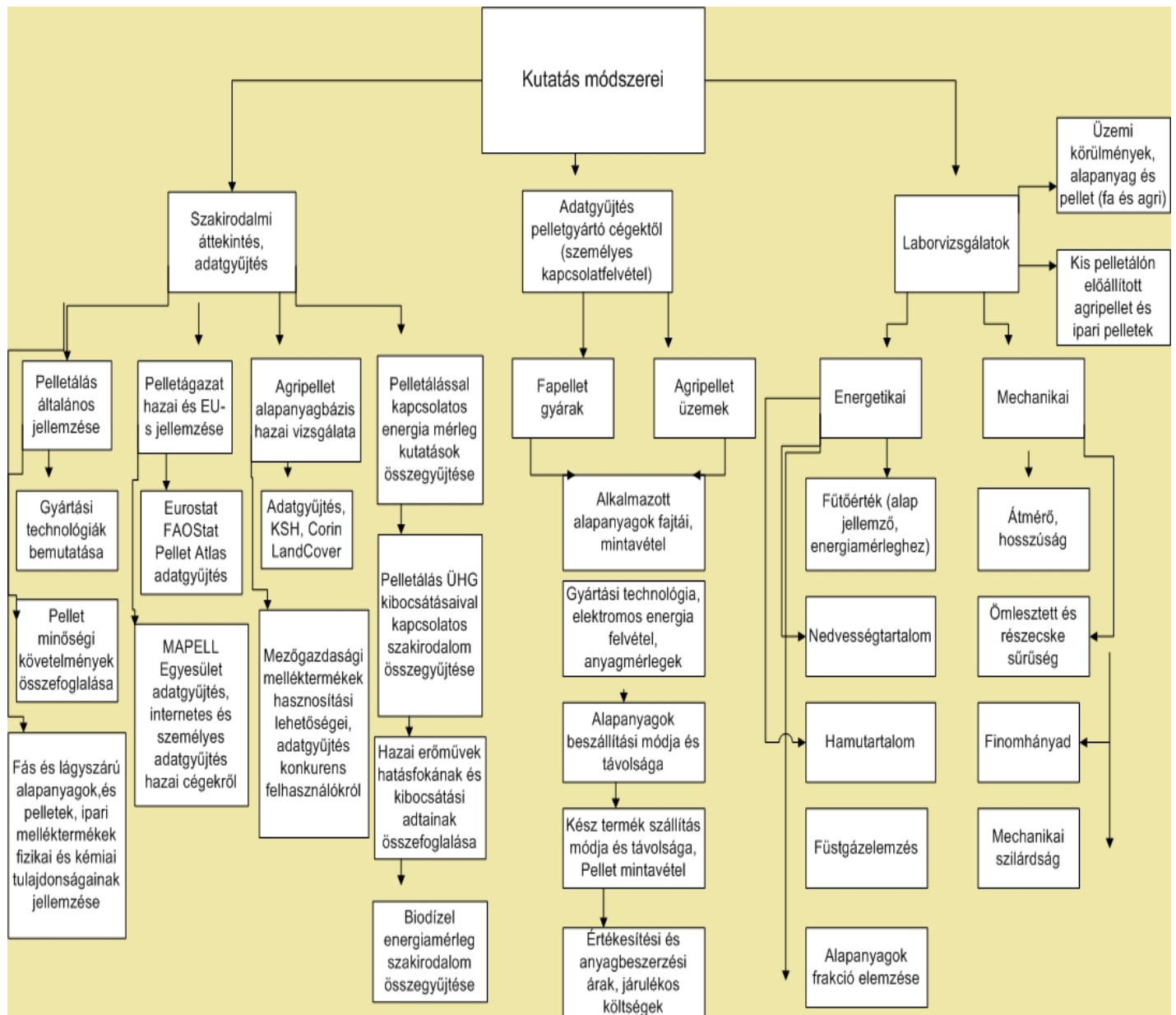
A kutatások egyik része a pelletüzemeknél történt vizsgálatokra, az energia felhasználás, a szállítási távolságok, valamint az alapanyagok és késztermék laborvizsgálatára terjed ki. Az agripellet és fapellet EROEI és ÜHG kibocsátás vizsgálatánál is az volt a célom, hogy minél több folyamatot figyelembe vegyek, mint például az eltérő beszállítási módokat és távolságokat, a gyártás primer energia igényeit, a kész-termék szállítását valamint a felhasználás hatásfokát és energia igényét. A munka másik területe kísérleti pelletáló berendezésen előállított agripelletek és ipari pelletek energetikai vizsgálatával foglalkozik. A szakirodalmi és saját kutatási részek kapcsolódását, illetve a különböző méréseket a könnyebb áttekinthetőség miatt egy folyamatábrán szemléltetem.

Az energia mérleg vizsgálatához a villamos energiafogyasztást egységnyi tömegre vonatkoztatva a különböző üzemeknél villanyóra leolvasása alapján határoztam meg, az óránként gyártott pellet tömegének ismeretében. Ahol lehetőségem volt, és az üzem almérőkkel felszerelt a főbb technológiai elemeket is külön tudtam választani. Fontos, hogy a villamos energiáknál a primer energia igényt is figyelembe vettem, a hazai erőművek 35-37%-os hatásfoka alapján a számolásokba 2,7-2,8 közötti értéket.

A mért, illetve számított értékek felhasználásával határozhatjuk meg a legfontosabb fajlagos energetikai mutatókat:

- az energia hatékonysági mérleg (a termék energiatartalma a bevitt primerenergia 1t termékre vonatkoztatva);
- az energetikai hatásfok (a termék energia bevitellel csökkentett energiatartalma / a termék energiatartalma *100) % [Sembery-Pecznik 2002]

Az energiafogyasztás mellett, ismernünk kell tehát a kinyerhető energia mennyiségét is, melyet a fűtőérték vizsgálatával határoztam meg. A termék energiatartalmához mérten jelennek meg ez esetben az energetikai mutatók. Mivel célom egy komplex energia mérleg vizsgálata, a pellet tüzelés során a hatásfokot is vizsgálni kell. A füstgázelemzési vizsgálatok és szakirodalmi adatok alapján határoztam meg különböző pelletek (fa, repceszár, repceszár-búzaszalma keverék) CO kibocsátását és a hatásfokot. A kibővített energia mérleg eredményeit a 10.5. fejezetben mutatom be.



10. ábra: Kutatás módszerei, mérések bemutatása

8.1 Kaloriméteres mérés

Egy kaloriméter működésének lényege, hogy égés következik be meghatározott körülmények mellett. Ehhez a feltáráredénybe egy megmért tüzelőanyag mintát kell tenni, majd meg kell gyújtani és közben a gép méri a kaloriméter hőmérsékletének növekedését. A minta fajlagos égéstermékét a következőkből számolható:

- a tüzelőanyag minta súlya
- a kaloriméter rendszer hőkapacitása (C-érték)
- a víz hőmérséklet növekedése a mérőcella belső tartályában

Az égési folyamat optimalizálásához a feltáráredényt tiszta (99,95%) oxigénnel meg kell tölteni. Az oxigén atmoszféra nyomása a feltáráredényben max. 30 bar. Egy anyag égéstermékének egzakt meghatározása feltételezi, hogy az égés pontosan meghatározott

körülmények között megy végbe. A vonatkozó szabványok az alábbi feltételekből indulnak ki:

- A tüzelőanyag hőmérséklete az elégés előtt a beállított módtól függően 25 °C, 30 °C.
- A tüzelőanyagban az elégetés előtti víztartalom és az elégetésnél a tüzelőanyag hidrogéntartalmú vegyületeiből keletkező víz az elégés után folyékony halmazállapotban van.
- Nem következik be a levegő nitrogéntartalmának oxidálása.
- Az elégés után a gáz állapotú termékek oxigénből, nitrogénből, széndioxidból és kéndioxidból állnak.
- Szilárd anyagok is képződhetnek pl.:hamu

Gyakran nem csak olyan égéstermékek képződnek, amelyekből a szabványok kiindulnak. Ilyen esetben meg kell elemezni a tüzelőanyag mintát és az égéstermékeket, ami adatot szolgáltat korrekciós számításokhoz. A szabványos égésterméket ezután a mért égéstermékből és az elemzési adatokból tudjuk meg.

Az égéshő, vagy felső fűtőérték egy szilárd vagy folyékony anyag tökéletes égésénél keletkező hőmennyiség és a tüzelőanyag minta súlyának hányadosa. Itt a tüzelőanyag víztartalmú vegyületének az elégés után folyékony állapotban kell lenniük.

Az alsó fűtőértéket úgy kapjuk meg, hogy az égésterméket csökkentjük a tüzelőanyagban lévő és az égés által képződő víz kondenzációs energiájával. Ez a szám, amit fűtőértéknek is hívnak, a műszakilag fontosabb mérőszám, hiszen ezt lehet energetikailag kiértékelni.



11. ábra: Kaloriméter IKA C-2000

A rendszerből adódóan egy égetési kísérletnél nem csupán a minta elégetéséből képződik energia, hanem idegen energiából is van hő. A pamutszál elégetési hője, ami a mintát meggyújtja és az elektromos gyújtóenergia hamisítja a mérést. Ezt a hatást a számításnál

korrekciós értéként kell figyelembe venni. Egyéb idegen energia lehet az égetési segédanyag, illetve a kénsav és salétromsav képződés.

Az égéstermék helyes meghatározásához alapvető követelmény, hogy a minta tökéletesen elégjen. Minden kísérlet után a tégelyt és a szilárd maradékot meg kell vizsgálni a tökéletlen égés nyomaira. A műszer maximális méréstartománya 40000 J, mérési pontossága pedig 0,05% [IKA-kaloriméter rendszer kezelési utasítása].

A méréshez szükséges minta előkészítése, tömegének meghatározása:

A vizsgálandó anyag szerkezetét tekintve lehet: apríték, fűrészpor, tömörítvény vagy folyadék is. Nagyobb méret esetén a mintát darálóval aprítani, majd homogenizálni kell. Ha szükséges, a mintát pasztillaprés segítségével mérés előtt pasztilláljuk. A vizsgálandó minta tömegét úgy kell megválasztani, hogy a reakció során a kaloriméter-edényben lévő víz melegezése kb.: 2-3 °C legyen. Biomassza esetében, a kalibrálásnál alkalmazott etanolanyag bemért tömegétől függően 0.5-1.0 g mintát kell analitikai mérlegen bemérni. A mintát a mintatartó tégelybe helyezzük el úgy, hogy a gyújtófonál beleérjen a mintába.

8.2 Az égéshő és fűtőérték meghatározása

Égéshőnek nevezzük azt a hőmennyiséget, mely az egységnyi tüzelőanyag tökéletes égésekor felszabadul, az alábbi feltételek mellett:

- a tüzelőanyag és a levegő hőmérséklete égetés előtt és után is 298 K legyen,
- a tüzelőanyag széntartalma szén-dioxiddá, kén tartalma kén-dioxiddá égjen el,
- a tüzelőanyag és a levegő nedvességtartalma, valamint a hidrogén elégetéséből származó víz az elégetés után 298 K-en cseppfolyós halmazállapotú.

A vizsgálatot az MSZ EN 14918 alapján végeztem el, egy IKA 2000C típusú bombakaloriméter segítségével. A vizsgálat során a műszer segítségével közvetlenül az égéshő értékét kapjuk meg. A fűtőérték számítását ezt követően a következő képlet segítségével lehet meghatározni.

1.képlet

$$F_{\text{fűtőérték}}(F) = \frac{\dot{E} - \left(\frac{2447 \cdot (U + 9 \cdot H)}{100} \right)}{1 + \frac{U}{100}} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

ahol:

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

U – a vizsgált anyag bruttó nedvességtartalma [m/m %]

H – a vizsgált anyag hidrogéntartalma [~6 m/m %]

A fűtőérték meghatározása energetikai szempontból a legfontosabb kérdés. A különböző anyagok és a belőlük készült tömörítvények energia tartalma alapján határozható meg az energia hatékonyság, ezért az energia mérleg vizsgálatához minden esetben szükség van az alapanyag és kész-termék fűtőértékének ismeretére. A kaloriméteres méréseket különböző fa-alapanyagokon és pelleten, mezőgazdasági melléktermékeken, valamint ipari

melléktermékeken és a belőlük készült tömörítvényeken is elvégeztem. A mérési eredményeket az adott anyag vizsgálati fejezeténél tüntetem fel.

8.3 Hamutartalom és nedvesség tartalom mérése

A hamutartalom energetikai szempontból fontos jellemző, a tüzelő berendezések kialakítása miatt is lényeges. A fapellet hamuja alacsony, általában 0,5% alatti érték, míg a lágyszárú növényekből készült agripelletek magasabb, 3-10% körüli hamutartalommal rendelkeznek. A biomasza energetikai hasznosítása során keletkező éghetetlen salak, a nagyobb teljesítményű tüzelő berendezéseknél is speciális üzemeltetési gondokat vethet fel. Ez egyrészt tüzelőberendezés károsodásával, másrészt a nagy mennyiségben keletkező hamu elhelyezésével kapcsolatos.

A hamutartalom agripelletek és ipari melléktermékből készült tömörítvények esetén is kiemelten fontos. A kazánfejlesztők ún. mozgó rostélyos kialakítással oldják meg a hamu lerakódás problémáját. Ezen problémák elsősorban a tüzelőanyag megtermelése és betakarítása során a talajból a biomasszába beépülő kémiai elemek jelenlétével és azok hatásával magyarázható. A környezetkímélő eltüzelés szempontjából elsősorban a N-, Cl- és S-tartalom érdekes, míg tüzeléstechnikai szempontból – főleg a salaklágyulás és –olvadás – az alkáli (Na, K) és alkáli földfémek (Mg, Ca) jelenléte lényeges [Marosvölgyi 2006]. Szálas takarmányok eltüzelésekor a fatüzeléshez képest több a salak, nagyobb a N-, Cl- és K-tartalom, valamint alacsonyabb a salakolvadási hőmérséklet. Mindez megnöveli az emissziót és az üzemeltetési kiadásokat.

Vizsgálat menete:

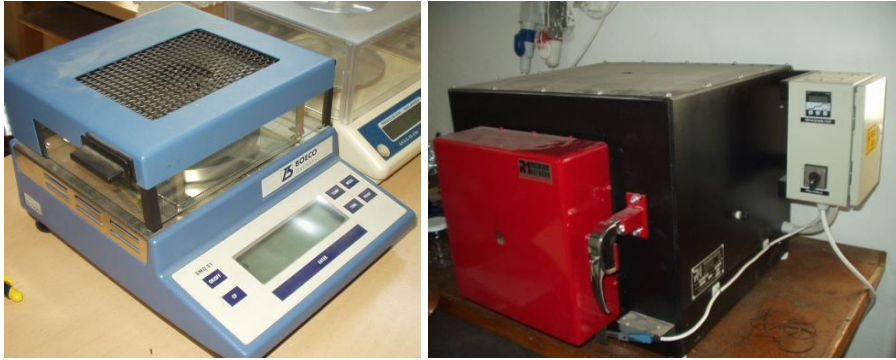
- Nedvességtartalom mérése, anyag szárítása
- Száraz anyag bemérése analitikai mérlegen
- Égetés izzító kemencében
- Hamu visszamérése analitikai mérlegen

Hamutartalom számolása a következő képlettel:

2. képlet

$$AS\% = \frac{m_0}{m_1} \cdot 100,$$

ahol AS-hamutartalom, m_1 - a száraz minta tömege, m_0 –hamu tömege.



12. ábra: Nedvesség tartalom mérő (Boeco SMO 01) és izzító kemence(Thermo PR)

Tüzeléstechnikai szempontból a nedvességtartalom az egyik legfontosabb tulajdonság, hiszen szoros összefüggésben van a fűtőértékkel [Marosvölgyi 2006]. A nedvesség tartalom meghatározása a pelletálás miatt is lényeges, ha túl magas, vagy túl alacsony akkor a pellet töredezik, szétesik. Az optimális nedvességtartalom 10-12% körüli. Pelletálás után a nedvesség tartalom valamennyit csökken, előírás szerint, szabványban meghatározva 10 % alatt kell lennie. A kutatások során a pellet alapanyagok és a kész pellet nedvesség mérését minden esetben elvégeztem.

Négyféle nedvességtartalmat lehet megkülönböztetni:

- durva nedvességtartalom: fizikai erők: felületi adszorpció, keveredés (eltávolítása - természetes száradással, szárítással)
- egyensúlyi nedvességtartalom: légszáraz, 100 °C felett távozik el (fizikai és kémiai erők: kolloid oldat, kapilláris nedvesség)
- analitikai nedvességtartalom: megegyezés szerinti hőmérsékleten (általában 105 °C-on) eltávolított nedvességtartalom,
- szerkezeti nedvességtartalom: csak a vegyületek szétbontásával, magas hőmérsékleten távolítható el.

A laboratóriumi mérések során az analitikai nedvességtartalom kerül meghatározásra. A szilárd biomassza alapú tüzelőanyagok nedvességtartalmának meghatározását az MSZ EN 14774 szabványsorozat írja le.

Mérés menete:

A vizsgálatok során BOECO SMO 01 típusú automatikus nedvességmérőt alkalmaztam. A nedvességmérő műszer mintatartójára mintát helyezünk, majd 105 °C-on szárítjuk tömegállandóságig egy, a műszerbe épített fűtőszál segítségével. A szárítás előtti és utáni tömegértékek segítségével közvetlenül meghatározhatjuk a pellet nedvességtartalmát.

Elméleti meghatározás:

$$3. \text{ képlet } n = (m_n - m_{sz}) / m_n \cdot 100 \text{ [\% v.g/g]}$$

m_n : a nedves minta tömege, m_{sz} : a minta szárazanyagának tömege

8.4 A finomhányad meghatározása („F”)

A pelletek tüzeléstechnikai szempontból fontos vizsgálata a finomhányad meghatározása. Ha túl nagy a finomhányad, az égés során problémák léphetnek fel, megváltozik a füstgáz-összetétel, csökken a hatásfok. Egy ISO 3310-2 szabvány alapján készült perforált kivitelű szitát kell használni – az MSZ EN 15210-1 szabvány alapján – a pellet szitálására, a finomhányad (az ún. „morzsalék”) meghatározására.



13. ábra: A finomhányad meghatározása, szitálás

A körülbelül 1,2 kg tömegű mintából a szita segítségével néhány körkörös mozdulattal manuálisan kell eltávolítani a morzsalékot, melyet a következő képlettel tudunk számolni:

4. képlet

$$F = 1 - \frac{m_A}{m_E} \text{ [\%]}$$

ahol:

F – finomhányad [%]

m_E – minta tömege szitálás előtt [g]

m_A – minta tömege szitálás után [g]

8.5 A pelletek mechanikai ellenálló képessége („DU”)

A pelletek mechanikai tartósságának meghatározását az MSZ EB 15210-2 szabvány írja le. A mérés a szabvány előírásainak megfelelő, NYME SKK Gépészeti és Mechatronikai Intézet saját fejlesztésű berendezésével történt. A 500 ± 10 g pelletet – melyet előzetesen a 3,15 mm-es perforált kialakítású szitán le kellett szitálni és mérlegelni – betöltjük a 14. ábrán látható pellet tesztelő berendezésbe, majd ezt követően 10 percig 50 ± 2 1/min fordulatszámmal megforgatjuk a mintát [Németh G. 2014]. Az igénybevételt követően a szitába töltött pelletet ismét enyhén leszitáljuk, majd visszamérjük a tömegét.



14. ábra Mechanikai ellenálló képesség mérése

A mért két tömeg és a következő képlet segítségével meghatározzuk a pellet mechanikai ellenálló képességét:

5. képlet

$$D_U = \frac{m'_A}{m_E} \quad [\%]$$

ahol:

D_U – mechanikus szilárdság [%]

m_E – 3,15 mm felett pellet tömege igénybevétel előtt (szitálás után) [g]

m'_A – 3,15 mm felett pellet tömege igénybevétel után (szitálás után) [g]

8.6 A pelletek hosszúsága és átmérője

A pelletek esetén fontos követelmény – az EN 14961-2 felhasználásával készült ENplus ajánlás alapján –, hogy 3,15 és 40 mm között legyen azok közepes hosszúsága. A pelletek hosszúságát számos tényező befolyásolhatja. A szemcseméret, a nedvesség, és legfőképp az anyagi összetétel. Fapelletek előállításánál gyakran alkalmaznak kukorica keményítőt is, ezzel csökkentve a finomhányad részt, valamint segítségével beállítani a megfelelő

hosszúságot. A doktori munkám során fapelleteken, agripelleten és ipari melléktermékből készített pelleteken is elvégeztem a hosszúság és átmérő méréseket. A vizsgálatokat 80–100 gramm mintában található összes pelleten el kell végezni, egyszerű tolmérő segítségével. A mérési bizonytalanság meghatározásának kiemelkedő fontossága van a hosszúság mérése során, hiszen a középhosszúság mérési helyének szubjektív meghatározása, valamint a mérésből adódó egyéb véletlen mérési hibák jelentős abszolút hibát eredményezhetnek. Németh 2014-ben publikált faanyagú pellet vizsgálatával foglalkozó kutatásai alapján a számított összesített hiba $\pm 1,66$ mm lett (belevéve a műszer 0,02 mm-es hibáját is). Ennek jelentősége abban rejlik, hogy megmért pellet típusok esetén nem célszerű egyszerűen elfogadni az átlagként kapott eredményeket, hanem szükséges a mérési hibával együtt megadni az átlagos hosszúsági értékeket [Németh G. 2014].

8.7 Térfogatsűrűség (ún. telítési tömörség, „BD”)

A pellet szállítása során fontos paraméter a térfogati sűrűség. Az MSZ EN 15103 alapján egy mérlegre és egy szabványos 5 literes tartályra van szükség a vizsgálathoz.



15. ábra Pelletek térfogati sűrűségének mérése

A következő képlet alapján ezt a paramétert a mért értékek figyelembevételével ki lehet számolni:

6. képlet

$$BD_{ar} = \frac{(m_2 - m_1)}{V} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

ahol:

BD_{ar} – az átvett minta (felhasználási nedvességtartalmú) térfogatsűrűsége

m_1 – a tartály tömege [kg]

m_2 – a minta és a tartály együttes tömege („telített” tartály tömege) [kg]

V – tartály térfogata [m^3]

8.8 Pellet alapanyagok, darálás utáni frakcióelemzése

A pelletálási folyamathoz szükséges frakció előállítása kalapácsos daráló segítségével történik. A különböző alapanyagok, fás és lágyszárú növények darálás utáni frakció eloszlása változó, és meghatározza, befolyásolja a pelletek minőségét. A darálás energia igénye is változó, a különböző frakcióméretet, illetve különböző alapanyagok esetén. Ezért is fontos a tömörítés előtti frakciók eloszlásának vizsgálata. A méréshez pontosan bemért tömegű anyagot, szitarázó készülékbe helyezünk. CISA BA típusú szitarázó készüléket használtam (beállítások: rázási idő 10 perc, amplitúdó 1,5 mm) – 0,063 – 0,2 – 0,5 – 0,8 – 1,0 – 2,5 mm-es szitasorozattal. A szítálás után az egyes frakciókat analitikai mérlegen visszamérjük, és a kiindulási tömeghez viszonyítva megadjuk a %-os eloszlást. Frakció elemzésnél gyakran a cumulált %-os eloszlást ábrázolják. Munkám során a fapellet üzemben fenyő alapú forgácson, valamint lágyszárú mintákon, és ipari melléktermékeken is elvégeztem a darálás utáni frakcióelemzést.

8.9 Füstgázelemzési vizsgálatok

A biomasza eltüzelése a legrégebbi energianyerési forma. A szilárd tüzelőanyag éghető és meddő részből áll. Éghető részek a szén /C/, hidrogén /H/ kén /S/ és foszfor /P/, nem éghető rész az oxigén /O/, a nitrogén /N/, a nedvességtartalom / H_2O / és a hamu /ásványi anyagok, karbonátok, szilikátok, foszfátok, szulfátok, oxidok stb./.. Égésnek nevezzük azt a vegyi folyamatot, melynek során valamely anyag magas hőmérsékleten hőfejlődés mellett egyesül a levegő oxigénjével.

A biomassza égése során égési szakaszok különíthetők el:

- $< 100^\circ\text{C}$, szárad/nedvességtartalom különválék/
- $100^\circ\text{C} < < 200^\circ\text{C}$, molekulák hasadása – gázképződés
- $225^\circ\text{C} <$, megkezdődik a folyamatos égés
- $260^\circ\text{C} <$, exoterm /spontán hőtermelő/ folyamat
- 1000°C körül az összes gáz már elég, a visszamaradó karbon égése [Nábrádi et al. 2002]

A tüzelőanyag energiatartalmának jó hatásfokú hasznosítása csak megfelelő tüzelőberendezések segítségével valósítható meg, amely biztosítja a tüzelőanyag és az égési levegő megfelelő keveredését, a szükség szerinti szabályozást és a tüzelőanyag lehetőség szerinti mindnél tökéletesebb égését. Elő kell segíteni a tüzelőberendezés megfelelő kialakításával a hőhordozó felé történő minél jobb hőátadást.

A nem megfelelően irányított tüzelési folyamat olyan nem kívánt termékek keletkezéséhez vezet, amelyek részben energetikai veszteséget okoznak, vagy káros hatást fejtenek ki a környezetünkre, így keletkezhet:

- korom: karcinogén,
- szénmonoxid: mérgező,

- nitrogén-oxidok: a talaj-közeli ózon koncentrációt növeli (mérgezés),
- szénhidrogének: üvegházhatás.

A nem kívánt mellékreakciók elkerülése érdekében a tüzelőberendezésbe a tüzelőanyag elégetéshez elméletileg szükséges levegőmennyiségnél több levegőt (légfelesleget) juttatunk be, és szabályozzuk a tüztér hőmérsékletét.

A légfelesleget csak a kívánt környezeti paraméterek eléréséig célszerű növelni, a túlságosan nagy légfelesleg energetikai veszteséget okoz. A mérések során látható, hogy a hatások hogyan változik a légfelesleg-tényező függvényében. A hatások meghatározása azért is volt fontos, mert a különböző anyagú pelletek jelentős eltérést mutatnak az égési tulajdonságokban, a hatásfokot pedig beépítettem az energia-mérleg számolásokba, a visszanyerhető energia mennyiségének meghatározásánál. A pellet tüzelés során, az előállított agri és fapelletek égési tulajdonságait is vizsgáltam, az eredményeket az adott anyag vizsgálati részénél tüntettem fel.

Elméleti levegő mennyiség

A tüzelőanyag elemi összetételének vagy a tüzelőanyagot alkotó szénhidrogén (CH) vegyület(ek) és mennyiségük ismeretében számítható az elméleti levegő igény:

$L_0(\text{Nm}^3/\text{Nm}^3)$ = a tüzelőanyag egységnyi mennyiségének tökéletes elégetéséhez szükséges levegőmennyiség a tüzelőanyag C, H és S tartalmának égése mellett.

Elméleti száraz füstgáz (V_0^{sz})

Az elméleti száraz füstgáz csak szén és kéndioxidot tartalmaz a nitrogéneken kívül, míg a nedves füstgáz vízgőzt is. Az elméleti füstgáz mennyiségét a tüzelőanyag egységnyi mennyiségére számítjuk (m^3 , kg).

Elméleti nedves füstgáz (V_0^{n})

Az elméleti nedves füstgáz a széndioxidon, kéndioxidon és nitrogéneken kívül vízgőzt is tartalmaz.

$$7.\text{képlet} \quad V_0^{\text{n}} = CO_2 + SO_2 + H_2O + N_2 \left[\frac{\text{Nm}^3}{\text{Nm}^3} \right]$$

Légfeleslegtényező (n vagy λ)

A ténylegesen felhasznált levegő (L) és az elméleti levegőmennyiség (L_0) hányadosa.

A légfelesleg-tényező alakulása a tüzelés egyes fázisaiban:

- 2,5-7 a begyújtási fázisban
- 1,5-2,5 az égési főfázisban
- 2,5-5 a leégési fázisban

Ténylegesen képződő (reális) füstgázmennyiség (V_{sz} , V_n)

Az eltüzelés során keletkező gáz halmazállapotú égéstermékét nevezzük füstgáznak. Beszélünk elméleti és valóságos száraz ill. nedves füstgázmennyiségről, attól függően, hogy a légfelesleg-tényezőt figyelembe vesszük-e. Mivel a tüzelőberendezések energetikai és környezetvédelmi okokból légfelesleg alkalmazásával égetik el a tüzelőanyagot, ezért a gyakorlatban keletkező füstgáz mennyisége meghaladja az elméleti füstgáz mennyiséget, amely a tüzelőberendezés és a füstgáz elvezető-rendszer méretezésénél fontos tényező.

Ténylegesen keletkező száraz füstgázmennyiség

$$8. \text{ képlet } V^{sz} = V_0^{sz} + L_0(n-1) \left[\frac{Nm^3}{Nm^3} \right]$$

Ténylegesen keletkező nedves-füstgázmennyiség:

$$9. \text{ képlet } V^n = V_0^n + L_0(n-1) \left[\frac{Nm^3}{Nm^3} \right]$$

A biomasszák égése során, a tüzelőanyag minőségétől, valamint az alkalmazott tüzelő berendezéstől függően CO is megjelenik a füstgázban. Levegőhiányos égésnél, jelentősen nő a szén-monoxid tartalom a füstgázban a kevés oxigén miatt. A szén-monoxid képződése lényegesen gyorsabb, mint a szén-monoxid további oxidációja, így ha kevesebb a levegő először megtörténik a szén-monoxid képződés, majd a maradék oxigén függvényében képződik a szén-dioxid.

Növekvő légfelesleg esetén a füstgáz szén-monoxid koncentrációja újra növekedésnek indul. Ennek két oka is van. A növekvő mennyiségű levegő csökkenti a lánghőmérsékletet ezért a szén-monoxid szén-dioxiddá történő oxidációja lelassul. Továbbá a megnövelt levegő térfogatáram a konstans tüztér térfogat miatt a füstgáz tüztérben való tartózkodási idejét lecsökkenti, ezért nem marad elég idő a szén-monoxid \rightarrow szén-dioxid átalakulásra [Tüzeléstechnika 2010].

9 A fapellet előállítás energia igényének vizsgálata

Az energetikai tömörítvények előállítása során fontos kérdés, mennyi energiát fektetnek az előállítási folyamatba, és mennyi energiát nyerhetünk vissza. Számos tanulmány foglalkozott a pelletálás energiamérlegének vizsgálatával, [Jannasch et al. 2001, Pastre 2002, Sokhansaj 2006, Adapa et al. 2011, Hagberg L. 2009, Mann M. 2004, Kocsis Z. 2014, Németh G. 2016, Szamosi 2014, Papp-Marosvölgyi 2011] azonban közülük csak kevesen térnek ki az anyag beszállításának és a felhasználó helyig történő szállításának energia igényére is. További probléma, hogy sok esetben nem veszik figyelembe a primer energia-igényeket, ami véleményem szerint, ha egy folyamatot egészében szeretnénk vizsgálni, az egyik legfontosabb kérdés. Természetesen a különböző technológiák eltérőek az energiafelhasználás területén, valamint számos egyéb tényező is befolyásolja az eredményeket. Ilyen például az alapanyag nedvessége, anyagi összetétele, fűtőértéke, mérete. Kell-e szárítási technológiát alkalmazni, előaprítást, mekkora a pelletálás előtti szemcseméret, stb. Így nem meglepő, hogy a különböző tanulmányokban eltérő értékek jelennek meg az energiahatékonyságra, vagy az EROEI - energy returned on energy invested- (a visszanyerhető energia és a befektetett energia) értékekre vonatkozóan. Pellettek esetében az EROEI érték 8-25 köré tehető attól függően, hogy alkalmazni kell-e szárítást vagy sem [Németh G. 2016]. Optimális esetben, a faanyagot a fafeldolgozás technológiai igényének megfelelően szárítják, és a keletkező forgács, mint melléktermék jelenik meg a faiparban. Ezért véleményem szerint a forgács előállításának energia-igényét ebben az esetben nem kell figyelembe venni a pelletálás vizsgálata során. Németh G. kutatásaiban rávilágított arra, ha ez az érték a pelletálási folyamatba lenne beleszámolva, az EROEI érték 6-7-re esne vissza. Ebben az értékben még nem jelenik meg a pellet kazánok és kályhák energia igénye, hiszen automatikus működésük során, szintén energiát használnak fel. Eddigi kutatásaim során nem találtam egyetlen olyan tanulmányt sem fa sem agripelletre, ami figyelembe venné az egész gyártási, szállítási és felhasználási folyamatot, és így egységnyi tömegű előállított pelletre határozná meg a primer energia-mérleget.

Doktori munkám során először a petőházai fapelletet gyártó Pellet Product Kft-nél vizsgáltam az alap gyártási technológia, majd a szállítás energia igényét. Az alapanyag bázis bővítése miatt ma már darabos raklapot is felhasználnak, így egy előaprító berendezést is alkalmaznak. A beszállítási távolságok is változóak, az alapanyagul szolgáló fenyőforgács nagy része a közeli 7 km-re lévő Velux üzemből származik, kisebb részét azonban Zalahalápról, és Szlovákiából, 150 km-ről szállítják be. A darabos faanyag a Gartenpro cégtől 7-km-ről érkezik. A cég egyelőre nem rendelkezik szárító berendezéssel, ami jelentősen korlátozza a felhasználható anyagok körét. A szárítási technológia energia igényére szakirodalmi adatok összegyűjtésével, illetve egy ceglédi üzem példája alapján térek majd ki.

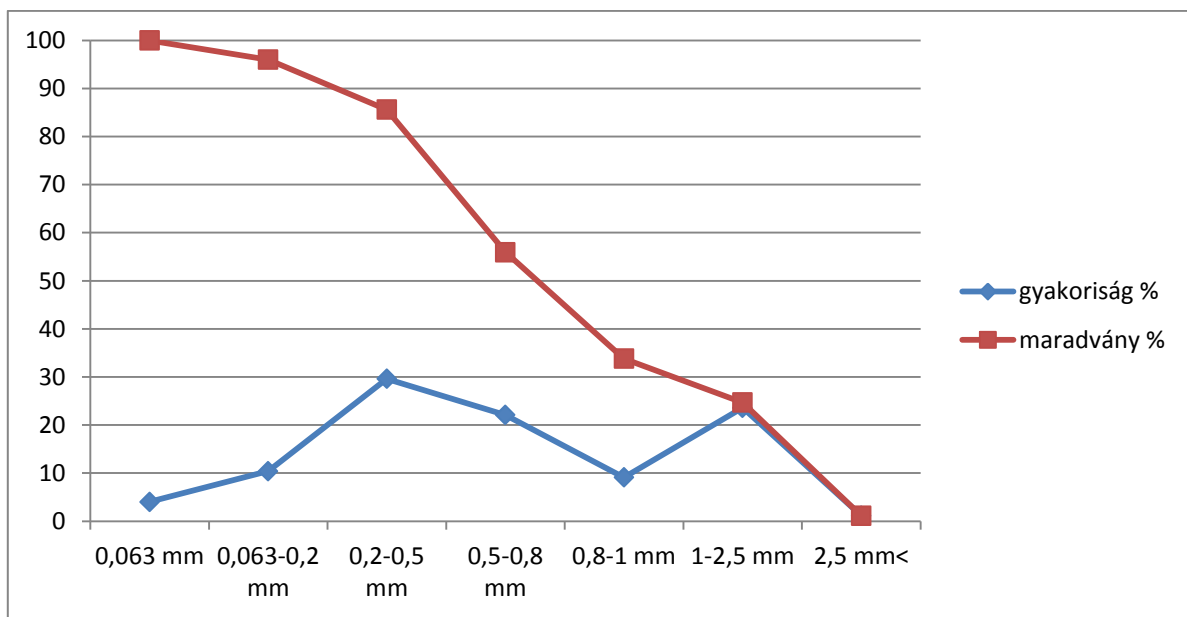
A kutatások egyik fontos területe az energetikai elemzés, amelyben először a pelletálás ill. brikettálás legkisebb energiafelhasználásával kapcsolatos vizsgálatokat végeztem el a felhasználóhelyig történő szállítás nélkül. A brikettálás szintén egy tömörítési eljárás, de sokkal egyszerűbb, mint a pellet előállítása. Formája lehet hengeres vagy szögletes alakú, átmérője 4cm-től 12-ig, hossza 10-35cm között változik. Égetéséhez nincs szükség speciális

tüzelőberendezésre, hagyományos kályhákban, kandallókban is felhasználható. Természetes alapanyagokból (faporok, faforgács, faapríték, mező- és erdőgazdasági melléktermék, energiafa) készül - idegen kötőanyagot nem tartalmaz,- nedvességtartalma 10-13% ezért könnyebben és jobb hatásfokkal ég, mint a hagyományos tűzifa.[Kocsis Á. 2010] A kutatás során meghatároztam a gyártási folyamatok energiahatékonyságát, valamint az energetikai hatásfokot. A pellet gyártási technológia elemeit külön fejezetben mutattam be, így erre itt most nem térek ki. Első célom az energetikai jellemzők értékelése volt. Ehhez, vizsgáltam az alapanyag és a termék energetikai jellemzőit, valamint a villamosenergia-felhasználást a fontosabb műveleteknél és összesen. Figyelembe vettem az alkalmazott anyagmozgató gépek üzemanyag fogyasztását is. Az energetikai jellemzők meghatározása laborvizsgálatokkal történt. A fűtőérték méréséhez kaloriméteres mérésekre volt szükség. A pellet, brikett és az alapanyag nedvességtartalmának meghatározására is sor került, valamint a különböző nedvességtartalmú, illetve száraz alapanyag fűtőértékét is vizsgáltam. A hamutartalmat izzító kemencében való égetéssel és visszaméréssel határoztam meg. A táblázatban jól látható, hogy a fenyőforgácsnak köszönhetően mindkét termék magas fűtőértékkel rendelkezik, a hamutartalmuk pedig nagyon alacsony, még az 1%-ot sem éri el. A vizsgált üzemben az alapanyag nagyobb része lucfenyő, illetve borovi fenyő volt. A magas gyantatartalom miatt a fűtőértékben jelentős eltérések jelenhetnek meg, a nagy mennyiségben jelenlévő extrakt anyag fűtőérték emelkedést okozhat. Az alapanyag bázis bővítése miatt, 2015-től már darabos fenyő faanyagot is felhasználnak. Ezért beüzemelték egy Zerma ZWS 1700+ típusú, 80 kW-os aprító berendezést. A darabos faanyagot 50%-ban keverik fenyőforgácshoz, illetve a különböző helyről érkező forgácsokat is keverve használják fel.

8. táblázat: A vizsgált minták energetikai jellemzői

Anyag	Nedvességtartalom %	Fűtőérték MJ/kg	Hamutartalom %
fenyőforgács	11,2	18,2	0,4
fenyő pellet	9,0	18,4	0,4
fenyő brikett	9,3	18,4	0,4
darabos faanyag	11,8	17,6	0,5
zalahalápi forgács	9,1	17,9	0,4
szlovák forgács	10,2	17,7	0,4
keverék pellet 1	8,7	18,3	0,4
keverék pellet 2	8,9	18,2	0,4

Az energetikai vizsgálatok után elvégeztem a fapor pelletálás előtti frakcióelemzését, a három mérés eredményének átlagát a következő diagram szemlélteti.



16. ábra: Pelletálás előtti fapor frakcióelemzése

A mért, illetve számított értékek felhasználásával határozhatjuk meg a legfontosabb fajlagos energetikai mutatókat:

- az energia hatékonysági mérleg (a termék energiatartalma a bevitt primerenergia 1t termékre vonatkoztatva);
- az energetikai hatásfok (a termék energia bevitellel csökkentett energiatartalma / a termék energiatartalma *100) % [Sembery-Peczник 2002]

Ismernünk kell tehát a folyamat során felhasznált villamos energia, illetve a szállítások során használt üzemanyag mennyiségét. Az óránként gyártott pellet mennyisége (1,3-1,4 t) és az energiafogyasztás is ingadozott 168-189 kWh között. Az üzem villamos almérővel felszerelt, így a főbb technológiai elemek energia fogyasztását a villanyóra leolvasással és az egy óra alatt gyártott pellet mennyiségének ismeretében határoztam meg.

9. táblázat: A gépsor közvetlen villamosenergia-felhasználása (t/h termék tömegáram mellett)

Gépsor-egység	energiafogyasztás kWh	energiafogyasztás MJ	gyártott mennyiség t	kWh/t	MJ/t
kalapácsos daráló	38,6	139	1,3-1,4	28	101
pelletológép és beadagoló	121,5	438	1,3-1,4	89	321
egyéb villamos gép	28,2	102	1,3-1,4	22	79
összesen	188,3	678	1,3-1,4	139	501
primer energia	507	1831		376	1352
brikettáló gép	12	43,2	0,4	108	388
primer energia	32,4	116,6		291	1048

Az egy tonna pelletre vonatkoztatott energia ráfordítás, az előaprítási folyamat nélkül, figyelembe véve az erőművi hatásfokot, primer energiában 1300-1400 MJ.

A később beüzemelt aprítógép energia felhasználása 60-65 kWh, az átlagos aprított mennyiség 1,3-1,4 tonna. Ez egy tonna pelletre vonatkoztatva 46-50 kWh, primer energiában 124-135 kWh (446-486 MJ/t) további energiaráfordítást jelent. A rakodáshoz és anyagmozgatáshoz 3 targoncát használnak, ezek átlagos fogyasztása és a gyártott pellet alapján, az üzemanyag fűtőértékével számolva 80-90 MJ/tonna az energia ráfordítás.

Korábbi vizsgálatok során foglalkoztunk a brikettálás és pelletálás alap gyártási technológiai energiamérlegének összehasonlításával. A brikettálás során, a vizsgált üzemben nem alkalmaztak aprítási folyamatot, így az energiamérleg számolása is egyszerűbb, magára a préselésre fordítják a legtöbb energiát. A vizsgált brikettáló gép hidraulikus működésű, az óránként átlagosan előállított mennyiség 0,4 tonna. A pelletálás alap technológiájának energia mérlege 11-13 közé esik, a brikettálás energia hatékonysági mérlege pedig 1:15,9-hez, ami nagyon jó értéknek mondható. Energetikai hatásfokban az alap gyártási technológiák vizsgálata alapján pelletálás során 91-92%, míg brikettálás során 93-94% közötti értékek jelennek meg [Papp-Marosvölgyi 2011]. A darabos faanyag előaprítási folyamata során figyelembe vett energia felhasználás az energihatékonyságot 89-90%-ra csökkenti.

9.1 Szállítás energia igénye

A pelletálási folyamat energia igényét jelentősen befolyásolja az alapanyag beszállítási távolsága, valamint a kész termék szállítása is. Magyarországon a fapellet gyártók Olaszországba és Ausztriába exportálnak, a hazai felhasználás az összes gyártott fapelletre vonatkozóan csupán 10% [MaPell. 2014, Pellet Product Kft. 2015]. L.Palotti, G. Martino, A. Marchini tanulmányukban foglalkoztak az Olaszországba importált fapellet szállításának költségeivel. Eco-indicator 99 módszer segítségével 11 féle környezeti hatásra kiterjedő LCA vizsgálatokat is folytattak. Különböző távolságokról, német, horvát, litván, román és magyar területekről is vizsgálták a beszállítás energia igényét. A kamionnal történő szállítás során átlagosan 24 tonna fapellet tudnak szállítani egyszerre, melyhez átlagosan 4,5 km-et tesznek meg egy liter üzemanyaggal, 100 km út megtételéhez 25,2 liter átlagos gázolaj fogyasztással számoltak. Figyelembe vették az egyéb járulékos költségeket, mint például az autópálya díjakat, az alkalmazottak bérét és a teherautók szervíz költségeit is. Ezzel a módszerrel pontosan meg tudták határozni a szállítás költségeit, azonban az általam vizsgált energia mérleg szempontjából az üzemanyag felhasználás egységnyi tömegre vetített energia mennyiségére van szükség.

Az energia mérleg számolásokhoz figyelembe kell venni tehát a szállítás energiáit. A vizsgált üzemnél, a beszállítás a közeli Velux üzemből speciális tároló kocsikban történik, egy Landini Power Farm traktorral. A Zalahalápról, és a Szlovákiából érkező forgács szállítása teherautóval történik. A különböző alapanyagokból készülő, és különböző távolságokról származó alapanyagok miatt az energiamérlegben jelentős eltérések jelentek meg.

10. táblázat: A beszállításra fordított energia

Landini traktor adatai	Üzemanyag tartály (liter)	Átlagos szállított menny.(t)	Megtett forduló (db)	Fordulónkénti fogyasztás(liter)	Tonnánkénti gázolaj fogyasztás(liter)	*MJ/t
	102	4	14,5	7	1,75	75

*MJ/t a gázolaj literenkénti átlagos fűtőértéke alapján

A következő táblázatban, a teherautóval történő beszállítás energia igényét foglaltam össze. A céges adatok szerint az üzemanyag fogyasztás az oda-vissza út alapján 27-31 liter/100 km között változott. A beszállítási adatokat egységnyi tömegű 10-12%-os nedvességtartalmú alapanyagra, az eltérő szállítási mennyiség és távolságok alapján a következő táblázat szemlélteti. Eltérő fogyasztási adatok jelennek meg a beszállítási távolság, a szállított mennyiség, és a terepi viszonyok miatt is.

11. táblázat: Teherautóval történő beszállítás energia igénye

alapanyagok	Gartenpro faanyag	darabos	Szlovák forgács	Zalahaláp forgács
beszállítási távolság	7 km		150 km	110 km
egy fordulóval szállított mennyiség - tonna	4,5-5		12-13	17-18
ü. fogyasztás liter/ tonna (oda-vissza útra)	0,91		7,8	3,8
MJ/tonna*	37,3		317,5	155,5
MJ/tonna primer energia	44,4		380	186

*a gázolaj literenkénti átlagos fűtőértéke alapján

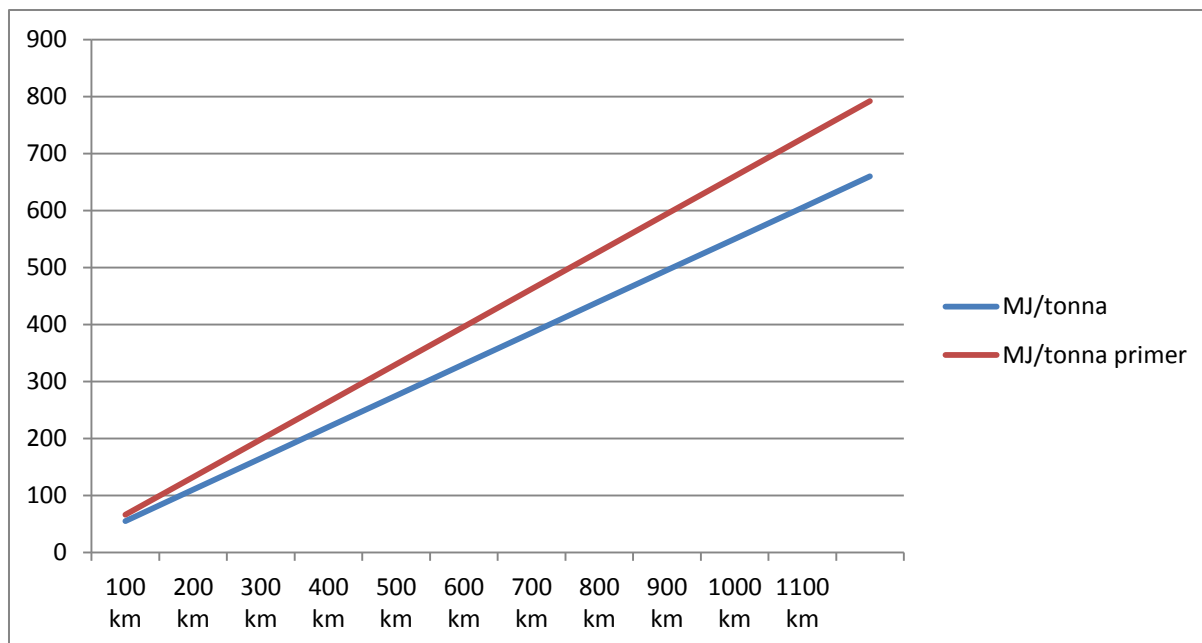
A táblázatokban látható, hogy a hosszú beszállítási távolságok jelentősen megnövelték az egységnyi tömegre viszonyított energia felhasználás mértékét. Sajnos, ennél még több energiát használnak a kész termék szállítására, annak ellenére, hogy a pellet ömlesztett sűrűsége jelentősen jobb, mint az alapanyagoké. Átlagosan egy fordulóval 25 tonna pelletet szállítanak, a termék 90%-át Olaszországba, 550-km-re viszik. Kisebb részét Ausztriába, 110 km-es távolságra szállítják. A legtöbb esetben a cég saját kamionnal végzi a szállítást, ekkor a vissza úton üresen, illetve az üres Big-bag zsákokat szállítva érkeznek. Az olasz pellet szállító cégek kamionjai vagy szintén üresen, vagy valamilyen más teremelési láncba bekapcsolódva érkeznek Magyarországra. Ekkor a pelletre vonatkoztatva „csak” az 550 km-es odaút üzemanyag igényét kell mérlegelni. A pontos üzemanyag fogyasztást a kamion oda-vissza úton történő üzemanyag fogyasztásából, és a szállított mennyiségből egységnyi tömegre határoztam meg.

12. táblázat: Kész termék szállításának energia igénye

Szállítás helye	Olaszország	Ausztria
Üzemanyag fogyasztás fordulónként (liter)	372	68
Üzemanyag fogyasztás 1 tonna pelletre (l/t)	14,8	2,7
MJ/tonna*	606	112
MJ/tonna primer energia	727	135

*a gázolaj literenkénti átlagos fűtőértéke alapján

Az üzemanyag felhasználásánál, egyetlen elemzésben sem veszik figyelembe, a kőolaj kitermelés energia-igényét, a gázolaj, mint primer energia jelenik meg. Azonban ha egy folyamatnak az egészét szeretném vizsgálni, a ráfordított gázolaj felhasználásnak is a primer energia igényét kell mérlegelni, hiszen a pelletálás során jelentős a hosszú szállítási útvonalak miatt az üzemanyag-felhasználás. A szakirodalmi források nagyon eltérőek, technológiától függően az olaj kitermelés energia igénye nagyon változó lehet. Hall C. kutatásaiban már a nyolcvanas években kitért az olajkitermelés energia mérlegére, sőt nevéhez kötődik az EROI-érték definiálása is. Számos tanulmányban foglalkozott a fosszilis és bioüzemanyagok, az etanol energia-mérleg vizsgálatával is. Az értékek nagyon eltérőek, a kitermelés helye és módja miatt is. A legtöbb információ amerikai kutatásokból származik, melyet Murphy et al. foglaltak össze 2011-ben. Az olaj és gázkihozatalt a legtöbb elemzésben együtt veszik figyelembe, hiszen a kitermelés legtöbb esetben azonos kutakból és helyről történik, így nehéz az elkülönítés. Ezek az értékek a nyolcvanas-kilencvenes években még 20-és 45 közötti EROI értéket mutatnak [Cleveland 1984, Hall C et al. 1986, Freise 2011]. Bár a technológia fejlődött, a fosszilis készletek csökkenése miatt a kitermelés egyre nehezebbé és költségesebbé vált, így a mostani kutatásokban az EROI értékek 8-20 közé esnek [Poisson and Hall 2011, Freise 2011, Guilford 2007, Hu et al 2013]. Norvégiai kutatásokban elkülönítették az olaj és gáz értékeket, így olajra és gázra 40, míg az olajra 1:21 EROI értéket kaptak [Grandell 2011]. Az Amerikában egyre terjedő palaolaj kitermelésnek sokkal rosszabb az energia-mérlege, 1:4 és 1:7 közötti értékek jelennek meg [Lambert et al 2012]. Egy másik megközelítésben, ha a kész, finomított olajra visszavezetve írják fel a folyamatot, Hall 2009-es kutatásai alapján Lambert készített egy ábrát, (VII. melléklet) melyen 100 MJ kitermelt kőolajból, csupán 31 MJ-nak megfelelő mennyiség jut el tisztán a benzinkutakig. Magyarországon az olaj és gáz 85-90%-a Oroszországból érkezik. Az orosz EROI értékekre Nogovitsyn és Sokolov adott közelítő értékeket 2014-ben, mely szerint az olaj kitermelés 1:20-25 érték közé tehető. Ezekben az értékekben figyelembe vették az olajvezetékeken történő szállítás energia-igényét, azonban a felhasználó helyig történő, teherautós szállításra fordított energia nem jelenik meg. Az eltérő adatok alapján, nagyon nehéz megmondani, valójában mennyi primer energiát használtunk fel, egy liter gázolaj elégetésével. A szakirodalmi források közül a 2010 utáni kutatásokat figyelembe véve határoztam meg az EROI értékek mediánját, és a szakirodalmi forrásokban megjelenő energetikai hatásfokot, az ehhez viszonyított primer energia igényt, 1,2-es szorzótényezőt építettem be a szállításnál használt üzemanyag fogyasztás számításába.



17. ábra: Üzemanyag fogyasztás energia-igénye oda-vissza útra

Ahogy a fenti ábrán is látható, a hosszú szállítási útvonalak miatt az egységnyi tömegre vetített üzemanyag ráfordítás, az energia befektetés jelentős. Mivel a pellet nagy részét Olaszországban értékesítik, az egy tonna pelletre 600-700 MJ energia ráfordítás történik a szállítás során. Így a szállítás miatt a bevitt energia mennyiség az alap gyártási technológiához képest jelentősen emelkedett.

9.2 Pellet előállítás energetikai ültetvények anyagából

A faipari forgács felhasználása már nem elégíti ki a fapellet gyártás igényeit, ezért a jövőben egyre nagyobb szerephez juthatnak az energia ültetvényekből származó fás és lágyszárú alapanyagok. Magyarországon a Pannon Pellet Kft. fás szárú ültetvények anyagát is feldogozta, nyárfa energia ültetvények aprítékát vásárolta fel, és tervben van energia ültetvény telepítése pelletálási célra [Pannon Pell. 2013]. Már első gondolatként is felmerül a kérdés, van-e értelme energetikai szempontból, az ültetvényről származó faanyagot pellet formájában hasznosítani. Ebben az esetben az előáprításra és szárításra is jelentős energiát kell fordítani, valamint az ültetvényekről történő betakarítás, szállítás, sőt az egész telepítési folyamat energia igénye hozzáadódik a pelletáláshoz. Az ültetvények telepítése, a hozam adatok, fafajok és vágásfordulók függvényében is nagyon eltérőek lehetnek. Így az EROEI érték is nagyon változó. Cupy et al. kutatásaikban meghatározták, hogy az energiafelhasználás nagymértékben függ az egybefüggő terület nagyságától is. Három méretet különböztettek meg ezek alapján: 3 hektár alatti, 3-20 hektár közötti és 20 hektár feletti területeke. A 3 hektár alatti területekre irányuló energiamérleget vizsgálták meg először. Az elvégzett felmérések azt mutatták, hogy átlagosan 46 EROEI értékű mutatóval jellemezhetőek a kisebb ültetvények. Németh kutatásaiban a 20 hektár feletti ültetvényekre, 4 éves vágásfordulóval határozott meg egy közelítő értéket. Ez alapján egy atrotonna ültetvényes rendszerű anyag kitermeléséhez átlagosan 410-630 MJ energiára van szükség [Németh 2015]. Energetikai szempontból, a lágyszárú

szárú ültetvények anyagának, mint például az energia fű vagy nád pelletként történő hasznosítása ésszerűbb megoldás lenne. A Miscanthus energia nád betakarításkor alacsony nedvességtartalmú, így nem kellene szárítási technológiát alkalmazni a tömörítés előtt. Fűtőértéke a lágyszárúakhoz képest magas, a faanyaggal egyenértékű, betakarításkor 16,5-17 MJ/kg, asz. állapotban 18-19 MJ/kg [Pintér 2016]. Természetesen a növénytermesztési folyamat energia-mérlegét nagyban befolyásolja a biomassa hozam, a gépek üzemanyag fogyasztása, a műtrágya alkalmazás mennyisége, és a beszállítási távolságok is. Vizsgálatok alapján az ültetvényekről nyerhető energia 5-7 %-át emésztí fel az előállítás, betakarítás, előkészítés műveletsor, így az Einp / Eout aránya 1:14-1:20 között alakul [Hartmann –Stlerer 1996, Lewandowski et al., 2000, Marosvölgyi 1997, 1998, 2000] Hazai kutatások alapján 12 t/ha hozamadattal, és erőművi hasznosítással 163 GJ energia nyerhető hektáronként [Pintér 2016]. Daraban et al. kutatásaikban Miscanthus nád brikettálási és pelletálási tulajdonságaival, keverék pelletek előállításával és pelletkazánban történő hasznosítással is foglalkoztak. Eredményeik alapján a nád jól pelletálható, a tüzelés során a hatásfok a fapellet értékéhez hasonló, 85% volt [Daraban et al. 2015].

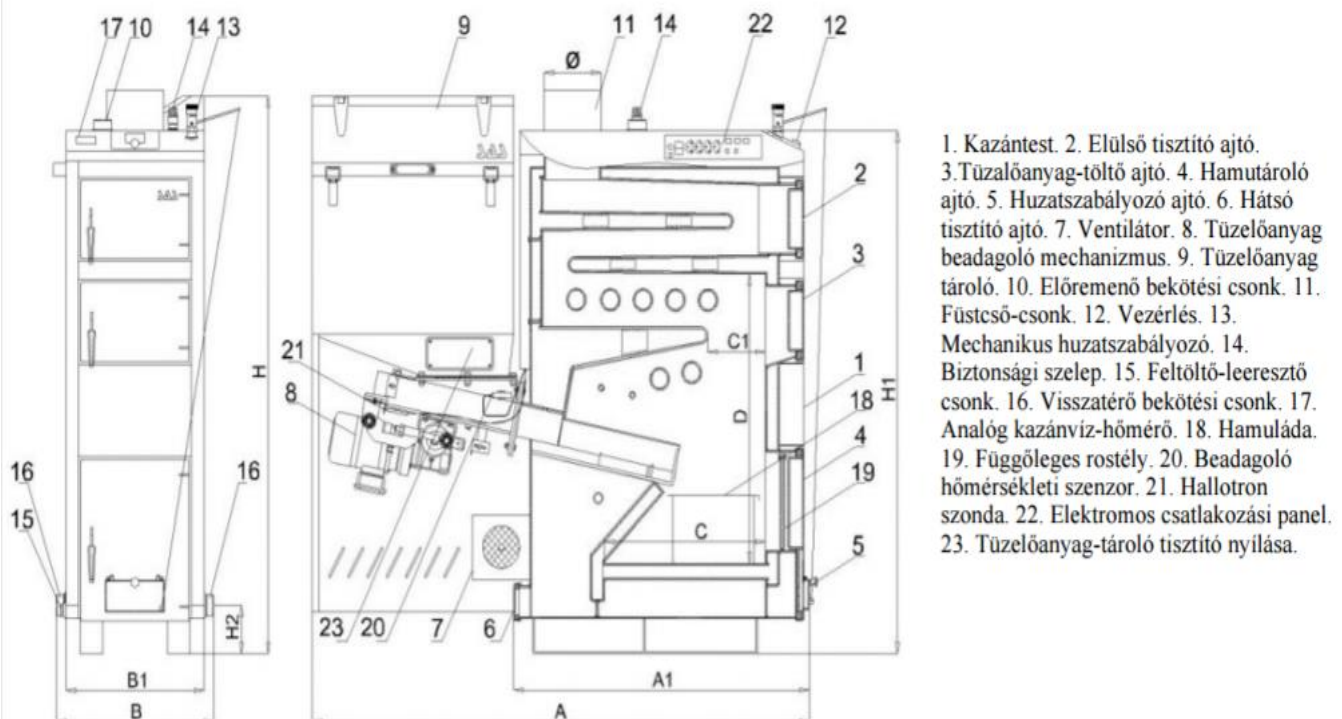
9.3 Pellet tüzelő berendezések

A fapellet és agripelletek hasznosítására különböző kazánok és kályhák állnak rendelkezésre. Az agripelletek magas hamutartalma, valamint az alacsony hamuolvadáspont miatt speciális kályhákban vagy kazánokban hasznosíthatók. A pellet tüzelőberendezéseket két csoportra osztjuk: kandallók vagy kályhák és kazánok. Kandallók: jellemzően 5-15 kW-ig terjedő hőteljesítményű berendezések, melyek beépített pellet-tartállyal rendelkeznek. Alkalmasak nagyobb helyiségek, de akár közepes méretű családi házak hő-szükségletének ellátására is. Az automata pelletadagolás miatt szoba-termostátról vezérelhetők, így a fűtés nem igényel törődést a néhány naponta szükséges feltöltésen és az előírt karbantartáson felül. A kandallókat is két csoportra oszthatjuk: a központi fűtésre köthetők, ill. a csak konvekciós elven működő berendezésekre. A központi fűtésre köthető ún. vízteres kandallók alkalmasak akár a használati melegvíz és a fűtéshez szükséges meleg víz előállítására is [Pannonpellet 2012].

Kazánok: a kandallókkal ellentétben a kazánok nem képesek közvetlenül helyileg hőt leadni a levegőbe, csak a használati és a fűtéshez szükséges meleg víz előállításra alkalmasak. Szintén automatizált működésűek, mint a kandallók, de általában nagyobb hamutárolóval, nagyobb beépített pellet-tartállyal, illetve külső tartályból adagolásra képest szállítórendszerrel is rendelkezhetnek. Teljesítményük jóval meghaladhatja a kandallókét, általában az alkalmazott berendezések 10-150 kW-osak. A pellet speciális kazánban 90 százalék körüli hatásfokon hasznosítható. Nyugat-Európában már 10-15 éve elterjedtek a fapellet kazánok, amelyek a gázkazánokhoz hasonlóan automatizáltak, termosztáttal, illetve külső hőmérsékletvezérléssel működnek (a kazán begyűjtása és leállása is a hőigénynek megfelelően automatikus). A kazán pellettartályát elég – felhasználástól függően – havonta, kéthavonta egyszer feltölteni, hamuzni egy fűtési idényben csak néhányszor kell. Nagy hagyománnyal rendelkező európai pelletkazángyártók működnek Svédországban, Dániában, Olaszországban, Németországban,

az automata gépsorokat évente 10 000-15 000 kazán hagyja el Európában [Energia Klub 2010].

A pelletüzelés során, kisebb berendezéseknél az izzítószál, nagyobb kazánoknál gyújtóspirál segítségével történik a biomassza begyűjtása. Az egyes pellet-égők eltérő konstrukciókban készülhetnek, de a működési alapelvük megegyezik. Első lépésként az adagoló csiga bejuttatja az égőfejhez a pelletet. Begyűjtáskor az ide előkészített pelletmennyiségre a gyújtóspirál vagy izzítószál által felmelegített cca. 300 °C-os levegőt fűjnek az égési levegőbefúvó ventilátortól által. Körülbelül 3-4 percnyi hevítés után a nagy felületű pelletdarabkákból felszabaduló fagázmennyiség a keletkező szikráktól belobban, és innen az égés önfenntartó. Az égő ezután megkezd a beállított teljesítmény alapján - a pelletmennyiség és az égési levegő szabályozásával - a kazán felfűtését. Az égőtálcára folyamatosan érkező kis pelletdarabkák állandósult tüzelőanyag-mennyiséget biztosítanak az égőtálcán, aminek a tökéletes elégetéséhez szükséges levegőt a ventilátorral biztosítják[Burján 2011]. A ventilátor nem csak a jól beállított (nem sok, nem kevés) égési levegő mennyiségét biztosítja, hanem a megfelelő fagáz-levegő (oxigén) keveredést is. Nem megfelelő minőségű pellet, pl. magas finomhányad vagy gyengébb minőségű tüzelő berendezés estén, az égés során pernye, illetve elégetlen anyagok is távozhatnak a füstgázzal.



18. ábra: SAS ECO-típusú pelletkazán

Az agripellet kazánt az Agripell Kft. által forgalmazott berendezésen mutatom be. Mint a képen is látható, a kazánba a hátsó integrált tárolóból csiga szállítja a tüzelőanyagot a mozgórostélyos tűztérbe. A csiga össze van hangolva a kazánal, mely az épület szükségletei

alapján adagolja a tüzelőanyagot. A mozgórostély azért fontos, mert lágyszárúak és a korábban említett termények eltüzeléséhez feltétlenül szükséges a tüzelőanyag bolygatása. A rostélyon végighalad az adott tüzelőanyag és hamuja lehullik a hamutárolóba, a hőcserélőn keresztül pedig leadja a hőenergiát. A hatásfok 85% körüli, az alkalmazott beállításoktól, és tüzelőanyagtól függően változhat [Agripell Kft 2014].

9.4 Pelletkályhák és kazánok energia fogyasztása

A pellettel működő tüzelőberendezések működéséhez szükség van elektromos áramra. Az automatikus begyűjtáshoz kályhák és kandallók esetén néhány percig szükség van 300-400 W energiára. A kazánok esetén automatikus begyűjtáshoz néhány percig 700-1.200 W energia szükséges. [Pannonpellet 2012]. „A pelletadagolást végző csiga is elektromos motorral hajtott, de csekély energiát igényel csakúgy, mint az égési levegő illetve a füstgáz elszívó ventilátor motorja. Az üzemi teljesítmény felvétel 110W” [L-AD Kft. 2014] Az óránkénti energiafogyasztás teljesítménytől függően 80-550 Wh, a kisebb kandallók és kályhák 80-250 Wh, míg a kazánok átlagosan 250-550 Wh [Fiedler F. et al 2002, Brand Pellet Stoves 2014, PUD Conserv. Prog. 2016]. Az energiafogyasztás, valamint a felhasznált pellet mennyiségéből megadhatunk egy közelítő értéket egységnyi tömegű pelletre vonatkoztatva. Természetesen a tüzelő berendezés méretétől, a beállításoktól, és a pellet minőségétől függően is változik az óránkénti tüzelőanyag fogyasztás mennyisége. A következő táblázatban különböző típusú és hazánkban alkalmazott kis és közepes hőteljesítményű tüzelőberendezések óránkénti pelletfogyasztás adatait foglaltam össze. A VIII. mellékletben elhelyezett táblázatokban pelletkályhák és kazánok műszaki adatai, teljesítményfelvétel és átlagos pelletfogyasztási értékek is szerepelnek. Saját mérések alapján, 5 kW-os pellettüzelőben, közepes lángbeállításon fenyő alapú fapelletből óránként 1,05 kg pelletfogyasztással számolhatunk.

13. táblázat: Pelletfogyasztás különböző teljesítményű kályhák és kazánok esetén

Típus	Névleges hőteljesítmény (kW)	Pellet fogyasztás óránként (kg)
Mod 70 fapellet kályha	3-5,8	0,7-1,4
Mod 85 fapellet kályha	4,5-7,9	1-1,7
Mod 105 fapellet kandalló	3,8-8,5	0,9-2
Mod 145 fapellet kandalló	4,1-11,8	1-2,9
Mod 180 fapellet kazán	6,5-16,3	1,5-3,6
Mod 200 fapellet kazán	7,7-19,4	1,7-4,4
Martina Idro fapellet kazán	14	0,9-3,3
Martina Idro fapellet kazán	18	1-4
Martina Idro fapellet kazán	21	1-4,9
Biodom 27 fapellet kazán	10-30	1,7-6,7
Perhofer PK V30 fapellet	10-30	2,1-7,3
Olga Idro fapellet kazán	20	1,3-4,5
Olga Idro fapellet kazán	24	1,4-5,2

Olga Idro fapellet kazán	26	1,5-5,8
Sas-Eco fapellet kazán	29	1,8-6,2
Sas-Eco agripellet kazán	29	2-6,8

[Europell kazánok 2012, Gemini Hungaria 2014, Agripell Kft 2014, Pflum T. 2011]

A legtöbb leírásban, főleg a pelletgyártók és kazánforgalmazók szerint, a pelletfűtés során a villamos energia felvétel „csekély”. Ez valóban igaz, ha mondjuk egy havi villanyszámla adatai alapján, vagy akár napi szinten nézzük az energiafelhasználást. Azonban ha visszszámoljuk egy tonna pellet felhasználása során a berendezések átlagos áramfelvételét, meglepő eredményre jutunk. A szakirodalmi forrásokban leginkább csak akkor jelennek meg a pelletkazánok vagy kanadallók óránkénti energiafogyasztás értékei, mikor napelemes rendszerrel kötik össze a pelletfűtést [Haller M. 2008, Fiedler F. et al 2006] Az energiamérlegekre vonatkozóan nem találtam olyan publikációt, ami a pellettüzelés során felhasznált primer energiát figyelembe venné. Az 12. táblázat és a IX. mellékletben elhelyezett adatok alapján az átlagos pelletfogyasztást és a szakirodalmi adatok alapján az energiafogyasztást figyelembe véve egységnyi tömegű, 1 tonna pelletre határoztam meg egy közelítő értéket. Az eredmények a 14. táblázatban láthatók.

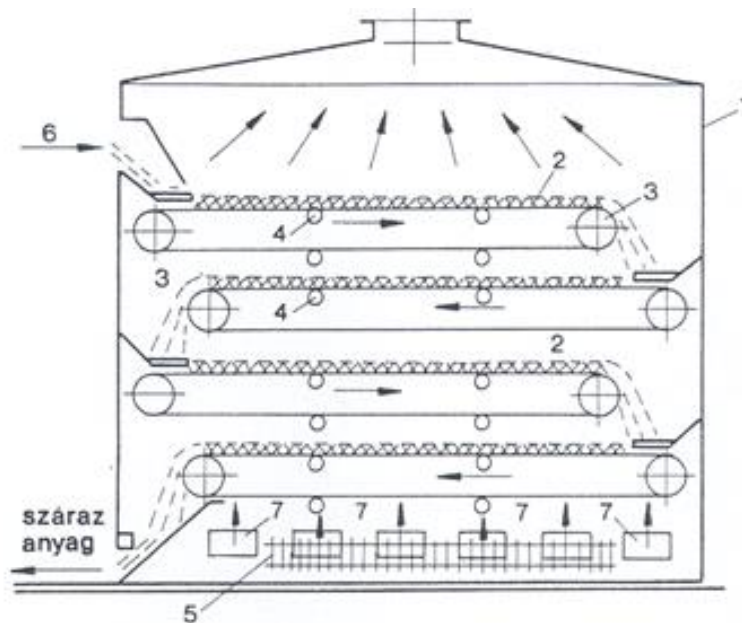
14. táblázat: Pellettüzelés során felhasznált villamos energia

hőteljesítmény kW	átlagos pellet fogyasztás kg	átlagos energiafogyasztás Wh	energiafogyasztás 1 tonna pelletre Wh	energiafogyasztás 1 tonna pelletre MJ	primer energiában MJ
6	1,1	150	136364	491	1375
7	1,3	150	115385	415	1163
8	1,4	150	107143	386	1080
11	1,7	180	105882	381	1067
21	3,5	350	100000	360	1008
24	4	350	87500	315	882
29	5,2	350	67308	242	678

Pellet kazán energia fogyasztásával és a CO kibocsátás csökkentésének vizsgálatával is foglalkozó kutatások alapján az energia felvétel az alábbiakból tevődik ki: energia szükséglet a begyűjtáshoz, égési levegő és füstgáz ventilátorok, beadagoló rendszer működése, elektromos vezérlő panel, a víz áramlását segítő keringető szivattyúk és szelepek. 20 és 25 kw-os pelletkazán és kiegészítő rendszer energia felvételének vizsgálata alapján az óránkénti átlagos energiafelvétel 300-410 Wh között változott [Fiedler 2006]. Kis pellettüzelők esetén bár az energiafelvétel is kisebb,(a begyűjtásból, a beadagoló csigákból, az égési levegő és a füstgáz ventilátorból adódik) viszont az óránkénti tüzelőanyag felhasználás is jelentősen kevesebb, mint nagyobb teljesítményű kazánok esetén. Így egy tonnára vonatkoztatva, egy pelletkályha esetén közel annyi villamos energiát használunk, mint az alap gyártási technológiánál. A nagyobb kazánoknál az egységnyi tömegre vonatkoztatott értékek valamivel jobbak, de primer energiában így is jelentős, 670-1000 MJ/tonna értékkel számolhatunk.

9.5 Szárítás energia igénye

Pelletálás során nagyon fontos az optimális nedvességtartalom beállítása (10-13%). Ha az alapanyag túl nedves, a pellet töredezik, szétesik. Az alapanyag bázis bővülése miatt, egyre nagyobb mértékben vonnak be nedves faanyagot is a pelletálásba. A szárítási technológiák sora rendkívül változatos. A pellet- és brikettgyártásban elterjedt technológiák közé tartoznak a kisebb kapacitással bíró úgynevezett csöves szárítóberendezések, valamint a nagyobb kapacitású és hatásfokú forgódobos, vagy szalagos szárítóberendezések. A csöves szárítóberendezések a 300-800 kg/óra végterméket előállító rendszerekhez csatolva üzemeltethetők hatékonyan. A bemenő magas nedvességtartalmú alapanyag egy úgynevezett csőkígyós rendszeren halad át egyenáramban a gáz vagy biomassza tüzelésű kazán (vagy más fűtőegység) által előállított meleg/forró levegővel. A csőkígyón keresztül haladva a viszonylag hosszú, kanyargós úton az anyag nedvességtartalmának jelentős részét elveszíti. A forgódobos szárítóberendezések szárítási hatásfoka, valamint szabályozhatósága lényegesen jobb, mint a csőkígyós rendszereké, azonban kis kapacitás mellett (800kg/h alatt) nem gazdaságos az üzemeltetésük. Mindez a felmelegíteni szükséges levegő nagy mennyisége (térfogatárama) miatt adódik. Ez a technológiai elem a kereskedelmi céllal működő, nagy termelési kapacitású üzemek szárító berendezése [Blaskó G.- Varga P. 2012]. A szalagos, illetve a gyakrabban alkalmazott többszalagos szárító rendszert is röviden bemutatom, később egy saját mérések alapján számolt szárítási energia ráfordítást mutatok be, ahol szintén szalagos rendszert alkalmaztak. A szárító több egymás alatt elhelyezett végtelenített szalagból áll. Általában 1-4 szalagos berendezéseket készítenek. A kamrában egymás alatt végtelenített szalagok helyezkednek el. Ezek meghatározott sebességgel viszik a rajtuk levő szárítandó anyagot. A szalagokat hajtódobok mozgatják, amelyeket a szárítókamrán kívülről hajtanak meg. A többszalagos szárítóban a legfelső szalagra esett szárítandó anyag a szalag végén az alatta lévő, ellentétes irányban mozgó szalagra esik. Az alulról felfelé emelkedő levegő útírányát terelőlemezekkel megszabják.



19. ábra: Többszalagos szárító [Rajkó et al 2004]

1 – kamra, 2 – végtelenített szalagok, 3 – hajtódobok, 4 – görgők, 5 – gőzkalorifer, 6 – adagolónyílás, 7 – levegő bevezetése, 8 – fűtött levegő és párák elvezetése

Kocsis Z. és Németh G. 2014-es kutatásai alapján a gyártás alap villamos energia szükséglete 100-250 kWh, míg a szárítás energia-igénye 30-35 %-os alapanyag esetén további 250-300 kWh/tonna (900-1080 MJ/t). Burján Z. 2012 –es írása alapján az átlagos 30%-os nedvességtartalmú alapanyagból cca. 1300 kg szükséges ahhoz, hogy meglegyen az 1000 kg 10 %-os nedvességtartalmú alapanyag, tehát 300 kg vizet kell elpárologtatni óránként. „Ehhez – figyelembe véve a víz faj- és párologáshőjét, valamint a 80%-os hatásfokú szárítóberendezést – 1 GJ, vagyis kb. 280 kW -, 1 kg pelletre vonatkozóan 280 Wh szárítási energia szükséges. Összesen tehát $250 + 280 = 530$ Wh energiát használunk fel a gyártás során egy átlagosan 18 MJ/kg, azaz 5 kWh fűtőértékű tüzelőanyag előállításához.”[Burján 2012] Külföldi irodalmakban 30%-os nedvességtartalmú anyag szárításához, 97-347 kWh/tonna értékek jelennek meg [Sokhansaj – Fenton 2006, Jannasch et al 2001], melyek a szárítás során használt villamos energia és földgáz szükségletet, és nem a primer energiákat tüntetik fel. Sajnos van rá példa, hogy az alapanyag még 30-35%-nál is magasabb nedvességtartalmú, 50%-nál 600-660 kWh energia felhasználás jelenik meg [Németh –Kocsis 2014] Ezek alapján is szembetűnő, hogy a szárítási folyamatokra gyakran több energiát fordítanak, mint az alap pellet gyártási technológiára. A nedves anyag szárítása, mivel az anyag fűtőértéke is kisebb, valamint ez esetben a víz szállítására is fordítódik az energia, több szempontból, energetikailag és gazdaságilag is veszteséges. Jung kutatásaiban a nedvességtartalom és fűtőérték változását, valamint aállítás gazdasági kérdéseit is vizsgálta különböző faanyagokon. A X. mellékletben elhelyezett ábrán a fűtőérték csökkenése látható a nedvességtartalom függvényében [Jung 2008]. A pelletálás során beszállított 32-34,5 %-os nedvességtartalmú forgácsból a pelletáláshoz optimális 12%-os nedvességtartalom eléréséhez 1,2-1,3 tonna szükséges 1 tonna pellet előállításához. A szárításra fordított értékek még

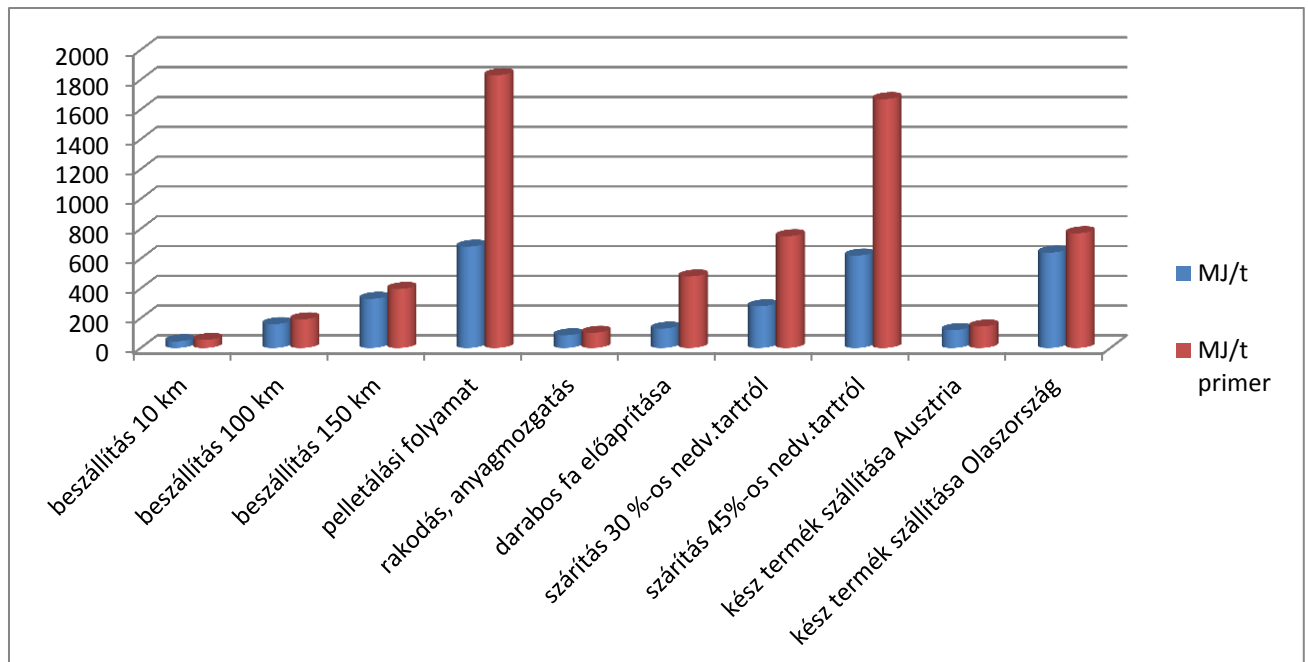
tovább rontják a pelletálás EROEI értékeit, főleg ha a primer villamos energia igényeket vesszük figyelembe a szárítás során. Némileg javítja az energia mérleget, ha a szárításhoz biomassza fűtésű kazánt alkalmaznak, és valamilyen mellékterméket használnak a hő előállításához. 2011-ben, egy Cegléden működő pellet üzemnél vizsgáltam a szárítás energiaigényét. A számolás során az óránkénti villamos energiafogyasztásból, valamint a kazánban óránként átlagosan felhasznált apríték mennyiségéből és fűtőértékéből adtam meg egy közelítő értéket egységnyi tömegű pelletre vonatkoztatva. A szárítás többsoros szalagos rendszeren történt, átlagosan óránként 2,6 tonna nedves alapanyagból, 2 tonna pelletet állítottak elő. A szükséges hőenergiát biomassza fűtésű kazán segítségével állították elő. A kazánban főként erdészeti mellékterméket, aprítékot használtak, melyet 30km-es körzetből szállítottak be. A pelletálás alapanyaga 10-140 km-es körzetből érkezett. Vizsgáltam a kazán fűtéséhez használt apríték, a pellet alapanyag tölgy-forgács és késztermék energetikai jellemzőit.

15. táblázat: Pellet és faapríték energetikai laborvizsgálata a ceglédi pelletüzemnél

Vizsgált anyag	Nedvességtartalom %	Fűtőérték MJ/kg	Hamutartalom %
apríték	26,3	15,1	0,6
forgács	34,5	14,9	0,4
pellet	7,8	18,1	0,4

A pellet alapanyagul használt forgács átlagos nedvességtartalma több, mint 30% volt, így jelentős energia bevitelre volt szükség a 11-12%-os optimális szint eléréséhez. A kazánban hasznosított apríték minősége, és nedvességtartalma is ingadozott, 25-27,5 % között. Az óránként felhasznált mennyiség 110-135 kg között változott. Átlagosan így óránként az apríték fűtőértékét figyelembe véve 1850 MJ energiabevitel történt, és további jelentős villamos energia felhasználás is, a szállítószalagok, adagolók és ventilátorok működése közben, 60-65 kWh (216-234 MJ). Ami primer energiában 168-182 kWh, (600-655 MJ). Az apríték bár mint megújuló energiaforrás, és erdészeti melléktermékként jelenik meg, a szállítása, begyűjtése is energiaráfordítással jár. A fakitermelés, és vágástéri apadék begyűjtésének gépeivel és óránkénti üzemanyag fogyasztással foglalkozó kutatások szerint 42-103 m³/óra letakarított vágástéri apadék mellett ~25 liter/h üzemanyag felhasználás társul [Czupy –Horváth 2011]. Egy atrotonna kitermelt faanyag betakarításához 22-70 MJ energia szükséges a vágstakarítás során [Németh 2015]. A szárításhoz tehát nagyon sok energiát használnak fel, a vizsgált üzemben egy tonna pelletre vonatkoztatva átlag 990 MJ, a primer energiákat is figyelembe véve 1650 MJ-t.

Összesítve a különböző alapanyagokból, különböző beszállítási távról, szárítás alkalmazásával vagy anélkül, külföldre történő kész termék szállítással, és a pellettüzelés során felhasznált villamos energia figyelembe vételével a ráfordított energiák jelentősek. A következő diagramon a fapellet előállítás és szállítás energia igényeit foglaltam össze.



20. ábra: Fapellet előállítás és szállítás energia igénye

10 Agripellet előállítás energia igénye

A fapellet előállítás energia mérlegének vizsgálatával, számos tanulmány foglalkozott azonban az agripellet gyártás energia igényét csak kevesen vizsgátlák, és ezek a kutatások búzaszalma és kukoricaszár pellet vizsgálatára irányultak [Sokhansaj-Fenton 2006, Jannasch et al.2001, Pastre 2002, Adapta et al. 2010]. A szakirodalmi forrásokban nem térnek ki a primer energia igényekre, valamint az agyag beszállításának és a kész termék szállításának energia igényére. Alapjában a fa és agripellet gyártási technológia nagyon hasonló, azonos méretű üzemnél, az energia igények is hasonlóan alakulnak. A pelletálási folyamatot minden esetben az alapanyag aprítása, ill. őrlése előzi meg, kalapácsos daráló segítségével. Fontos kérdés, hogy mennyi energia szükséges a tömörítéshez megfelelő szemcseméret eléréséhez. Négy lágyszárú növény, kukorica-szár, köles, búza és árpaszalma alapanyagok vizsgálták a daráláshoz szükséges energiaigényét [Mania, Tabila, Sokhansanj 2007]. Az őrlés során a részecskeméret csökkenésével megnő a teljes felület, ezzel együtt a tömörítési eljárás során a kötési pontok száma is [Drzymala 2006]. A biomasszák aprítása azért is szükséges, mert nő a részecskék pórusterfogata, ezzel együtt tömörítés során csökken a cellulóz kristályosodásának mértéke, ami a kötő anyagként működő lignocellulóz biokonverziójáért felelős [Datta 2007]. A szemcseméret csökkentésével a részecskék közti hőátadás is csökken a hidrolízises reakciók során [Schell –Harwood 2010]. A kalapácsos darálókat a takarmányok előállítására is alkalmazzák, leggyakrabban lucerna pellet gyártás során. Ezek a darálók viszonylag olcsók, és sokféle részecskeméret előállítható velük. A gépek energia felhasználása függ a biomassza anyagi tulajdonságaitól, a kiindulási szemcsemérettől, a nedvességtől, valamint a daráló fajtájától. A lágyszárú és fásszárú alapanyagok őrlése is eltérő energiaigényű. Vannak olyan keményfa apríték őrlésére vonatkozó vizsgálatok, melyek szerint 0.2-0.6 mm-es szemcseméret eléréséhez 20–40 kWh/t energia szükséges. Az ennél kisebb 0.15-0.3 mm-es őrlemény energiaigénye jóval magasabb, 100–200 kWh/t [Datta 2007]. A British Columbia Egyetem lágyszárú mintákon végzett darálási eredményeit az XI. mellékletben elhelyezett táblázatban tüntettem fel. Vizsgálataik alapján a legkevesebb energia igénye a kukorica szár darálásának van, alacsony rost tartalma valamint a nagyobb szivacsos vaszkuláris szövetek jelenléte miatt. Szilárdsága, keménysége következtében az energia köles darálására kellett a legtöbb energiát fordítani.

A következő táblázatban az agripellet előállítás technológiai elemekre bontott energia igényét foglaltam össze, a szakirodalomban talált adatok alapján.

16. táblázat: Agripellet előállítás villamos energia igénye

Eljárás kWh/tonna	Jannasch et al. (2001)	Pastre (2002)	Sokhansanj and Fenton (2006)	Adapa et al. (2010, 2011)
bálabontás és vágás	14,9	10-30		2,1
őrlés	55,9		27,8	12-42
szárítás	347		97	
pelletálás	74,5	30-60	75	82-105
hűtés	12,8	5	3,6	

rakodás			7,2	
egyéb berendezések			14,4	

Magyarországon a két jelenleg működő tűzipelletet is gyártó agripellet üzem azonos berendezésekkel, 1,1 t/ó max. kapacitású rendszerrel működik. A hazánkban működő üzemeknél nem alkalmaznak szárítási technológiát, ez agripellet gyártás során jellemzően a kukoricaszárnál szükséges, míg a búza, árpa és repceszalma optimális betakarítás idején alacsony nedvességtartalmú. Az agárdi Agripell Kft. és a szentesi T&T Technik Kft. üzeménél az alábbi gépsort használják.

A pellet üzem felépítése:

- Behordó asztal, bálabontó daráló, mágneses fémleválasztó
- Anyagleválasztó ciklon, kalapácsos daráló
- Porleválasztó ciklon, keverőpuffer, kondicionáló csiga
- Prés, gőzfejlesztő
- Rosta, serleges elevátor, hűtő
- Porszűrő berendezés
- Transzport vezetékek, ventilátorok, szűrők
- Elektromos kapcsolószekrény, PLC vezérlés

Elektromos igény:

- 1 t/h kapacitású üzem esetén: 190 kW
- 1,5 t/h kapacitású üzem esetén: 240 kW

A szentesi üzemnél, villanyóra leolvasás alapján az átlagos energiafogyasztás 175 kWh, ez az erőművi hatásfokot figyelembe véve, primer energiában 472 kWh (1700 MJ). Az Agripellet Kft-nél az átlagos energiafogyasztás 166 kWh volt. Az óránként gyártott pellet mennyisége a vizsgált időszakban 0,95-1 t/h között változott. A bálázás, és beszállítás, valamint a kész pellet szállításának energia igényét külön részben mutatom be. Az agripellet gyártás során, az EROEI érték azért is lehet kicsit kevesebb, mivel a lágyszárú növények fűtőértéke általában alacsonyabb, mint a faanyagé.

10.1 Alapanyagok szállításának energia igénye

Az agripellet előállítás energiaigényének vizsgálatakor, véleményem szerint figyelembe kell venni az alapanyagok, a szalma és szár betakarításának energia igényét is. Ezen anyagok, bár a mezőgazdaságban, mint melléktermék jelennek meg, talaj tápanyag utánpótlásra is

hasznosíthatók. Ezért ha a talajba juttatnák vissza ezeket a szalma és szár maradványokat, nem történne meg a rendképzés és bálázás művelete. A rendképzés, bálázás, rakodás az alkalmazott gép típusától, az alapanyagtól, és a bálamérettől függően változik. A pelletüzembe történő beszállítást is jelentősen befolyásolja, hogy mekkora tömegű szalma vagy szár szállítható egy fordulóval, ez pedig bálamérettől és az alkalmazott gép típustól függően nagyon eltérő lehet. A Magyarországon leggyakrabban alkalmazott bála-típus a 250-300 kg tömegű hengeres nagybála [Szamosi 2013]. A nagyobb gazdaságok, és a jól felszerelt gépparkkal rendelkező termelők 400-550 kg-os nagy kockabála formájában végzik a betakarítást. A kisebb gazdaságoknál jellemző a 15-20 kg-os kis kockabálák formájában történő hasznosítás.

A gabonafélék betakarítása magas szintű technológiával és műszaki háttérrel megoldott. („Az állatállományok zsugorodása magával hozta a takarmány- és az alomszalma-felhasználás csökkenését. A termőterületek optimális talajerő utánpótlását, valamint a takarmányozás és az állattartás igényeit kielégítve, így nagyobb hányad marad energetikai célú feladatokra.”[Bellus 2012])

Abban az esetben, ha a szalma energetikai célú betakarításra kerül, fontos szempont a helyes tarlómagasság beállítása. A bálázási folyamat optimalizálása érdekében a 15-18 cm magas és megfelelő geometriájú rendek előállítását a nagy munkaszélességű vágóasztallal dolgozó arató-cséplő gépek hátulján elhelyezett terelőlemezek segítik elő. A szalma betakarítása történhet hengeres és szögletes termékeket készítő kis- és nagybálás technológiával. Az egyéb eljárások a végtermékük feldolgozásának nehézkes gépesíthetősége miatt nem számottevőek. A kisbálázók közül a családi- és kisvállalkozások szögletes bálákat készítő lengő- dugattyús és bálakidobós konstrukciói növelt raktérfogatú pótkocsira dolgoznak, melynek kihasználtsága a rendezetlen elhelyezés miatt (a kézi munkaerő alkalmazása nem engedélyezett) alacsony hatásfokú. Nagyobb szalmarendek betakarításához az oldalcsúszdás és csúszódugattyús változatok használhatók. A gazdaságosabb mozgatás érdekében a kisbálákból gyűjtő-rendező kocsival egységtrakományok képezhetők, mozgatásukhoz felszedő-szállító kocsik szükségesek. A nagybálás technológia hengeres és szögletes termékek előállítására alkalmas berendezéseket igényel. A teljes folyamatában gépesített eljárás magas termelékenységéhez megfelelő hozamú szalmarendek biztosítása szükséges. [Bellus Z. 2012]

A kombájnnal vagy rendrakással előkészített nagy tömegű rendek bálázásakor hengeres konstrukciók esetén 0,8-1,6 m átmérővel és átlagosan 1,2 m szélességgel, szögletes konstrukciók esetén (0,8-1,2) x 1,2 x (2,4-3,0) m méretekkel jellemezhetők, tömegük az első esetben és állandó kamrás változatoknál 180-250 kg, változó kamrásoknál 250-300 kg, míg a szögleteseknél 300-500 kg [Fenyvesi, 2011]. A kukoricaszár-rendek állandó kamrás hengeres bálázókkal történő betakarításakor az átlagos bálátömeg 250-300 kg, a változókamrásoknál 350-400 kg, míg a szögletes nagybálázók esetén 400-600 kg [Fenyvesi, 2011]. A kukoricaszár energetikai vagy takarmányozási céllal történő betakarításának legfontosabb művelete a bálázás. Mivel a bálázó-gépek csak megfelelő fajlagos tömegű és geometriai méretű rendek esetén tudnak optimálisan dolgozni, ezért olyan száruzóval szerelt adaptereket kell alkalmazni, melyek egyben rendrakásra is képesek. Teljesítőképességük kiegészítő jellegű rendrakással szükség szerint tovább fokozható. A rendképzés energia igénye géptípusonként,

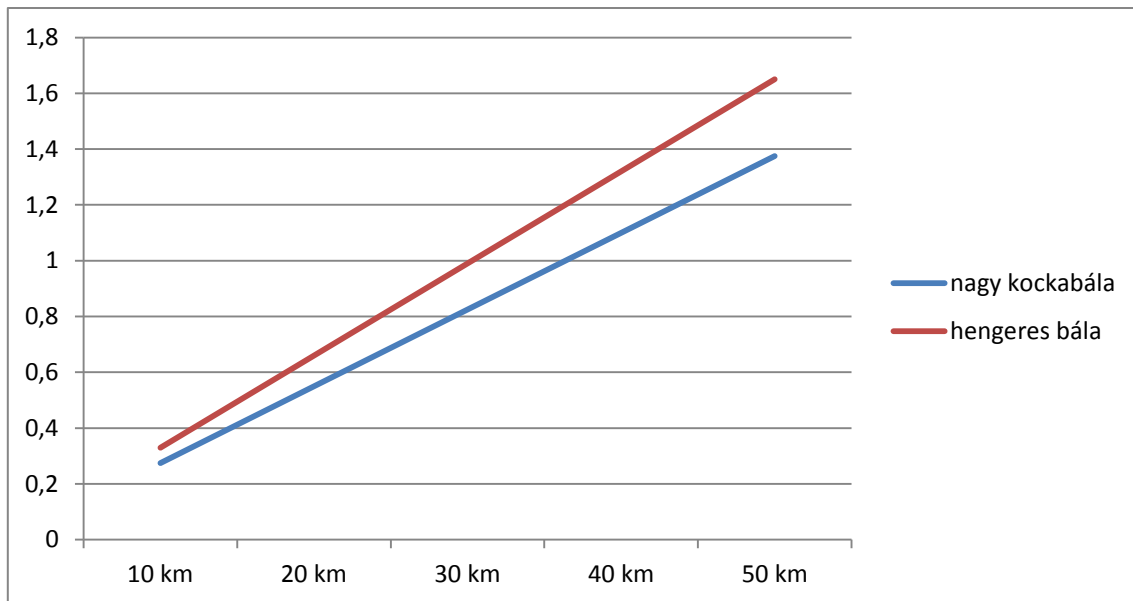
alapanyag és talaj adottságok szerint így nagyon eltérő lehet. A számolás során 0,4-0,5 l/tonna értéket vettem figyelembe.

A nagybálák szállítójárműre történő rakodását, valamint a kazalépítést szűrőtüskével vagy bálamegfogó adapterrel szerelt homlok-, vagy teleszkópos rakodókkal végzik, szállításuk növelt rakfelületű és térfogatú szállítóeszközökkel, illetve bálaszállító járművekkel történik. Az alacsony felépítésű kocsikra a két sorban elhelyezett átlagos méretű bálákból 30-40 db is felrakható. A szalma energetikai felhasználásakor és nagyobb szállítási távolságok esetén célszerű a hagyományos bálagyűjtő-rendező, valamint a kiközelítő és kazalrakó speciális kocsikat alkalmazni [Bellus 2012]. A szállítás történhet traktor vontatta pótkocsikkal, speciális mezőgazdasági tehergépkocsikkal vagy közúti szállító járművekkel. A mezőgazdasági szállítás 40%-át tehergépkocsikkal végzik. Ez a részesedés növekvő tendenciájú, vagyis egyre több tehergépkocsit használnak erre a célra. Elterjedésük a pótkocsikhoz képest nagyobb szállítási teljesítményükkel és fokozott mozgékonyágukkal magyarázható. A traktoros vontatás határfoka azért kedvezőtlenebb, mert a mozgatás össztömege a traktor tömegének legfeljebb, ha a háromszorosa lehet, vagyis a mozgó energia 1/3-a hasznosul, ugyanakkor a tehergépkocsi energiája 4/5 részben tehermozgatásra fordítódik [Czupi I et al 2010]

A bálakészítés üzemanyag fogyasztása is eltérő a bálaméret, tömörség és típusok szerint. A számolás során átlagértékeket vettem figyelembe, melyeket szakirodalmi adatokból, a bálakészítés fajlagos üzemanyag felhasználásának vizsgálataiból határoztam meg.

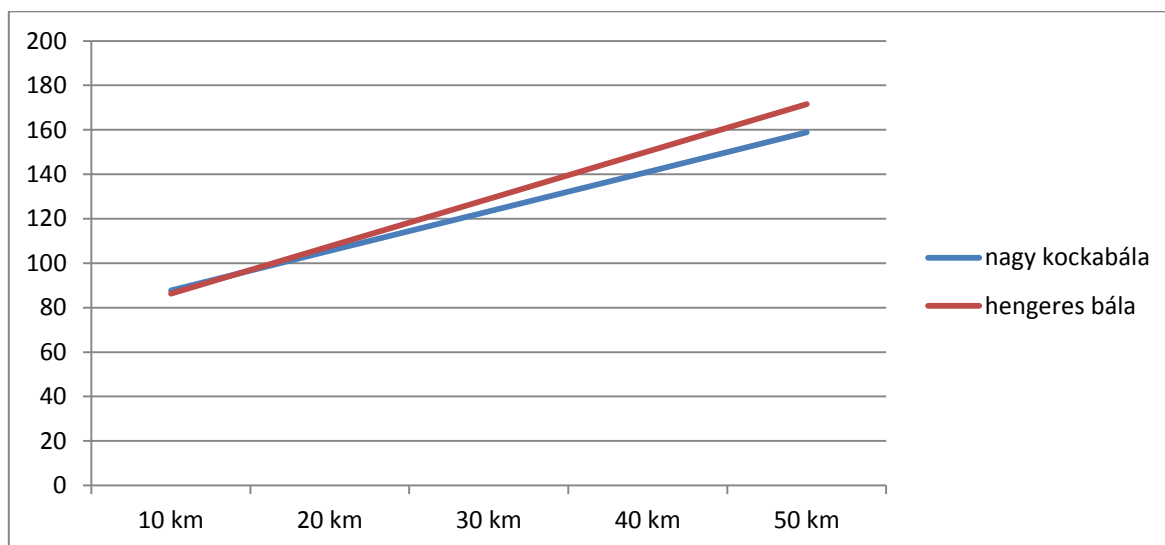
A gödöllői VM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet mérései során az üzemeltető CLAAS AXION 920 traktor hajtóanyag-felhasználása alapján őszi bálázásban az óras fogyasztás 32,26-49,56 l/h, ill. 29,44-41,38 kg/h volt, ebből a tömegteljesítményre számított fajlagos fogyasztás értéke 0,96-1,149 kg/t, ill. 1,144- 1,375 l/t, míg az üzemeltetéshez szükséges motorteljesítmény 118-160/160- 225 kW/LE között alakult. A hosszabb üzemidő alatt mért 170 bar-os bálakamra-nyomás mellett az egy bála elkészítéséhez szükséges gázolaj mennyisége 0,62 dm³/bála volt [Kocsis-Kelemen 2013]. Hengeres bálázó vizsgálata alapján egységnyi tömegű bála előállításához 0,8-0,93 kg/ tonna, 0,95-1,1 l/tonna értékek jelennek meg [Hajdú J. 2001]

A két vizsgált agripellet üzemben a bálák nagyobb része hengeres körbála, kisebb része nagy kockabála formájában érkezik az üzembe. Törekednek minél kisebb távolságról beszállítani az alapanyagot, a beérkező szalma 60%-a 10-30 km-es körzetből érkezik. A további távolságokra 20-50 km közötti értékeket vettem figyelembe a cégek besszállítási adatai alapján. A közelből (10 km) érkező alapanyag, jellemzően hengeres bála szállítása a legtöbb esetben 75 kW-os traktorral, míg az alapanyagok nagyobb részének szállítása speciális mezőgazdasági tehergépkocsikkal történik. Az egy fordulóval szállított átlagos mennyiség hengeres bála esetén 8-11, nagy kockabála esetén 12-16 tonna. A számolás során tehát az alábbiakat vettem figyelembe: A rendképzés, bálázás és rakodás energia igénye, illetve a beszállítás üzemanyag fogyasztása, energia igénye. A távolabbi tehergépkocsi szállítás üzemanyag ráfordítását az 18. ábra szemlélteti.



21. ábra: Tehergépkocsi üzemanyag fogyasztása a távolság és bálátípusok függvényében (liter/tonna)

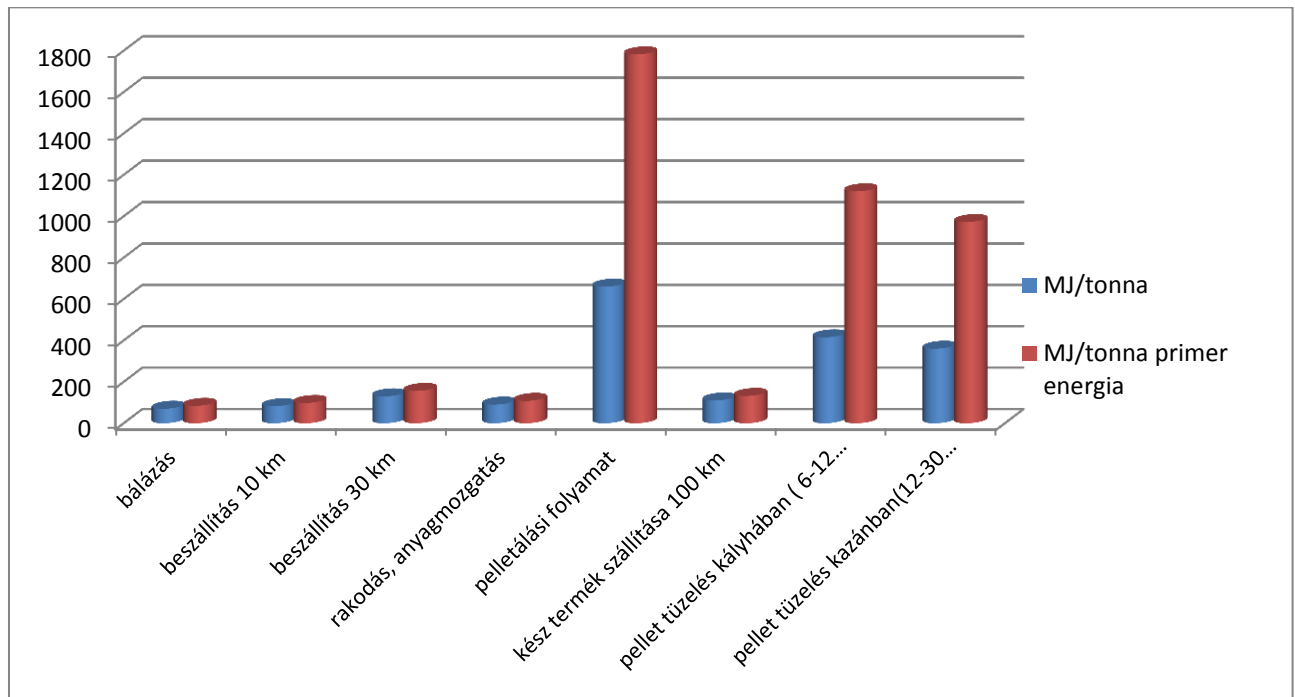
A szállítás és bálázás átlagos üzemanyag fogyasztás értékeiből, valamint a gázolaj literenkénti fűtőértékével számolva kaptam egy közelítő értéket a tonnánkénti energia ráfordításra. Hengeres bála előállítás + rakodás és rendképzés átlag energia ráfordítása 65 MJ/tonna. Nagy kockabála esetén: 71 MJ/tonna.



22. ábra: Beszállítás és bálázás összesített energia igénye (MJ/tonna)

Dolgozatomnak nem képzí tárgyát, a különböző bálázási típusok és ehhez mérten a szállítás gazdaságosságának elemzése. Szemléltetni szerettem volna, hogy bár kis mértékben, de eltérő eredményeket kapunk nem csak a szállítási távok, de a bálátípusok függvényében is. A két egyenes metszéspontja az a távolság, ahonnan jobban megéri a nagy kockabálás beszállítás, hiszen ez az a pont ahol a kocka bálázás kissé magasabb energia ráfordítása megtérül. Nyilván minél nagyobb szállítási volumennel ez az érték rövidül, a hengeres bálázással szemben. Az energia mérlegben ezek alapján 90-170 MJ/ tonna közötti értékekkel számolhatunk.

A következő diagramon, a bálázás, beszállítás, pelletálási folyamat, valamint a pellettüzelők egységnyi tömegre vetített energia igényét tüntettem fel.



23. ábra: Agripellet előállítás energia igénye

10.2 A műtrágyázás energia igényének kérdése

Az agipellet alapanyagai, bár mint melléktermék jelennek meg, de a főtermék és szárképzés előállításához is jelentős műtrágya bevitel történik. Mivel ez az energia igény a főtermék energia mérlegét terheli, a szalma és szár felhasználása nélkül is ugyan úgy jelen van. Környezetvédelmi szempontból viszont, a műtrágyázás, és az előállításának energia igénye is kiemelten fontos, ezért külön fejezetben foglalkozom a kérdéssel. Szakirodalmi adatok segítségével meghatározható egy közelítő érték a szárképzés során beépült anyagok, nitrogén, foszfor és kálium alapú műtrágya mennyiségéről. Őszi búza esetén a fajlagos tápanyag igény egy tonna termés és hozzá tartozó növényi részre általában 25-30 kg N, 12-15 kg P₂O₅ és 18-22 kg K₂O hatóanyag. Üzemi körülmények között 5 t/ha terméshez közepes tápanyag ellátottságnál 130 kg/ha N, 70 kg/ha P₂O₅ és 100 kg/ha K₂O hatóanyagot kell kijuttatni [Horinka 2014]. A kukorica viszonylag kedvező tápanyag-reakcióval rendelkező növény, azaz meghálálja a műtrágyát, ugyanakkor igényes a harmonikus tápanyag-ellátásra. A makro elemeken kívül jelentős a mikroelem-felvétele is. 8 tonna/ha termés eléréséhez a következő műtrágyaadagokat kell kijuttatni a talajba: nitrogén: 120-140 kg/ha, foszfor: 30-50 kg/ha, kálium: 60-80 kg/ha [Czinege 2008]. A kukorica tápelem koncentrációja és kivont tápelemek vizsgálata során megállapították, hogy a nitrogén 65%-a a termésképzésre, 35%-a a szárképzésre fordítódik. Foszforból a termésben 80, a szárbán 20% kötődik meg, azonban a

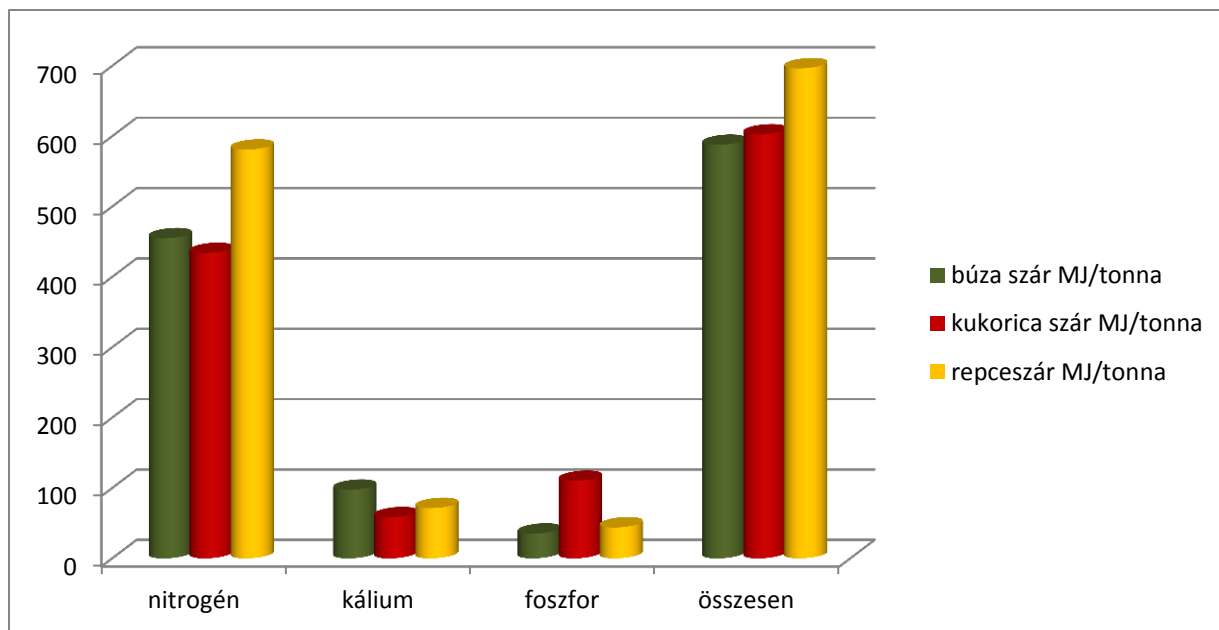
kálium sokkal nagyobb mennyiségben, 81%-ban a szárképzésre fordítódik. A CaO és MgO is 80-90%-ban a szárban halmozódik fel. A kukorica tápanyag felvétele 10-12 leveles korig viszonylag alacsony. Címernövekedés kezdetétől a terméskötődésig tartó 3-4 hétben veszi fel a talajból tápanyagszükségletének több mint 40%-át, illetve halmozza fel azokat az asszimilátákat, amelyeket beépít a szemtermésbe [Nutrikon Kft. 2016]. Az őszi káposztarepce gyorsan fejlődő, nagy tápanyagigényű növény, sok, könnyen felvehető tápanyagra van szüksége. A repcének 1 tonna főtermés előállításához: 35 kg N-re, 18 kg P₂O₅-re, 10 kg K₂O-ra, 4 kg CaO-ra van szüksége. Míg a hozzá tartozó mellékterméshez: 16 kg N-t, 6-8 kg P₂O₅-t, 20-22 kg K₂O-t, 40 kg CaO-t igényel [Neményi 2009].

17. táblázat: A melléktermék képződéséhez felvett műtrágyák átlag mennyisége [Horinka 2014, Czinege 2008, Neményi 2009 alapján]

kg/tonna szár	búza szár	kukorica szár	repceszár
nitrogén	6,5	6,2	8
kálium	15	10	11
foszfor	3,2	10	4

A nitrogén (ammóniumnitrát alapú) műtrágya előállítása rendkívül energiaigényes. Az ammóniához szükséges hidrogént és az ehhez szükséges technológiai energiát is végeredményben a földgázból nyerik. Így az egy tonna ammónia előállításához szükséges összes teljes bruttó energiafelhasználás (kb. 50 GJ/tonna) végeredményben közel 1500 köbméter földgázt igényel. A műtrágyák előállításának energia igényét és környezeti hatásait is vizsgálták [Brentrup - Palliere 2008, Williams et al 2010, Dawson –Hilton 2011], kutatásaik alapján a nitrogén alapú műtrágya előállításának energia igénye 40-60 MJ/kg, a P alapúé 8-30, a káliumé 6-10 MJ/kg. A nitrogén alapú műtrágya előállítás energia igényének vizsgálata hazai viszonylatban az alábbi eredményeket adta: 60-80 MJ/kg, a P alapúé 8-15 MJ/kg; a K alapúé 3-10 MJ/kg [Neményi 2009].

A szárképzéshez felvett műtrágya mennyiségének, valamint a műtrágya előállítás energia igényének ismeretében megadtam egy közelítő értéket egy tonna szármennyiség műtrágya felvételének energia igényére vonatkoztatva.



24. ábra: Szárképzéshez felvett műtrágya előállítás energia igénye

A diagramon látható, hogy a nitrogén műtrágyázásból adódik a legnagyobb energia ráfordítás, és az összesített szárképzéshez használt műtrágya energia igényei is jelentősek, 590-680 MJ/tonna közé esnek. Természetesen a műtrágya használat mennyisége nem csak növényfajtánként, talajtípusonként is eltérő, a fenti értékek a szakirodalmi adatok alapján a Magyarországon alkalmazott átlag értéknek felelnek meg.

10.3 Napraforgó héj pellet

Az Agripell Kft. Agárd-Pálmajorban lévő üzeménél energetikai és állati takarmányozás vagy almozási célra is gyártanak pelleteket. Jelenleg tüzelési célra, részben a napraforgó héj pelletet értékesítik, a cég ügyvezető igazgatója szerint most erre van kereslet belföldön. Korábban foglalkoztak különböző szalmafélék, illetve keverék pelletek előállításával is, azonban saját méréseik alapján, sok esetben a hatásfok nem érte el az agripellet kazánokban a várt értéket, illetve a magas hamutartalom is gondot okozott. A napraforgó-héj pellet tulajdonságai közelebb állnak a fapelletéhez, és gyártását indokolja az is, hogy az alapanyag a közelben lévő olajpés üzemből érkezik. A pellet gyártósor a szentesi T&T Technik Kft. –nél is alkalmazott gépekből áll, átlagosan óránként egy tonna pelletet állítanak elő. A cégtől hozott pellet mintákkal elvégeztem a fűtőérték, nedvességtartalom és hamutartalom méréseket, valamint a mechanikai tulajdonságokat is vizsgáltam.

A napraforgó héj pellet főként Ukrajnában és Oroszországban terjedt el, ami nem meglepő, hiszen napraforgó termesztésük is kiemelkedő [Eurostat 2015]. Ukrajnában a 2012-es évtől ugrásszerűen megnőtt a napraforgóhéj pellet előállítása, melyet 90%-ban külföldön értékesítenek, a legnagyobb felvásárló jelenleg Anglia és Lengyelország [UKRFUEL 2013]. Magyarországon is jelentős a termőterülete, az utóbbi évek átlaga 600 ezer hektár körül alakul [KSH 2012-2016]. Napraforgóból 1,2%-kal kisebb területről (590 ezer hektár) 1,56 millió tonnát takarítottak be, 4,8%-kal többet, mint 2013-ban; a termésátlag (2640

kilogramm/hektár) 6,0%-kal haladta meg az egy évvel korábit. [KSH 2014] Évente, tehát jelentős mennyiségű melléktermék is keletkezik, mely koncentráltan az olajprés üzemeknél jelenik meg, fajtától függően a mag súlyának 40-50%-a. Az évente országosan keletkező héj energiátartalmát 1,7 PJ-ra, a napraforgószárt 16 PJ-ra becslik [Tóth P.-Bulla M. –Nagy G. 2011]. Különböző biomasszák, és a napraforgó héj erőművi hasznosítását és hamutartalmát is vizsgálták a Miskolci Egyetemen [Hodvogner K. et al 2007]. Méréseik szerint a napraforgó héj 7,8%-os nedvességtartalomnál, 57 % illó anyagot, 31 % fix-szenet, és 3,9 % hamut tartalmazott. Fűtőértéke a héjban lévő olajmaradékok, és magas lignin tartalom miatt, magasabb, mint általában az agripelletké, 16- 19,5 MJ/kg között alakul. A Renergy UK Ltd. is foglalkozik nagy mennyiségű napraforgó héj kereskedelmével és pelletálásával, vizsgálataik szerint a fűtőérték 17-18 MJ/kg, a hamutartalom 2,6-3 % körül alakul. A probléma a pelletnél a magas finomhányad, illetve mechanikai szilárdsággal lehet, mely főleg az Oroszországból érkező pelletekre igaz, az Ukrajnából szállított pellet valamivel jobb minőségű [Renergy UK Ltd. 2015].

18. táblázat: Napraforgó héj pellet energetikai jellemzői

	Nedvességtartalom %	Fűtőérték MJ/kg	Hamutartalom %
napraforgó héj	10,5	17,7	2,9
napraforgó héj pellet	8,9	17,9	2,9

A mérési eredmények átlaga alapján, a napraforgó héj energetikai jellemzői a fapellethez hasonlóak. Fűtőértéke az olajmaradványok miatt sokkal magasabb, mint általában a lágyszárú növények melléktermékéből készült agripelletké. A hamutartalom 3 % körüli, ami a fapellet hamujának többszöröse, viszont jelentősen alacsonyabb, mint a szalmafélék hamutartalma.

Napraforgó héj pellet mechanikai tulajdonságainak vizsgálata alapján, az ömlesztett sűrűség 530 kg/m^3 , a pelletek közepes hosszúsága 15,1 mm, az átmérő 6,4 mm. A finomhányad 0,5 % volt, a mechanikai szilárdság 94,6 %. Ezek az értékek egy jó minőségű fapellethez viszonyítva nem túl jók, a magas finomhányad, és a viszonylag gyenge mechanikai szilárdság gondokat okozhat a tüzelés során. A héj pellet mechanikai szilárdsága a vizsgált repceszár pelletnél is alacsonyab volt, a finomhányad aránya pedig kicsivel magasabb. Napraforgó héj pellettel nem volt lehetőségem elvégezni a füstgázelemzési vizsgálatokat, de információt kaptam az Agripell Kft. SAS ECO típusú 18 KW-os kazánban végzett vizsgálatairól. Méréseik alapján a napraforgó héj pellet 80-85%-os hatásfok tartományban, 50-60 CO ppm értékek között égett, ami agripelletek esetén megfelelő.

10.4 Fa-pellet és repce-szár pellet füstgázelemzése

A fapellettüzelés hatásfokának és emisszióinak vizsgálatával számos tanulmány foglalkozott. Szakirodalmi adatok alapján a fapellet tüzelés hatásfoka kazánokban 85-90 % körüli, míg pelletkályhák esetén 65-80 % [Petrovic et al. 2015, Houck –Scott 2001, EPA 2016, Gonzales et al. 2004]. Agripelleteknél a kazánok hatásfoka 80-90%, a kisebb berendezésekben 60-80%-os értékek jelennek meg [Vermont Grass Energy 2011, Dutta –Scotia 2010, Nosek et al 2012,

Carroll-Finnan 2013]. Agripelletek esetén búzaszalma, energianád és energiafű vizsgálatokra terjed ki a legtöbb kutatás. Repceszár pellet vizsgálatával is foglalkozott Carroll és Finnan, egy 35 kW-os kazánban égettek fa, Mischantus nád, búza, repce és árpa szalma pelletet. Eredményeik alapján a fa pellet rendelkezett a legjobb értékekkel, a CO 21-27 mg/ Nm³, a NO_x 138-142 mg/ Nm³, a SO₂ 3,4-4,9 között volt, a hatásfok pedig 91 % körül alakult. Az értékek búzaszalma pellet tüzelése esetén: CO 111-124 mg/Nm³, a NO_x 311-330, a SO₂ 34-40 mg/Nm³ volt, az átlagos hatásfok pedig 82%. Repceszár pellet vizsgálata alapján szignifikáns eltérések jelentek meg, az emissziók sokkal magasabbak, a hatásfok pedig alacsonyabb volt. A CO 210-240 mg/Nm³, a NO_x-ok 320-350 mg/Nm³, a SO₂ pedig 55-62 mg/Nm³ tartományban mozgott. Az átlagos hatásfok 68% volt, tehát jelentősen elmaradt a fapellet, és még a búzaszalma pellet hatásfokától is. A Carborobot cég agripellet kazánban végzett vizsgálata alapján a repceszár hatásfoka 50-60 % körül alakult [Carborobot 2011]. Repceszár pellet vizsgálatára nem találtam több szakirodalmi forrást, kisebb teljesítményű pelletkályha vizsgálatokra repceszár pellet esetén egyáltalán nem.

A tüzelés során felszabaduló gáznemű anyagok mellett, környezetvédelmi és egészségügyi szempontból is fontos, a szilárd, kis méretű részecskék, pernye vagy esetlegesen elégetlen frakciók távozása a légkörbe. A PM (az angol particulate matter rövidítéséből) a levegőben lebegő szilárd és folyékony (aeroszol) részecskék gyűjtőneve. Magyarországon a „szálló por” elnevezés terjedt el az ülepedő portól való megkülönböztetés érdekében. A PM₁₀ a 10 mikrométernél kisebb átmérőjű részecskék elnevezésére szolgál. Azért fontos meghúzni ezt a mérhető tartományt, mert a nagyobb részecskék egészségkárosító hatása nagyságrenddel kisebb, mivel a légzőrendszer szűrőin fennakadnak, így nem jutnak le a tüdőhöz. Forrásától függően a PM₁₀ igen sokféle anyag lehet, tartalmazhat elemi szenet, aromás és alifás szerves vegyületeket, halogéntartalmú szerves vegyületeket, fémeket beleértve a nehézfémeket is, nyomelemeket, nitrátokat, szulfátokat és egyéb sókat, szilikátokat és egyéb talaj eredetű anyagokat végül, de nem utolsósorban élő eredetű részecskéket, spórákat, polleneket is. Az összetételétől függ az általa okozott egészségügyi kockázat mértéke is [NFM 2014].

Biomassza hasznosítás során, kis és közepes teljesítményű kazánok esetén rendszerben meghatározott szilárd anyag kibocsátási határérték nem található (50 MW alatt nincs előírás). Ettől függetlenül, környezet egészségügyi szempontból fontos kérdés. Németh kutatásaiban 26 kW-os fapellet kazánal, tölgyfa alapú pellettel végzett vizsgálatokat, automatizált emissziós pormintavevő mérőkör segítségével. Elkülönítette a normál működés, és leállás után megjelenő értékeket is, melyek normál működés során 55,7 mg/Nm³ leállás után 87,5 mg/Nm³ tartományban voltak [Németh 2016]. Természetesen a különböző berendezések, és a különböző minőségű pelletek is eltérő kibocsátási értéket adnak. Ipari pelletek égetése során, például kiemelten fontos a porszűrő és tisztító berendezések használata. A szállópor mennyiségét jelentősen megnövelheti a magas finomhányad, és az apró, töredezett pellet is.

10.4.1 Vizsgálatok bemutatása

A mérések során, egy kis 5 kW-os pellettüzelő berendezésben égettünk különböző lángbeállításon fenyő alapú fapelletet, repceszár pelletet, valamint repceszár-búzaszalma keverék pelletet. A füstgáz elemzésével mérni tudjuk a pellet tüzelés hatásfokát, a kibocsátott

CO_x-eket, a füstgáz hőmérsékletét, és a légfeslesleg tényezőt. A füstgázelemző berendezés sajnos nem rendelkezik kiegészítő mérőcellákkal, így a NO_x-kat és SO₂-t nem tudtam mérni. A méréseket a 25-ös ábrán látható füstgázelemző berendezéssel végeztük. Fél órás mérések során rögzítettük az adatokat.



25. ábra: Füstgázelemző berendezés (Testo)

Fél órás mérések során vizsgáltuk:

- A füstgáz hőmérsékletét ($T_{\text{füst Co}}$)
- A légfeslesleg tényezőt (λ)
- A CO₂ tartalmat %-ban
- A CO tartalmat ppm-ben
- A külső levegő hőmérsékletét ($T_{\text{lev Co}}$)
- A hatásfokot %-ban ($\eta\%$)

A Testo műszerben két mérőcella található, - O₂ és a CO - valamint a közvetlen hőmérsékletmérés céljából beépített hőmérsékletérzékelő a füstgáz szondában. Ezekből az adatokból a műszer a beállítások után, tüzelőanyag specifikusan az összes szükséges füstgáz paramétert kiszámolja, mint pl.: CO₂, hatásfok, légfeslesleg-tényező. A műszer beépített képletek segítségével határozza meg a hatásfokot, a füstgáz és külső levegő hőmérséklet, az O₂ valamint tüzelőanyagra jellemző konstansok segítségével.

10.képlet

$$P_{ch} = (t_f - t_i) \cdot \left(\frac{A}{21 - O_{2,fl}} + B \right) \quad [\%]$$

P_{ch} az égéstermék veszteség, %

$O_{2,fl}$ égéstermék oxigén tartalma, %

t_f a füstgáz hőmérséklete, °C

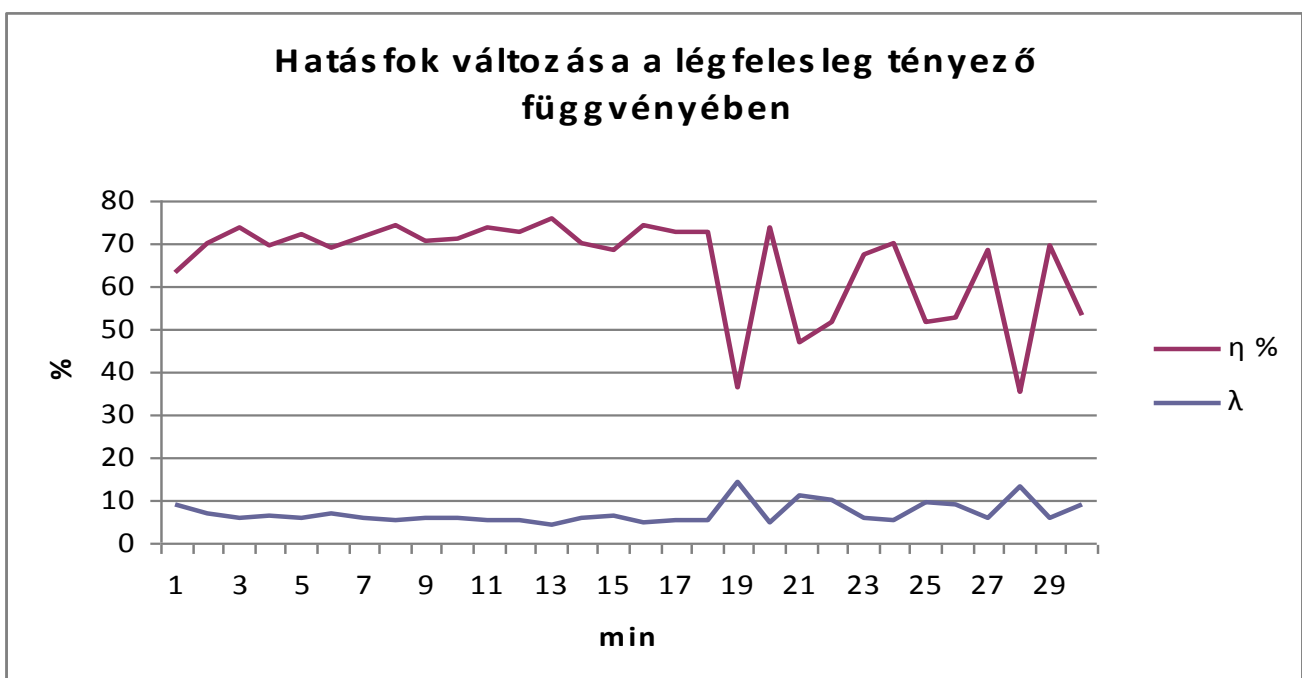
t_i az égési levegő hőmérséklete, °C

A és B tüzelőanyagtól függő konstansok

A hatásfokot ezek után a műszer a tüzelőanyag veszteségből számolja az alábbi képlettel:

11. képlet $\eta \% = (100 - P_{ch}) / 100$

A 26. ábrán láthatóak a mérési eredmények egy közepes lángbeállítás esetén. Megfigyelhető, hogy a légfelesleg tényező fordítottan arányos a hatásfokkal. A mérések során a kiugró értékek egyrészt a leégési fázisokban jelentek meg, másrészt a mérés során csökkentem a beadagolás mennyiségét. Érdekes, hogy a beadagolás csökkentése során is megjelentek kiugró értékek a légfelestényezőben és hatásfokban. A számolás során ezeket az értékeket nem vettem figyelembe, csak szemléltetni szerettem volna, hogy a beadagolás változtatásával is megjelennek kiugró értékek.

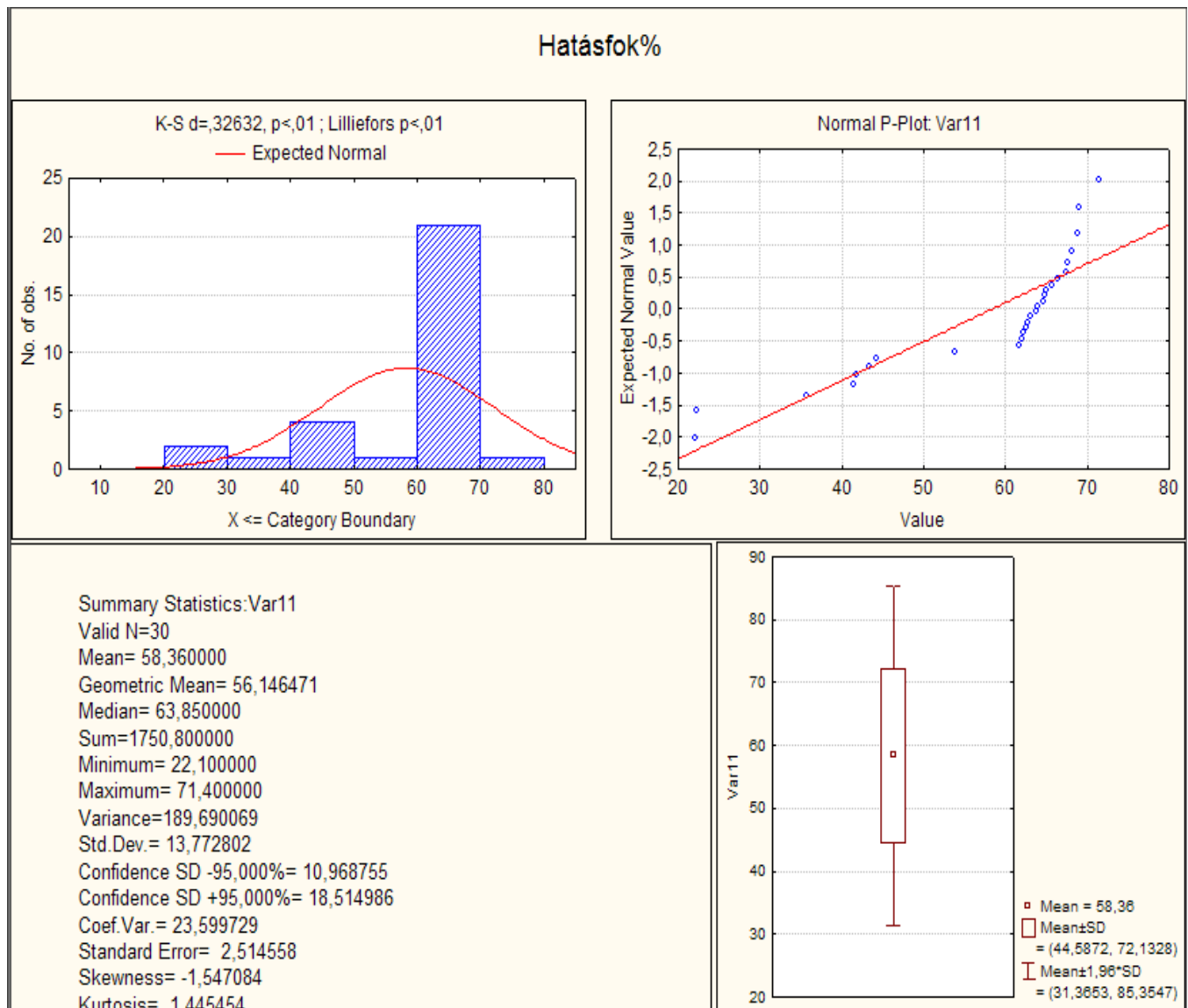


26. ábra: Fapellet füstgázelemzése

A kis pellettüzelő kályhák és kandallók 65-80 %-os hatásfokon működtethetők, míg a nagyobb pellet kazánokkal 85-90 % feletti hatásfok is elérhető (kondenzációs kazán esetén ennél is magasabb hatásfok érhető el). A vizsgált kis pellet kályhában a fapellet 65-70 %-os

hatásfok tartományban égett, tehát az eredmények hasonlóak a korábbi szakirodalmi adatokhoz. Megfigyelhető, hogy a légfelesleg tényező, hogy befolyásolta a hatásfokot. Ha túl nagy a légfelesleg, a hatásfok csökken. Eltérő eredményeket kaptam a hatásfokra a különböző adagolási beállítások esetén is, három különböző beállítást vizsgálva, a maximális adagolást beállítva lett a legjobb a hatásfok. Kisebb pelletadagolási beállításokon a hatásfok mediánja 63-65% volt, közepes adagolással 65-67%, míg a legmagasabb beállításon 67-69%. A fenyő alapú fapellet gyorsan begyulladt, 30-40 sec alatt. A félórás mérések során természetesen az első pár percben és a leégési fázisban alacsonyabb hatásfok, és magasabb CO értékek jelennek meg.

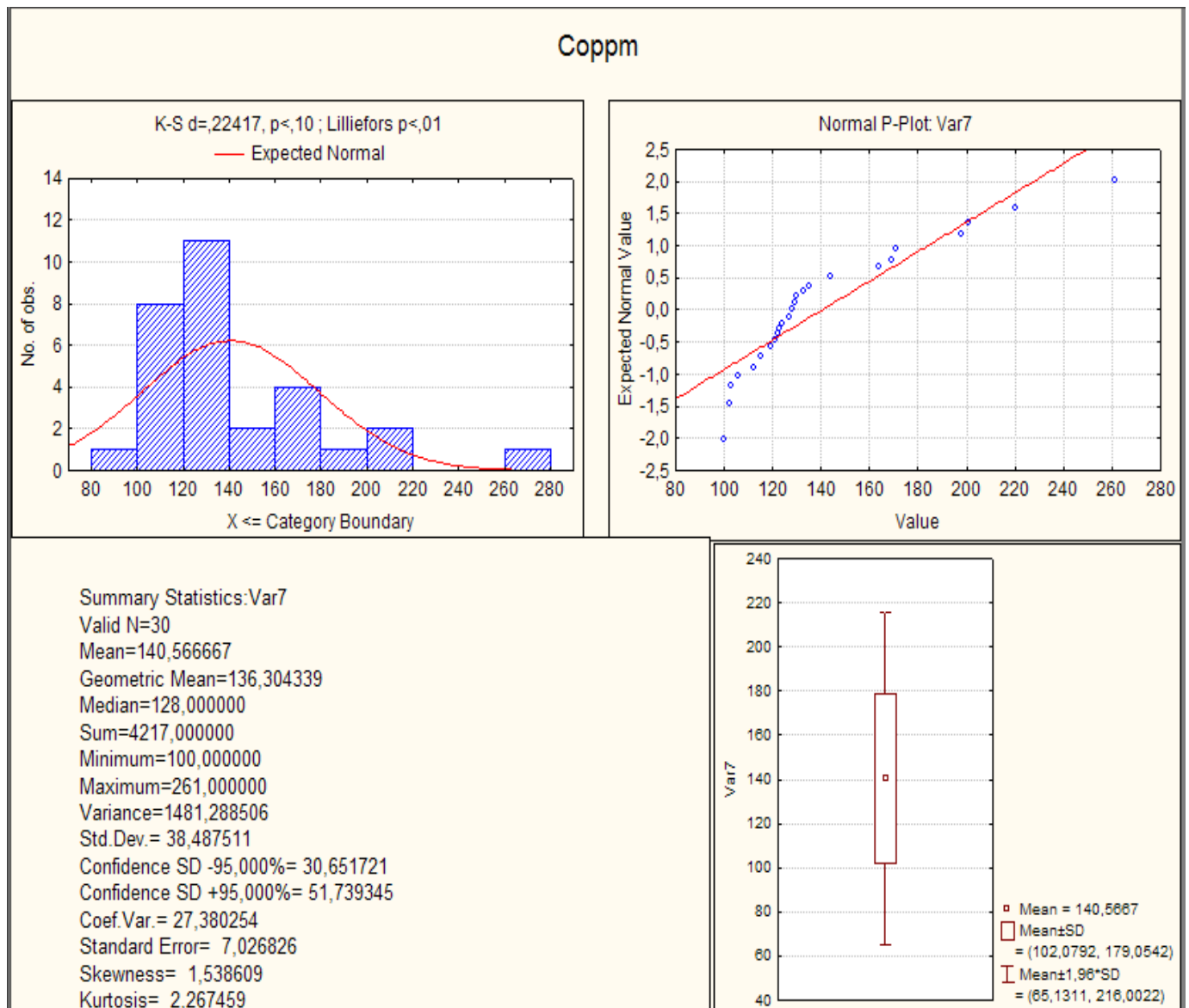
Az adatokat egy statisztika program segítségével is ábrázoltam. A 27-es ábrán a hatásfok értékeinek eloszlása látható, a legkisebb adagolási beállításon, a Petőházán előállított, tiszta fenyő alapú pellet vizsgálata során. Az ábrán megjelenő kiugró hatásfok értékek a mérés elején, valamint főként a leégési fázisban jelentek meg. A fapellet a mérések során, a többi vizsgált agripellet mintához képest egyenletesen égett, az adatok 80%-a a 60-70 %-os tartományba esett.



27. ábra: Fapellet füstgázelemzése, hatásfok

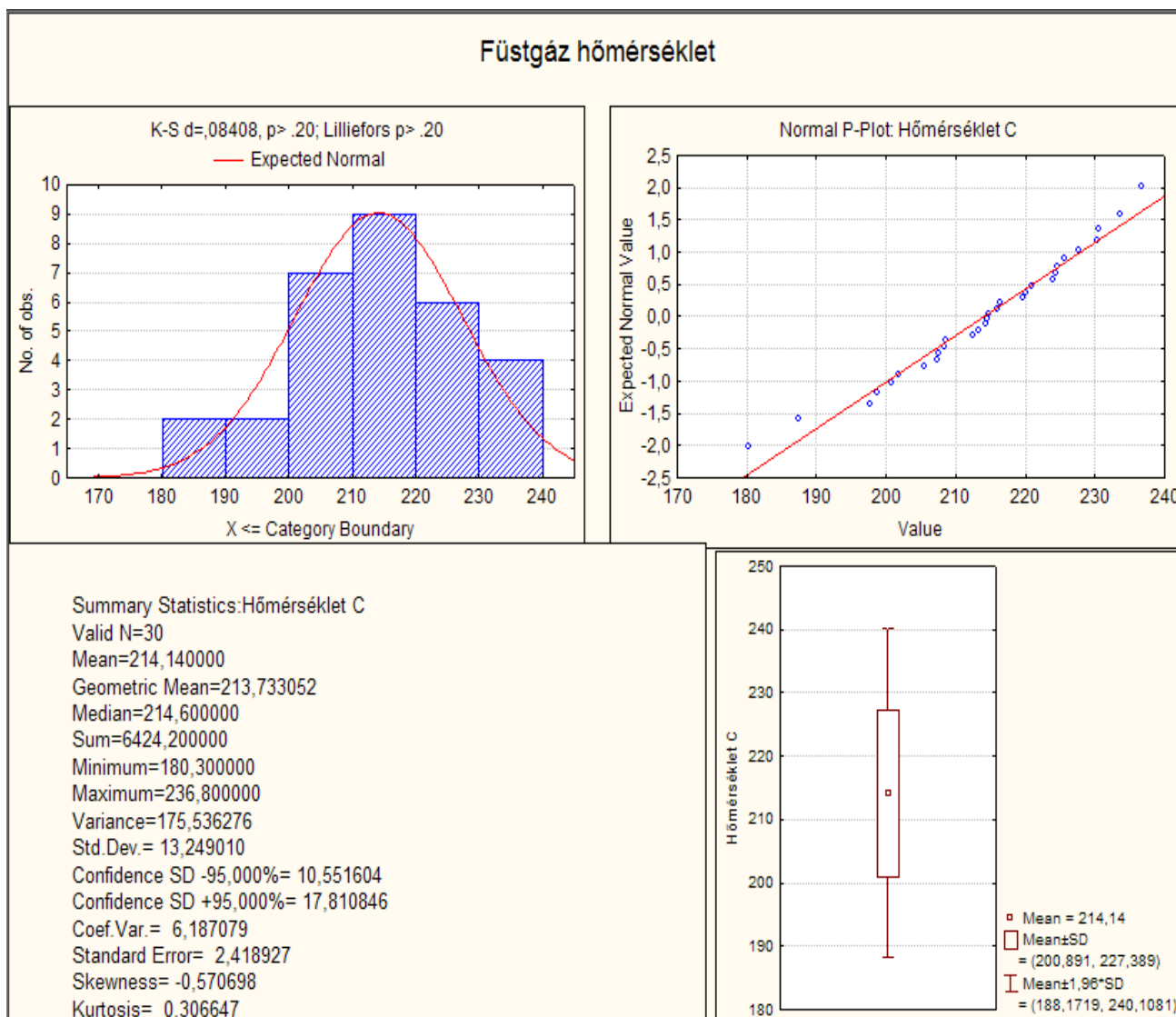
A nagyobb lángbeállítással, a pellet adagolás gyorsításával, ill. a légfelesleg tényező megfelelő beállításával javítható a hatásfok.

A következő ábrán a füstgáz szénmonoxid tartalma látható ppm-ben. Ha magas a CO akkor nem volt jó az égés. Ezt okozhatja a nem megfelelő minőségű tüzelőanyag, vagy a rosszul beállított tüzelő berendezés. A vizsgált kisberendezésben a fapellet tüzelése közben ritkán emelkedett a CO érték 150 ppm fölé. Az adatok legnagyobb része a 110-130 ppm-es tartományba esett, ami fapellet esetén magas, bár kis pellet tüzelők esetén még elfogadható érték. A kiugró értékek a mérések végén a leégési fázisban jelentek meg.



28. ábra: CO ppm fapellet füstgázelemzése során

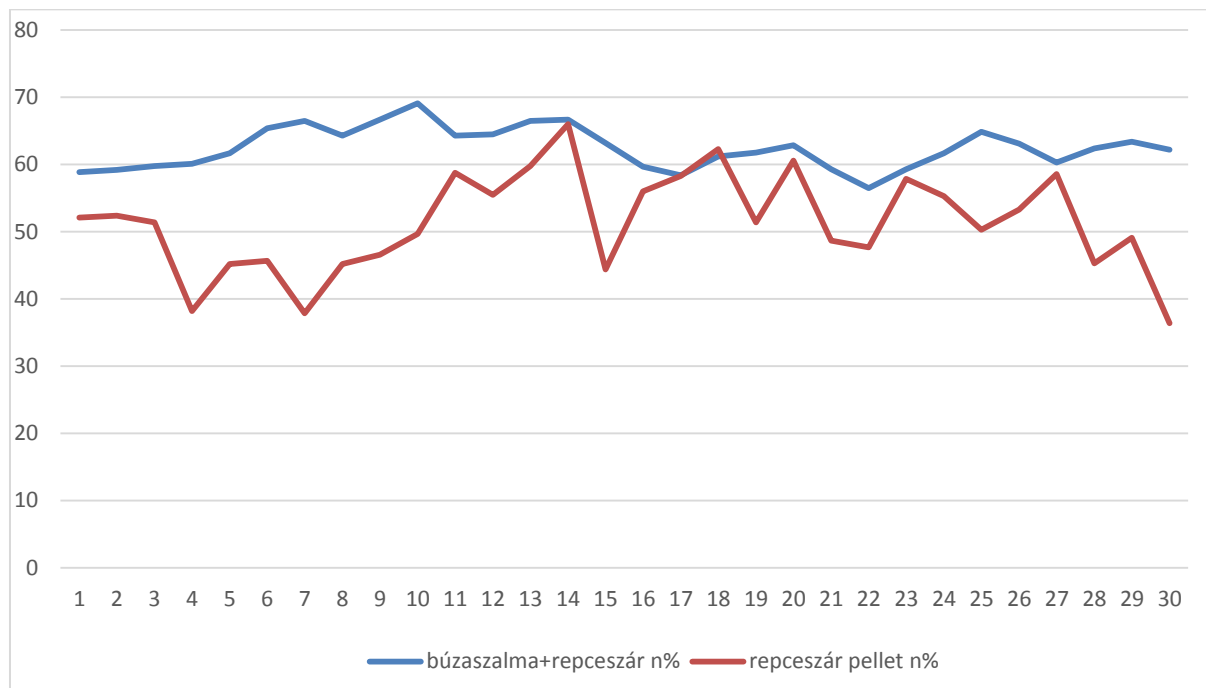
A 29-es ábrán a füstgáz hőmérsékletének változása látható. Ha túl magas a távozó füstgáz hőmérséklete, az energetikailag veszteséges lehet. A füstgáz elvezetését meg lehet úgy oldani, hogy távozás közben is melegítse a helyiséget. A vizsgált fapellet tüzelése közben a füstgáz hőmérséklete 200-210 C°-os tartományban volt a leggyakrabban, de előfordult ennél alacsonyabb és magasabb hőmérséklet is. A legalacsonyabb mért érték 180,3 C° míg a legmagasabb 236,8 C° volt. Ezek az adatok fa kis pellet tüzelőben való égetése során optimális értékek.



29. ábra: Füstgáz hőmérséklet fenyő alapú pellet égetése során

A repce-szárból előállított pellettel is végeztünk füstgázelemzési kísérletet. A hatásfok 50-55 % körüli volt a legjobb esetben a nagyobb beadagolással. Az égés során néha megugrott a szénmonoxid szint, volt, hogy az 400 ppm-et is elérte. A füstgáz hőmérséklete is sokkal alacsonyabb volt, mint fapellet tüzelése esetén, 150 Celsius körül alakult. A jövőben további füstgázelemzési kísérletekre lesz szükség, érdemes lenne agripellet kazánban vizsgálni a pelletet, melyre sajnos a doktori munkám során nem volt lehetőségem. A repceszár pelletből a szentesi T&T Technik Kft.-től is kaptam mintákat, valamint repceszár és búzaszalma keverék pelleteket is vizsgáltam. A hatásfok, a légfeszesség-tényező, az elméleti levegő mennyiség és a külső léghőmérséklet alakulása látható a tiszta repceszár pellet mérése során a mellékletben elhelyezett XXVII. ábrán.

A Szentendről hozott repceszár, valamint repceszár-búzaszalma 50%-os keverék pellettel háromszor elvégeztem a füstgázelemzési mérést. A hatásfok, CO, és a füstgázhőmérséklet is gyakran változott, az adatok nagy szórást mutattak. A pelletek begyűjtése során a repceszár pelletnek 1,5-2 perc kellett mire megkezdődött az égés, a keverék pellet 50-60 sec alatt begyulladt.



30. ábra: Hatásfok változása repceszár és búzaszalma-repceszár keverék pellet esetén

Ahogy az ábrán is látható, a keverék pellet sokkal egyenletesebben, magasabb hatásfok mellett égett, mint a tisztán repceszárból készült tömörítvény. A következő táblázatban a mérési eredmények medián értékeit foglaltam össze.

19. táblázat: Füstgázelemzés medián értékei repceszár és búzaszalma keverék pellet esetén

	repceszár pellet			búzaszalma-repceszár keverék pellet		
	hatásfok (%)	CO (ppm)	füstgáz C°	hatásfok (%)	CO (ppm)	füstgáz C°
1.mérés	51,4	195	154	62,4	165	166
2.mérés	50,5	205	148	61,3	168	161
3.mérés	51,2	198	150	61,1	171	159

A továbbiakban a hatásfok részletesebb statisztikai vizsgálatára térek ki, mivel ezt az értéket építettem be az energia-mérleg számolásoknál a visszanyerhető energia mennyiség meghatározásakor. Az első lépés a szórás meghatározása, (az átlagtól való eltérések négyzetének átlaga a variancia, s az ebből vont négyzetgyök után kapjuk a szórást) mely az alábbi képlettel számolható:

12. képlet

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Ahogy a kiugró értékek alapján várható volt, a repceszár pellet hatásfok értékeinek szórása a három mérés során 7,3-7,9 érték közé esett, a keverék pelletnél a szórás kisebb, 2-2,6 volt.

SPSS statisztika programban elvégzett F-próba alapján, a minták jellemzésére alkalmazható a t-próba. Egymintás t-próba alapján, 95%-os konfidencia intervallumon a repceszár hatásfokának átlag értékei 48,5-54,1 közötti tartományban elfogadhatók. A keverék pelletek hatásfoka a statisztikai próba alapján 60-62,8 értékek közötti intervallumba esik. Ezek után arra szeretnék matematikailag is választ kapni, hogy a repceszár valamint a keverék pelletek hatásfok átalagainak eltérése között szignifikáns-e a különbség. Erre legegyszerűbben a páros t-próba alkalmazásával kaphatok választ. A két csoportot összehasonlító paraméteres próbák (t-próbák) az átlagos változást vizsgálják, nullhipotézisük az, hogy a két vizsgált sokaság átlaga azonos ($\mu_1 = \mu_2$). A kísérletek esetén az adatpárok különbségét véve egyetlen adatsort kapunk, a normalitás feltétele erre a különbség-adatsorra vonatkozik [Fidy-Makara 2005]. A próbát elvégezhetjük a különbség-átlagra vonatkozó adott megbízhatóságú konfidencia-intervallum segítségével: ha a 0 belesik a konfidencia-intervallumba, az eltérés nem-szignifikáns adott szinten, ha kívül esik, akkor az eltérés szignifikáns. A statisztikai szignifikancia megállapítását mégis leggyakrabban a különbség-minta átlagából képzett, t -vel jelölt mennyiség segítségével vizsgálják, amely még az elemszámtól és a különbség szórásától is függ:

13. képlet

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d} \cdot \sqrt{n}$$

ahol d a különbségek átlaga, s_d a különbségek standard deviációja [Fidy-Makara 2005].

Bebizonyítható, hogy ha a normalitás feltétele teljesül és igaz a nullhipotézis, akkor a fenti mennyiség Student-féle t -eloszlást követ, $n-1$ szabadságfokkal. Ha valóban nincs különbség az összehasonlítandó két csoport között, akkor a t is kicsi lesz, közel nullához. A t -eloszlás táblázatából adott szignifikanciaszint és szabadságfok mellett meghatározható, hogy mi az a határ, ameddig „elfogadhatóan kicsi” a t -érték, az ún. kritikus t -érték ($t_{\alpha, n-1}$). Ha az általunk számolt t -érték abszolút értéke nagyobb, mint a kritikus érték,

14. képlet

$$|t| > t_{\alpha/2, n-1}$$

akkor az alternatív hipotézis mellett döntünk, azaz elvetjük a nullhipotézist, és azt mondjuk, hogy a különbség szignifikáns. Ha

15. képlet

$$|t| < t_{\alpha/2, n-1}$$

akkor a nullhipotézis mellett döntünk, és azt mondjuk, hogy a különbség nem szignifikáns.

Ma már a kritikus értékek táblázatból való kikeresése helyett inkább az ún. p -értéket használják a döntéshez, mivel ezt a legtöbb statisztikai rendszer kiszámítja. Ekkor a p -érték és összehasonlításával döntünk. A p -érték annak valószínűsége, hogy ha igaz a nullhipotézis, akkor legalább a most kapott vagy még nagyobb abszolút értékű t -értéket kapjunk [Fidy-Makara 2005].

A próbát SPSS-ben elvégeztem a repceszár és keverékek hatásfokának összehasonlítására, valamint az azonos méréseket is összehasonlítottam vele. Ezek alapján a repceszár és keverék pelletek hatásfokában szignifikáns eltérés van, míg a három ismételt mérés adatai nem térnek el egymástól jelentősen. A részletesebb elemzést a XXVI. mellékletben helyeztem el.

10.5 A pelletálás előállításának és hasznosításának összesített energia hatékonysága

Az előző fejezetekben részletesen bemutattam különböző technológiák, és szállítási távolságok figyelembe vételével az előállítás és hasznosítás során a primer energia igényeket. A kérdés, hogy a folyamat során, mennyi energiát nyerhetünk a termékből. Az energia hatékonyság, és EROEI értékek, vagyis az energia input és output aránya, a termék energiatartalmától, a számolás során az egységnyi tömegre vetített fűtőértéktől is függ. Míg fapelletnél ez az érték a pelletek 8-9%-os nedvességtartalmához viszonyítva 17-18,5 MJ/kg körüli, agripelleteknél 15,5-16,5 MJ/kg értékek jelennek meg. Napraforgó héj esetén az olajtartalom miatt ennél magasabb, 17-17,9 MJ/kg. Az előállítási folyamatok EROEI vizsgálatai, melyek a szakirodalom alapján főként fapelletre, agripelletek esetén pedig búzaszalmára irányultak, nem veszik figyelembe a pellet tüzelés során a hatásfokot, valamint a pellettüzelés energia igényeit sem. Ha csak az előállítási folyamatot vizsgálom, a kész termék energiatartalmához mérten jelennek meg az energiahatékonysági mutatók. Azonban véleményem szerint, ha a teljes folyamatot vizsgálom, figyelembe kell venni a pellettüzelés hatásfokát is. Ezért az egységnyi tömegű termék energiatartalmát csökkenteni kell a tüzelés során fellépő veszteségekkel. Erre bevezettem a számolásba egy szorzótényezőt, a pellettüzelők hatásfoka, illetve a kispellet tüzelőben végzett vizsgálatok alapján. Szakirodalmi adatok alapján a fapellet tüzelés hatásfoka kazánokban 85-90 % körüli, míg pelletkályhák

esetén 70-80 % [Petrovic et al. 2015, Houck –Scott 2001, EPA 2016]. Agripelletknél a kazánok hatásfoka 80-90%, a kisebb berendezésekben 60-80%-os értékek jelennek meg [Vermont Grass Energy 2011, Dutta –Scotia 2010, Nosek et al 2012, Carroll-Finnan 2013]. Természetesen a különböző anyagok fűtőértéke, a gyártás során ráfordított energia, és a tüzelés hatásfoka is eltérő, ezért az energia mérlegre alapanyag függvényében is eltérő értéket kapunk.

16. képlet

$$\mathbf{E}_{\text{input}} = \sum \mathbf{E}_{\text{kt}} + \mathbf{E}_{\text{bsz}} + \mathbf{E}_{\text{sz}} + \mathbf{E}_{\text{a}} + \mathbf{E}_{\text{pel}} + \mathbf{E}_{\text{ksz}} + \mathbf{E}_{\text{t}} \quad \text{ahol:}$$

E_{kt} : az alapanyag kitermelésének egységnyi tömegre vetített energia igénye (energiaültetvény, hasábfá, farönk felhasználás esetén, agripelletnél bálázás)

E_{bsz} : az alapanyag egységnyi tömegre vetített beszállításának energia igénye

E_{sz} : az alapanyag egységnyi tömegre vetített szárításának energia igénye

E_{a} : az alapanyag egységnyi tömegre vetített előaprításának energia igénye (darabos faanyag esetén)

E_{pel} : a pelletálási folyamat egységnyi tömegre vetített energia igénye (darálás, tömörítés, hűtés, csomagolás, szállító szalagok energia igénye, rakodás energia igénye)

E_{ksz} : a kész termék egységnyi tömegre vetített szállításának energia igénye

E_{t} : a pellet tüzelés során az egységnyi tömegre vetített energia felhasználás

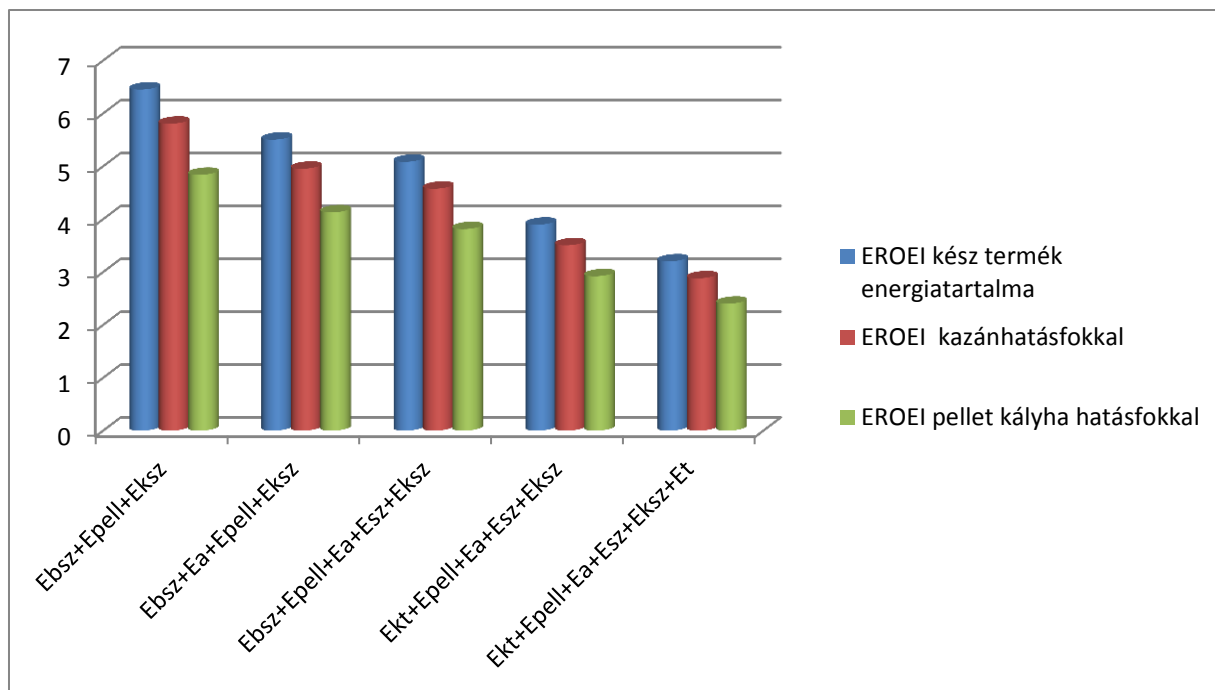
17. képlet

$$\mathbf{E}_{\text{out}} = \mathbf{E}_{\text{pe}} * \mathbf{e}_{\eta} \quad \text{ahol:}$$

E_{pe} : egységnyi tömegű pellet fűtőértéke

e_{η} : szorzótényező, a tüzelés hatásfoka alapján 0,6-0,9 közötti érték [Petrovic et al. 2015, EPA 2016, Nosek et al 2012, Carroll-Finnan 2013, kis pellettüzelőben végzett saját mérések alapján]

A fapellet előállítás esetén tehát jelentős eltérések adódnak a különböző technológiai primer energia igények miatt, kell-e szárítást alkalmazni, az alapanyag melléktermékként jelenik-e meg, darabos faanyag esetén további előaprítás is szükséges, valamint a kész termék szállítási távolsága is jelentősen megváltoztatja az EROEI értékeket. A pellet tüzelés során használt primer energia és a tüzelés hatásfokának figyelembe vétele is jelentősen csökkenti az összesített értékeket.

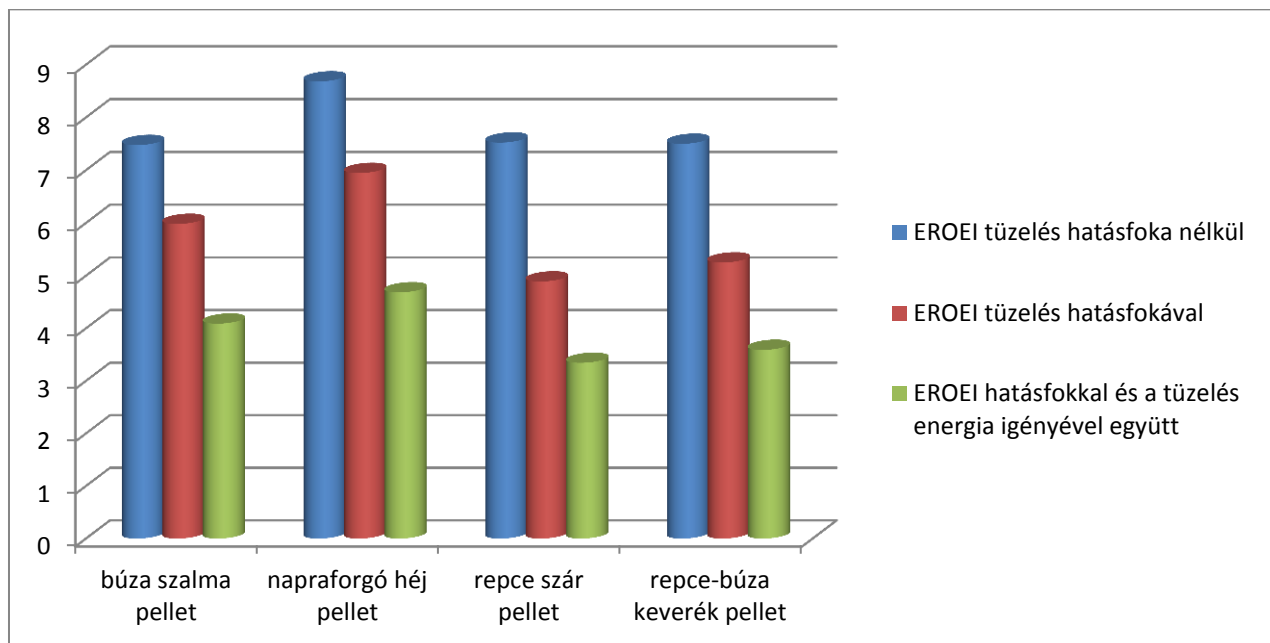


31. ábra: Fapellet gyártás EROEI értékei különböző technológiai folyamatok esetén

Az eredmények alapján az alap gyártási technológia EROEI értékéhez képest, mely a szállítási energiák és szárítás nélkül 11-13 EROEI érték faforgács esetén [Papp-Marosvölgyi 2011], a különböző munkafolyamatok és szállítási útvonalak figyelembe vételével 4-6,5 értékre csökken. Ha a késztermék energiatartalmát csökkentem a kazán vagy pelletkályhák hatásfokával alap technológia és szállítás esetén 4,5-5,5, szárítással 4,3-3,5 értékre csökken. Legrosszabb esetben, ha az alapanyag nedves, és előaprítást is kell alkalmazni, valamint a fakitermelés energiaigényét [Németh 2016] is beleszámítom már csak 2,1-2,5 értéket kapunk. Itt meg kell jegyezni, hogy nem a fakitermelés, vagy energia ültetvény kitermelésének energia igénye a sok. Egy atrotonnára vonatkoztatva 150-200 MJ/t [Németh 2016], élőnedves faanyagra 70-95 MJ/ tonna értékek jelennek meg. A probléma ez esetben, hogy egy kész terméket, hasábfát, vagy éppen aprítékot használnak fel, mint pellet alapanyag. Ezen alapanyagok hasznosítása során minden esetben alkalmazni kell szárítási és előaprítási technológiát is, melyek jelentősen megnövelik az energiabevitelt. Az energia input-output aránya, 1-es érték alatt már teljesen veszteséges, ekkor több energiát fektetnének az egész előállítási folyamatba, mint amit visszanyerhetünk. A 2-3 körüli értékek sem túl jók, és itt kell megjegyezni, hogy a pelletálás gépeit is elő kell állítani, illetve a kazánok előállításának is van energia igénye, melyeket ha beleszámítanék az egész folyamatba egyre közelítenénk a kritikus érték felé. Azonban egyelőre a gépsorok előállításának energia igényéről, valamint a különböző kazán előállítás energia igényéről kevés hozzáférhető információ áll rendelkezésre, a téma még kis mértékben feltárt.

Agripelleteknél az összesített EROEI valamint az energia hatékonyság meghatározásához a primer villamos energia igényeket, a bálázást valamint átlagos 30 km-es beszállítási távolságot, és 100 km-es szállítási távolságot vettem figyelembe a késztermékre. Elkülönítettem a különböző anyagok fűtőértéke alapján a visszanyerhető energia

mennyiségeket, valamint figyelembe véve a tüzelés hatásfokát, és a pellet tüzelés során használt primer villamos energiát határoztam meg az EROEI értékeket.



32. ábra: Agripellet előállítás EROEI értékei különböző alapanyagok esetén

Ahogy az ábrán is látható, jelentős eltérések adódnak alapanyagoként, mely egyrészt az eltérő fűtőértékekből, másrészt a tüzelés hatásfokából is adódik. A legjobb értékek napraforgó héj pellet esetén jelennek meg, figyelembe véve a gyártás és szállítás primer energia igényeit, és a kész termék energia tartalmát az EROEI 8,6-os érték, ami ha figyelembe vesszük a tüzelés hatásfokát 6,7-re csökken, és tovább csökken ha a tüzelés során használt primer energiát is beleszámítom. A repceszár pellet értékei lettek a legalacsonyabbak, amit a gyengébb hatásfok eredményezett. Ez esetben az EROEI 7,3-ról 3,1-re csökken, ha a hatásfokot és a tüzelés során használt energiát is figyelembe veszem.

Ha a melléktermékek képződése során felhasznált műtrágyát, illetve a műtrágya előállításának az energia igényét is figyelembe veszem, ami további 580-680 MJ/tonna energia bevitelt jelent, az EROEI értékek a teljes folyamatra már csak 3,8-2,7 érték közé esnek.

11 A pelletgyártás szén-dioxid kibocsátása

A biomassza tüzelés során elterjedt általános tévhit szerint, nem történik széndioxid kibocsátás. Valóban igaz, hogy a növények életük során a légkörből megkötik a CO₂-t, azonban a tüzelés során ez visszakerül az atmoszférába. A biomassza feldolgozása, szállítása során fosszilis energiákat használnak fel, így ha a biomassza tüzelőanyag kibocsátását nullának tekintjük, még akkor is történik CO₂ kibocsátás. További kérdést vet fel, hogy a faanyag újratehermelődéséhez mennyi időre van szükség. Optimális esetben a fapellet gyártás alapanyagai faipari melléktermékek, de sajnos egyre több példa van arra, főleg Kanadában és az Egyesült Államokban, hogy hasábfát és rönköket is felhasználnak [Yassa 2015]. Sajnos Európában és hazánkban is szerepel a pellet gyártás alapanyagai között a nagyobb darabos faanyag és a bútorgyártásra alkalmatlan, gyengébb minőségű rönkfa [Jancsó 2015, German Pel. 2012, Weiss 2011] Ebben az esetben a pelletálás energia igényéhez, hozzáadódik a fa kitermelésének energia igénye is. A fák életciklusa fafajától függően változó, általánosan 30-100 év között alakul. Ez a CO₂ megkötés szempontjából, azért is problémás, mert a megkötés üteme lassú, főleg ha a CO₂ szintet a következő 10-30 éven belül kellene radikálisan csökkenteni, ha a globális átlaghőmérséklet emelkedését 2 Celsius fok alatt szeretnék mérsékelni. A fapellet gyártás CO₂ kibocsátásának becslésére született tanulmányok nagy része szerint a pelletfűtéssel jelentős széndioxid megtakarítás érhető el [Energy Ltd. 2016, Wiley 2010, Alliance for green heat 2010]. A CO₂ kibocsátás értékét 10-60 g/kWh közé teszik, ami véleményem szerint nagyon alacsony. Ezekben a tanulmányokban nem jelenik meg a pellettüzelők energia felhasználása, és sok esetben gazdasági adatokhoz viszonyítva végzik a számolást, melyekben nem jelennek meg a primer energia igények. Csak néhány tanulmányt lehet olvasni, amiben rávilágítanak a folyamat során a túlzott energia ráfordításra,(főleg Kanada-EU szállítás során) valamint a fák CO₂ megkötésének ütemét is mérlegelték [Yassa 2015, Haan 2010, Gerrit et al. 2014].

A lágyszárú melléktermékek, az agripellet gyártás alapanyagai évente újratehermelődnek, így a CO₂ megkötés is gyorsabb ütemű, azonban a mezőgazdaságban használt nagy mennyiségű nitrogén műtrágya alkalmazása miatt a folyamat egyáltalán nem tekinthető környezetbarátnak. Igaz, a nitrogén műtrágyázás a főtermék energia mérlegét terheli, azonban a folyamat egészét nézve a szén-dioxid és dinitrogén-oxid kibocsátás is jelentős. Egy másik probléma, hogy a dinitrogén-oxid sokkal nagyobb globális-felmelegedési potenciállal rendelkezik, mint a széndioxid. A globális felmelegedési potenciált (GWP, azaz *Global warming potential*) gázok üvegházhatásának számszerűsítésére használják. Azonos tömegű szén-dioxidhoz képest határozzák meg az értékét, meghatározott időintervallumra (ez általában 100 év). A szén-dioxid GWP-je definíció szerint 1, míg metán esetén húsz éves periódusra 62 GWP, 100 évesre 23, a dinitrogén oxid száz éves periódusban 296 GWP-nek felel meg [IPCC 2001]. A pelletálás alapanyagai lehetnek a fás szárú energiaültetvények is, mely életciklusa és a CO₂ megkötés is jelentősen gyorsabb, mint a hagyományos erdészeti termelésé. Azonban ebben az esetben szintén mérlegelni kell a termelés és betakarítás során megjelenő energia-igényeket és kibocsátásokat is, melyek hozzáadódnak a pelletálási folyamathoz. Továbbá, az energiaültetvények termesztése során is jelen lehet a műtrágya használata, így a kibocsátások már jelentősen növekedhetnek.

Az előző fejezetekben részletesen bemutattam a pelletálási folyamatokhoz tartozó energia igényeket, erre építve meg lehet határozni egy közelítő értéket a folyamat CO₂ kibocsátására. A kérdés az, hogy a villamos energia fogyasztásnak mennyi a fajlagos CO₂ kibocsátása. Magyarországon sajnos sok erőmű elavult, alacsony hatásfokkal üzemel. Az XIII. mellékletben elhelyezett diagram az erőművek hatásfoka függvényében szemlélteti a CO₂ kibocsátást, szén, földgáz és olaj esetén. Az ábra mutatja, hogy a hatásfok szerepe jelentős. Például gáztüzelés esetén a 35% hatásfokú gőzkörfolyamatú erőmű (pl. Dunamenti F blokkok) lecserélése korszerű, 55% hatásfokú kombinált ciklusú erőműre (pl. Gönyüi Erőmű) 586 g/kWh-ról 373 g/kWh-ra, vagyis 36%-kal csökkenti a fajlagos kibocsátást [Gács et al. 2014] A XV. mellékletben elhelyezett táblázat 2008-as adatok alapján szemlélteti az országban használt különböző fosszilis anyagra épülő villamos erőművek kibocsátási értékeit. Ez alapján a legjobb esetben, földgáz tüzelésű kombinált gáz-gőz erőműnél 0,34-0,4 tonna CO₂/MWh_e értékek jelennek meg. A hazánkban jellemzőbb, 30-40 %-os hatásfokú földgázt használó rendszerekhez 0,62-0,92 közötti értékekkel számolhatunk, míg széntüzelés esetén a kibocsátás még ennél is rosszabb, 0,88-1,56 tonna CO₂/MWh_e között alakul. A biomassza alapú, illetve vegyes tüzelésű energiatermelés CO₂ kibocsátása valamivel jobb, azonban hazánkban ezek az erőművek, szintén alacsony hatásfokkal működnek, és részük az összes villamos energia termelésen belül alacsony.

A felhasznált energiaforrások tekintetében az Energetikai Központ 2011-es adatai alapján a következő a megoszlás:

- 37%-a hasadóanyag,
- 29%-a szénhidrogén, földgáz
- 14%-a szén,
- 7%-a megújuló energiaforrás,(6% biomassza)
- 13%-a import.

Mivel hazánkban a villamos energia közel 40%-a atomerőműből származik, a CO₂ számításokat külön választottam, hiszen ez alapján jelentős eltérések jelennek meg a kibocsátási értékekben. A fosszilis fűtőanyagok használatával szemben a nukleáris energiatermelés nem jár közvetlen ÜHG kibocsátással. Az atomenergia termelés környezeti hatásai azonban, a használt fűtőelemek tárolása miatt jelentősek. Sajnos köztük nagyon hosszú felezési idejű radionuklidok is találhatóak. Beláthatatlan az, hogy a ma biztonságosnak tűnő hulladék elhelyezése néhány száz vagy ezer év múlva okoz-e környezeti szennyezést [Somlai 2004]. Az atomenergia nem termel üvegház-gázokat az energia előállításának fázisában, de van kibocsátás az üzemanyag bányászata és dúsítása, az erőműépítés, a kiégett fűtőelemek és melléktermékek elhelyezése, a hulladékkezelés és az erőművek leszerelése során. Tehát a nukleáris ciklusban is történik CO₂ kibocsátás, mert fosszilis alapú energia kell az uránbányászathoz és az üzemanyag előállításához, a ciklus létesítményeinek felépítéséhez és az építőanyagok előállításához. Az elektromos energia-termelési láncban az összes ÜHG

kibocsátás nagymértékben függ az erőmű tulajdonságaitól (típus, kapacitás, hatásfok, rendelkezésre állás, élettartam) és az erőmű földrajzi elhelyezkedésétől [Szerbin 2011].

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség, az OECD International Energy Agency és a World Energy Council által publikált adatokból számított ÜHG kibocsátási értéktartományok (t CO₂eq/GWh) az egyes energiatermelési láncokra vonatkozva és a teljes élettartamot figyelembe véve határoztak meg egy közelítő értéket [Szerbin 2011]. Az adatokból kiderül, hogy a nukleáris ciklus kibocsátása a teljes élettartamot figyelembe véve 2-59 tonna CO₂ egy gigawattóra megtermelt elektromos energiára vetítve. Egy XII. mellékletben elhelyezett ábra szerint, az erőművek fajlagos CO₂ kibocsátása alapján a nukleáris energianál 3,72 g CO₂/kWh értékkel számolhatunk.

A pelletálási folyamat során, sajnos nem csak a villamos energia igény jelentős. A hosszú szállítási útvonalak miatt, a vizsgált üzemekben, az alapanyag beszállítása, és főleg fapellet esetén a külföldi értékesítés miatt, a kész termék szállítására fordított energia is számottevő. A szállítás és anyagmozgatás során alkalmazott gépek gázolaj fogyasztása alapján becsülhető a CO₂ kibocsátás. Az XI. mellékletben elhelyezett ábra, különböző üzemanyagok kibocsátási értékeit szemlélteti, ez alapján a gázolajhoz 0,07 tonna CO₂/GJ_ü értékkel számolok.

A számolás során elkülönítettem három kibocsátási értéket, a hazánkban alkalmazott villamos erőművek alapján. Az erőmű 1 jelölésnél 0,86 tonna CO₂/MWh_e értéket, az erőmű 2-nél 0,46 t CO₂/MWh_e míg atomenergia esetén, 0,0037 kg CO₂/kWh. Atomenergia esetén a számolásban a villamos energiáknál a CO₂ kibocsátás értéke minimális, ebben az esetben a szállításból adódó kibocsátások jelennek meg.

20. táblázat: Fapellet gyártás és hasznosítás CO₂ kibocsátása (kg/tonna)

egy tonna fapellet/ CO2 kg	CO2 kibocsátás erőmű 1	CO2 kibocsátás erőmű 2	CO2 kibocsátás atomerőmű
pelletálási folyamat+beszállítás	174	106	26
pelletálási folyamat + előaprítás	211	124	26,5
pell. folyamat +szárítás	279	164	32
pell. folyamat +szállítás Ausztria	288	173	40
pellt. folyamat+szállítás Olaszó.	333	218	86
pell. foly. + szállítás O. + pelletkályha	432	276	87
pell. foly. + szállítás O. + pelletkazán	418	268	87
pell. foly+szállítás+szárítás+pelletkályha	499	307	94
1 tonna pellet égése során felszabaduló	1800	1800	1800

Agripelletek esetén, mivel a vizsgált üzemekben nem alkalmaztak szárítást, valamint a kész terméket belföldön értékesítik, jelentősen kevesebb volt az energia ráfordítás, és így a széndioxid kibocsátás is. Természetesen, ha alkalmaznának szárítást, vagy hosszabb távra szállítanák a kész terméket, a fapellet gyártáshoz hasonló értéket kapnánk.

21. táblázat: Agripellet gyártás CO₂ kibocsátásai (kg/tonna)

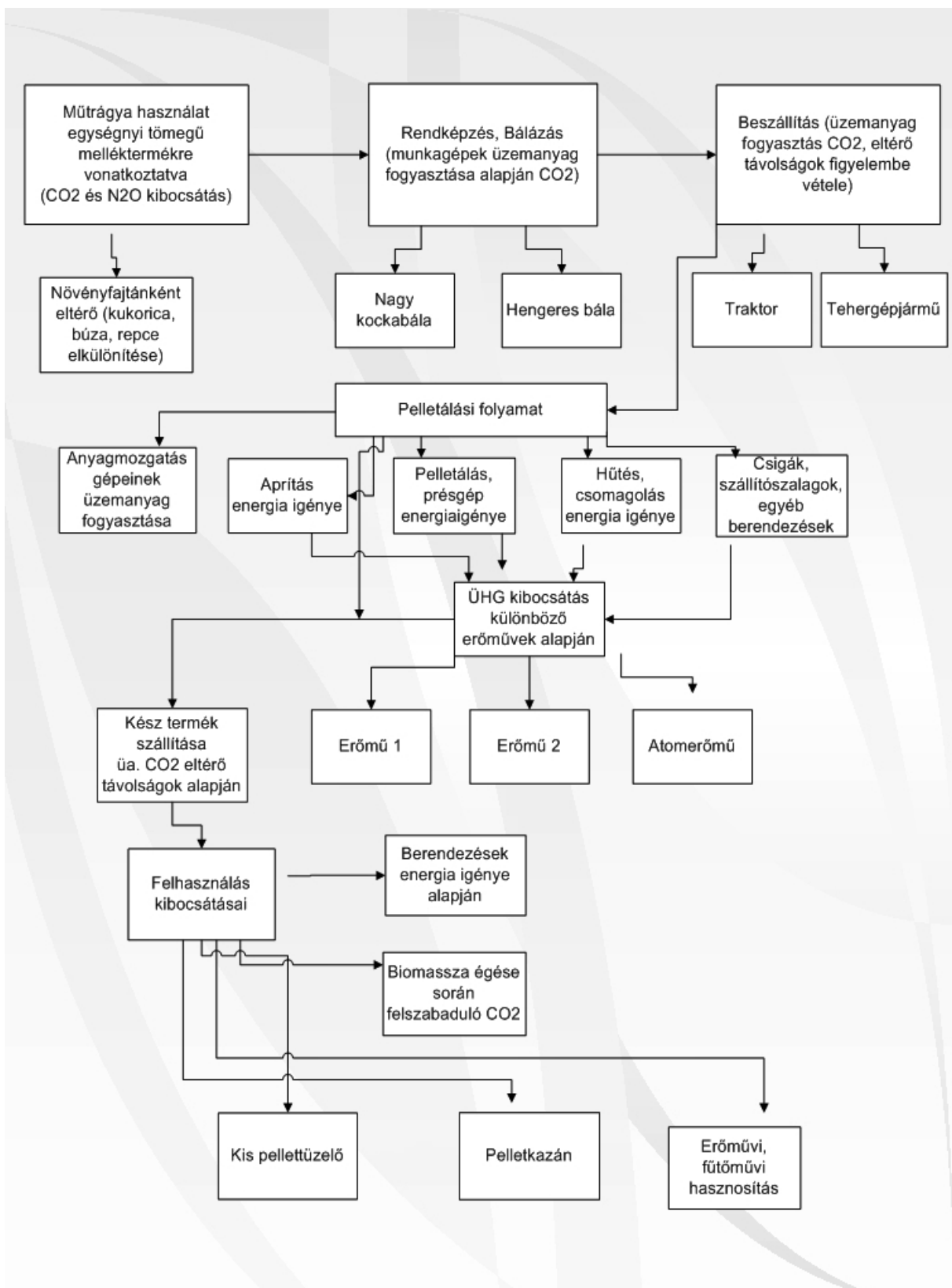
tonna pellet/CO ₂ kg	CO ₂ kibocsátás (kg) erőmű 1	CO ₂ kibocsátás (kg) erőmű 2
bálázás	5,9	5,9
beszállítás 10 km	6,9	6,9
beszállítás 30 km	10,9	10,9
rakodás, anyagmozgatás	7,6	7,6
pelletálási folyamat	158,4	92,4
kész termék szállítása 100 km	9,2	9,2
pellet tüzelés kályhában (6-12 kW)	99,6	58,1
pellet tüzelés kazánban(12-30 kW)	86,4	50,4
egy tonna pellet égése során	1800,0	1800,0

A pelletek égése során, az anyag szénttartalmától függően, 1 tonna 46-52 % széntartalmú biomasszából átlag 1800 -1877 kg CO₂ szabadul fel [Lamlom - Savidge, 2003]. A fapelletek 7-8%-os nedvességtartalmához mérten 1760-1800 kg CO₂/tonna értékkel számolhatunk [Haan 2010]. Ha nem vesszük figyelembe ezt az értéket, mert úgy tekintjük, hogy ezt a növény élete során a légkörből megkötötte, valóban történik széndioxid-megtakarítás, fosszilis tüzelőanyagokhoz képest. Tekintsünk most el a pelletből felszabaduló kibocsátástól, erre később még részletesebben kitérek. Az adatokból látható, hogy fapellet esetén 1 tonna pellet előállítás, szállítása és felhasználására fordított fosszilis energiákból, 280-500 kg széndioxid szabadul fel. Viszonyítási alapnak, a földgáz kibocsátási értékeit nézve, 0,055 t CO₂/GJü (1,96 kg/m³) értékkel számolva, a földgáz 36-37 MJ/m³-es fűtőértékét figyelembe véve fapelletből 2 kg, agripelletből 2,2 kg szükséges 1 m³ földgáz kiváltásához, ha a gázkazánok és pellettüzelők hatásfokát azonosnak tekintjük. Így egy tonna pelletnek körülbelül 500 m³ földgáz felel meg, mely felhasználása átlagosan 980 kg CO₂ kibocsátással jár. Ha itt figyelembe veszem a gáz kitermelésének hatásfokát és energia igényét, körülbelül 1070 kg CO₂ kibocsátás adódna. Azonban az erőművek CO₂ adatainál sem veszik figyelembe a felhasznált gáz vagy szén kitermelés energia igényét, ezért itt ezektől az egyébként környezetvédelmi szempontból fontos kérdésektől eltekintek. Ehhez képest, a pellet előállítás és szállítás során a legjobb esetben, ha minden villamos energia atomerőműből, vagy széndioxid „semleges” energiaforrásból származna, 100 kg kibocsátás történik, tehát ekkor jelentős lenne a CO₂ megtakarítás. Azonban hazai viszonylatban, főleg a nagy arányú külföldi értékesítés és hosszú szállítási útvonalak miatt, az erőművek gyenge hatásfokával, a 400-500 kg-os kibocsátási érték a reális. Ekkor még mindig történik megtakarítás, a ráfordított energiákból származó kibocsátás így fele, mint a gázfűtésé. Azonban itt kell végiggondolni, hogy a pellet anyagából felszabaduló, további kb. 1800 kg CO₂ is kikerül a légkörbe, és faanyag esetén, a megkötési idő viszonylag lassú. Ha ez hozzáadódik a pelletálás során ráfordított fosszilis energiákhoz, azt mondhatjuk, egy tonna pellet felhasználásával 2000-2300 kg CO₂-t juttatunk a légkörbe. Ami így több, mint duplája, 2,2-2,4-szerese a földgáz tüzelésből felszabaduló mennyiségnek. A fák szénmegkötő képessége fafajtól, talajtól és klímától függően is változik. Az XIII. mellékletben elhelyezett ábrán keményfák hektáronkénti szénmegkötését vizsgálta Marland 1992-ben. Ez alapján 50-60 évig a megkötés üteme gyorsul, majd 70-80 év után lassul a megkötés üteme. Míg a gyorsabban növekvő puhafáknál az első húsz évben gyorsul és 20-40 év között a legnagyobb a szénmegkötés.

Egységnyi területre vetítve viszont a lassú ütemben növvő, kemény-faanyagban halmozódik fel a legtöbb szén-dioxid [Brown et al 1997, Pinard - Cropper 2000, Cirby-Potvin 2007] Doktorimnak nem tárgya a különböző erdők szénmegkötő képességét vizsgálni, csak szerettem volna szemléltetni, hogy a megkötési idő viszonylag lassú. Ami azért problémás, mert az IPCC és National Atmospheric Administration jelentései alapján, a szén-dioxid és egyéb ÜHG szintet a következő években, egy-két évtizeden belül kellene jelentősen csökkenteni, amennyiben a melegedés folyamatát a még „fenntarthatónak” számított 2 Celsius alatt szeretnénk tartani. Az energiaültetvények szénmegkötése sokkal gyorsabb ütemű, azonban ahogy az energiamérlegnél is szemléltettem ebben az esetben a kitermelés, sőt az egész telepítési és kezelési folyamat energia igénye is hozzáadódik a pelletálási energiákhoz. Továbbá szinte minden esetben alkalmazni kell fás energiaültetvény tömörítése előtt szárítást, és előaprítást, így a folyamat környezetvédelmi szempontból már kérdéses. Szakirodalmi adatok alapján, átlagértékkel kalkulálva egy atrotonna fás szárú ültetvény kitermelésének energia igénye 500 MJ, mely a gépek üzemanyag fogyasztásából határoztak meg [Vágvölgyi 2014, Németh 2016]. Ezt hozzáadva és a gázolaj kibocsátásával számolva tonnánként további 35-40 kg CO₂ kibocsátással számolhatunk, ez az érték nem sok, azonban a szárítási és előaprítási folyamathoz hozzáadva jelentős. Magyarországon Borovics et al. 2015-ben publikált tanulmányukban vizsgálták energianyár, fűz és akác 7 éves periódusban mért hozamadatait és szénmegkötését. Kitértek a telepítés és vegyszeres kezelés szénkibocsátására is, eredményeik alapján a gépi munkák és kezelések során 0,25 tonna szén kibocsátás történik hektáronként, és ehhez adódik hozzá a kitermelés energia igénye és kibocsátásai. Eredményeik alapján a vizsgált fajok közül a nemesnyárak kötötték meg a legnagyobb mennyiségű szenet egységnyi területen az ültetvényben 7 év alatt. Az 'Sv-890' és 'Sv-879' fajtajelöltek hektáronként egyaránt 22-22 tonna szenet kötöttek le faanyagukban, de ugyancsak produktívnak bizonyult e téren az 'I-214' fajta is a maga 20,0 t/ha/7 éves megkötésével. A fehér fűz fajták közül az 'Express' mutatott magasabb szénmegkötést (19,4 t/ha/7 év) a 'Drávamenti'-vel szemben (8,9 t/ha/7 év). Az akác szénmegkötése faanyagának magasabb szárazanyag tartalmának köszönhetően szintén megközelítette a 20 tonnát hektáronként (18,8 t/ha/7 év). Egy intenzív fajttal közepes termőhelyen létesített ültetvény 7 év alatt két nagyságrenddel több szén megkötésére képes, mint amennyit az ültetvény létesítése és kezelése során a gépi munkálatokkal a légkörbe kijuttatunk [Borovics et al 2015].

11.1 Agripellet előállítás ÜHG kibocsátása, figyelembe véve a műtrágya felhasználást

Az agripellet előállítás során, hazai viszonylatban, a belföldi értékesítés miatt a folyamat CO₂ kibocsátása valamivel kedvezőbb, mint a fapellet előállításé. Azonban ezekben az értékekben még nem vettem figyelembe a műtrágyázás során fellépő energia igényeket, valamint egyéb környezeti hatásokat, mint a dinitrogén-oxid kibocsátást. A folyamat könnyebb áttekinthetősége miatt a következő ábrán összefoglaltam az agripellet előállítás során figyelembe vett kibocsátásokat.

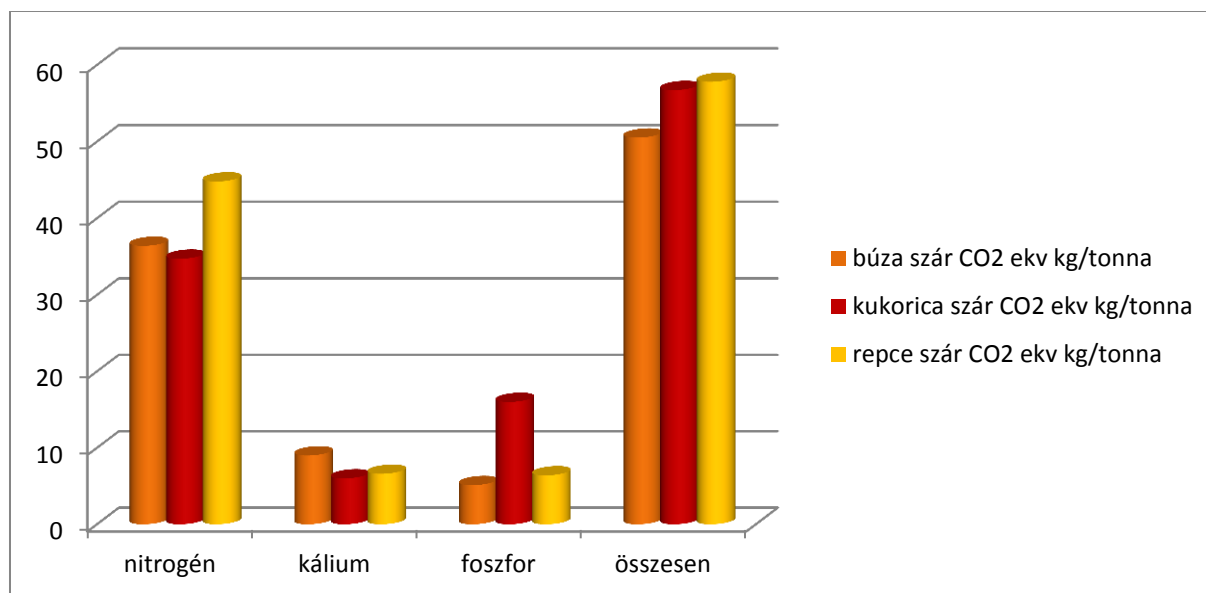


33. ábra: Agipellet előállítás ÜHG kibocsátásai

A mezőgazdaság háromféle üvegházhatású gáz kibocsátásával is hozzájárul az éghajlatváltozáshoz. A szén-dioxid (CO₂), a metán (CH₄) és a dinitrogén-oxid (N₂O) emisszió egyaránt jelentős a mezőgazdaság esetében [Szabó 2010]. A metánkibocsátás alapvetően az állattenyésztésben (kérődzés, trágyakezelés) és a rizstermesztésben releváns. A szén-dioxid kibocsátás főként a földhasználat váltásnak volt a következménye. A talajban és a növényzetben megkötött szén a földhasználat váltás során kikerült a légkörbe. Ezzel a hatással azonban hazai környezetben nem kell számolni, ugyanis a földhasználat váltás nem az európai modern mezőgazdaság sajátossága [Szabó 2010]. Viszont a biodízel kérdéskörben, a pálmaolaj használat növekedése miatt, az esőerdők irtása során már kiemelten fontos kérdés lenne. Az energiafelhasználás közvetve és közvetlenül szintén CO₂ emissziót von maga után. A mezőgazdasági gépek a dízel üzemanyag felhasználás révén többek között szén-dioxidot és nitrogén-oxidot (NO_x) bocsátanak ki. A pelletálás alapanyagának begyűjtéséhez és beszállításához figyelembe vett rendképzés, bálázás és szállítás kibocsátása egy tonna pelletre vonatkoztatva 12-20 kg CO₂ kibocsátással jár. A nitrogén műtrágya (illetve alapanyagainak) előállítására üvegházhatású gáz (CO₂, N₂O), és nitrogén-oxid (NO_x) kibocsátást von maga után, felhasználása pedig ammónia (NH₃) és dinitrogén-oxid (N₂O) emisszióval jár, amely közvetlenül a talajból, a bomlási folyamatok eredményeként keletkezik [Szabó 2010]. Ha a talajba visszajuttatnánk az összes szalma és szár maradványt, tápanyag utánpótlás céljából, akkor is történne ÜHG kibocsátás, ugyanis a zöldtrágyázáshoz is kapcsolódik légszennyezőanyag kibocsátás [Szabó-Pál, 2007]. A szántókra kiszórt állati eredetű trágya (szerves trágya, hígtrágya) is okoz ammónia emissziót. Warren, Lawson és Belcher [2008] kifejtik, hogy a nitrogén alapú műtrágyák elmúlt 60 évben történt egyre nagyobb méretű felhasználásának eredményeként jelentős nitrogén többletről beszélhetünk, amely a nitrogén input és output egyenlőtlenségben mutatkozik meg. Ez a többlet bekerül a természeti környezetbe. A légkörbe kerülő nitrogén savasodáshoz vezethet. Az utóbbi harminc évben azonban jelentősen visszaesett a műtrágya felhasználás, és ennek révén csökkent a természeti környezetbe jutó nitrogén-többlet. A denitrifikáció során a talajban levő nitrátból dinitrogén-oxid (N₂O) lesz, amely eltávozik a levegőbe. A dinitrogén-oxid emisszió ennél fogva közvetlenül a nitrogén műtrágyák (túlzott) használatára vezethető vissza [EEA, 2004]. Az ammónia (NH₃) igen reaktív anyag, átalakulva károsan hat az ökoszisztémára, ugyanis kálium vagy magnézium hiányhoz vezethet [Glebe, 2007]. Az ammónia emisszió elsősorban az állattenyésztés számlájára írható, de a szántóföldi alkalmazás során az állati eredetű és műtrágyából is kikerül a légkörbe. Túlzott mértékű ammónia szerves vagy műtrágya kijuttatása a talajra, az élővizekbe bemosódva az eutrofizáció fő okozója [Loch-Nosticzius 2011]. A nitrogénműtrágyák közül legnagyobb mértékben az ammóniumsók savanyítják a talajt. Az ammóniumsók savanyító hatása több okra vezethető vissza, savanyúan hidrolizálnak, az NH₄⁺-ion nitrifikációja során H⁺-ionok keletkeznek. A foszforműtrágyák közül a szuperfoszfát savanyító hatását szabad savtartalma és a gipsz savanyú hidrolízise okozza. A káliumműtrágyák savanyító hatása azon alapszik, hogy a K⁺-ionok kicserélik az adszorbeált H⁺-ionokat a talajkolloidok felületéről [Loch-Nosticzius 2011].

Az ásványi műtrágyák gyártása, szállítása és felhasználása közvetlenül és közvetve is hozzájárul az üvegházgázok kibocsátásához, különösen a szén-dioxid (CO₂) és a dinitrogén-

oxid (N₂O) kibocsátásához. A műtrágya gyártásának módja, a technológiai fejlettség függvényében nagyon eltérő energia igények jelennek meg. Az ammónium nitrát ammóniából és salétromsavból áll, és ez a leggyakrabban alkalmazott nitrogénforrás az európai agrárszektoron belül. A szénlábnyoma függ az energiefelhasználástól, az ammóniagyártás során használt nyersanyagoktól, valamint a salétromsavgyártás során kibocsátott N₂O mennyiségétől. Az EU meghatározta a „rendelkezésre álló legjobb módszereket” (Best Available Technique – BAT) ezekhez a folyamatokhoz. A BAT használata 3,6 kg CO₂-ekv/kg N kibocsátását eredményezi olyan műtrágyák esetén, amelyek ammónium-nitrátot használnak nitrogénforrásként. Ez 50%-kal kevesebb, mint a BAT-ot nem használó átlagos európai üzemek kibocsátása. Az Európán kívüli üzemek általában még nagyobb szénlábnyommal rendelkeznek, mint az átlag európai gyárak. Brentup-Palliere kutatásai alapján a mellékletben elhelyezett ábrán látható a műtrágya előállítás és felhasználás összes kibocsátása, figyelembe véve az EU átlagot, és az újabb technológiákat. Ez alapján az ammónium-nitrát műtrágyák átlagos 100%-os szénlábnyoma 5,6 kg CO₂-ekv a kijuttatott N műtrágya minden egyes kilogrammjára vonatkozóan [Brentup-Palliere 2008]. Skowrońska – Tadeusz 2013-as kutatásaikban különböző műtrágyák LCA vizsgálatával foglalkoztak, összefoglalták Williems et al és Brentup-Palliere korábbi eredményeit is, melyet az XVII. mellékletben elhelyezett ábra szemléltet. Ez alapján a P alapú műtrágya előállítás CO₂ ekvivalens értéke 1,7/kg, a K alapúé 0,6 kg CO₂ ekv/kg. A műtrágyázás energia igényével korábbi fejezetben foglalkoztam, és megadtam egy közelítő értéket egy tonna szalma illetve szármennyiség képződése során a felvett műtrágya mennyiségekre. A CO₂ ekvivalens értékek valamint a felvett műtrágya mennyiségének ismeretében megadható egy közelítő érték a kibocsátásokra vonatkozóan.



34. ábra: A műtrágyázásból adódó ÜHG kibocsátás 1 tonna szalmára vonatkoztatva

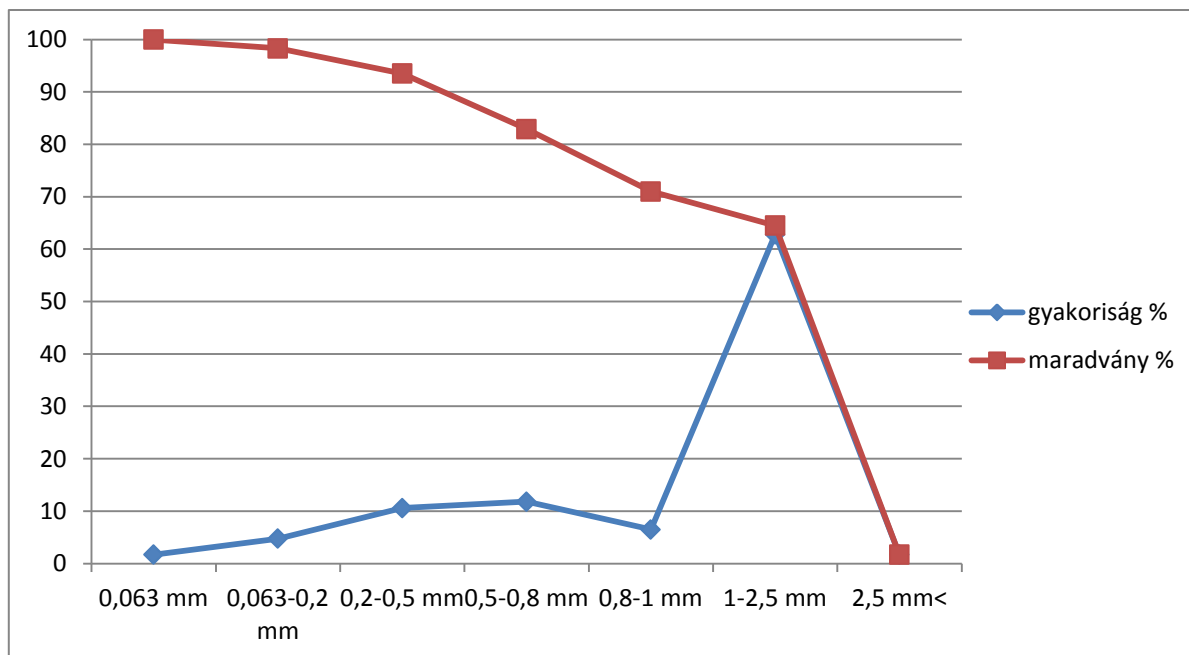
Ha figyelembe veszem a növényi szárba beépült műtrágyák előállításának kibocsátásait, a nitrogén alapú műtrágyázásból adódik az ÜHG kibocsátás jelentős része. Átlagosan egy tonna szalmára és szárra vonatkoztatva NPK alapú műtrágyázásból 50-58 kg CO₂ ekv.

12 A repce-szár pelletálása, felhasználásának hatása a biodízel-gyártás energiamérlegére vetítve

A repce, vagyis az őszi káposztarepce fontos és értékes olajnövényünk, mivel kedvező viszonyok közt gazdaságosan termesztető. Jelentőségét a gazdaságosságon kívül az is indokolja, hogy a repceolaj felhasználása sokoldalú. A repce mag mellett jelentős mennyiségű szalma is keletkezik, 3-6 tonna hektáronként [Papp V.-Marosvölyi B. 2010, Abbas-Kazmi 2012, Tóth L. 2011] mely energetikai célokra használható. A régebben csak világítóolajként használt repceolajat ma már számos iparágban használják, és - az olajfinomítás fejlődésével - étkezési olajat is készítenek belőle. A repceolajat a benne lévő erukasav miatt kell finomítani. Ezért a repceolaj étkezési minősége elsősorban az erukasav tartalmától függ. /A repce erukasavtartalma nemesítéssel csökkenthető./ Az utóbbi években világszerte nőtt a repcetermesztés jelentősége és vetésterülete. A vetésterület a biodízel gyártás következtében és az étkezési jelentőségénél fogva növekszik, de azért is, mert a repcetermesztés jól gépesíthető és az olajgyártás melléktermékei értékes takarmányok. A káposztarepce további hasznosítása: felhasználható még zöldtakarmányozásra és zöldtrágyázásra is. Az őszi káposztarepce rozzsal keverve - keszthelyi keverékben - a legkorábbi zöldtakarmány; zöldtrágyázás céljára főleg a gyümölcsösökben és a széles sortávolságra telepített szőlőkben van jelentősége. A káposztarepce /*Brassica napus* L. ssp. *napus* MSF/ a keresztesek /*Brassicaceae*/ családjába és a *Brassica* nemzetségbe tartozik. A káposztarepcének két formája ismeretes: az őszi káposztarepce /f. *biennis*/ és a tavaszi káposztarepce /f. *annua*/. Hazánkban főleg őszi káposztarepcét termesztünk. A tavaszi nagyon igényes és keveset terem; de csapadékos viszonyok között mint zöldtrágyanövény, esetleg mint zöldtakarmánynövény jöhet számításba. A magvak olajtartalma 40-45 %. A termőképesség és télállóság mellett nagy jelentősége van a fajták pergésre való hajlamosságának és az olaj erukasav tartalmának. Ezért mindinkább előtérbe kerülnek a jobb étolaj minőséget biztosító, kevés erukasavat, ill. erukasavat nem tartalmazó fajták. A káposztarepce az éghajlatra igényes növény. Hazánkban főleg a Dunántúlon és az ország csapadékosabb tájain termesztető sikeresen [KWS 2015].

A szalmát és a repce szárát is általában kis-és nagybálásban takarítják be. A szalma és repceszár bálák tárolása sérűn kazalba rakva végezhető. A jól fedhető négyszög keresztmetszetű, négy bála szélességű és négy bála magasságú kazalban 300–400 db bála helyezhető el. A szögletes bálák gondosabb takarást igényelnek, egyes helyeken fóliával takarják a kazlakat [Biomassza erőművek 2010].

A repce szalmából darálás után a 36. ábrán látható adagoló berendezés és Kahl típusú síkmatricás préssel (max. teljesítmény 22 kW, matrica vastagság 28 mm, présfurat 6mm, kapacitás 200-250 kg/h) állítottunk elő pelletet, melynek vizsgáltuk az energetikai jellemzőit. A repceszárát először megfelelő méretűre kell darálni, melyet egy kalapácsos termény darálóval végeztünk. A darálás után hozzáadott adalékanyag nélkül sikerült jó minőségű pelletet előállítani. A darálás utáni repceszárral is elvégeztem a frakcióelemzést, melyet a következő ábra szemléltet.



35. ábra: Repceszár-pellet frakcióelemzése

A frakció eloszlás vizsgálata alapján, a darálmány 59%-a a 2,5-1 mm-es tartományba esett. A fapellethez képest tehát magasabb volt a szálak frakció aránya.



36. ábra: Adagoló gép és kis pelletáló (Kahl típusú) berendezés

Az előállított repce-szár pellet átlagos közepes hosszúsága 17,1(+/- 1,7)mm, 6,4 mm átmérőjű. A szarát és a pelletet is energetikai laborban vizsgáltam. Meghatároztam a

fűtőértéket, nedvességtartalmat és a hamutartalmat. A XV. mellékletben elhelyezett ábrán a repce-szárból készült pellet látható.

A mérési eredményeket a 22. táblázat tartalmazza. A repce-szár átlag fűtőértéke betakarítás idején 16 MJ/kg volt, ami agripelletek esetén jó értéknek mondható. A nedvességtartalom csökkenése miatt a pellet fűtőértéke valamivel magasabb, 16,2 MJ/kg volt. A szentesi T&T Technik Kft-nél előállított repceszár, illetve repceszár-búzaszalma (50-50%-os) keverék pelleteket is vizsgáltam. Ezek a pelletek 8 mm-es présfurattal készültek.

22. táblázat: A repceszár és pellet energetikai jellemzői

	Nedvességtart. W(%)	Fűtőérték (MJ/kg)	Hamutart. AS (%)
Repceszár	11,2	16,0	5,1
Repcepellet 6mm	10,1	16,2	5,1
Repcepellet 8 mm	9,4	16,3	5,2
Repce-búzaszalma 8mm	8,7	15,9	8,3

Az energetikai jellemzőkben tiszta repceszár esetén nem volt jelentős eltérés, a búzaszalma-repceszár keverék pellet hamutartalma viszont magasabb volt. A pelletek mechanikai tulajdonságaiban, egyrészt az eltérő átmérők miatt, illetve a keverék pellet esetén is jelentős eltérés volt. A méréseket háromszor ismételttem, az eredmények átlagát a következő táblázatban tüntettem fel. A hosszúság mérés kiértékelése során SPSS statisztika programban is elemeztem az adatokat, az eredményeket a 23-as táblázatban és a XVI. mellékletben foglaltam össze.

23. táblázat: Repceszár és repceszár-búzaszalma keverék pellet mechanikai tulajdonságai

	Finomhányad %	Ömlesztett sűrűség kg/m ³	Mechanikai szilárdság %	Átlagos közepes hosszúság mm	Átlagos átmérő mm	Részecske sűrűség kg/m ³
Repceszár pellet 6 mm	0,3	638	97,3	17,1	6,4	912
Repceszár pellet 8 mm	0,6	610	96,4	15,4	8,5	887
Repceszár-búzaszalma 8 mm	0,3	612	98,1	16,2	8,4	896

A vizsgált 8mm-es pellet közepes hosszúsága jelentősen kisebb volt, mint a 6 mm-es repceszár pelleté. A finomhányad tiszta repceszár pelletnél magasabb volt, mint a keverék esetén, a mechanikai szilárdság is a keverék pelletnél volt jobb, ami tüzeléstechnikai szempontból fontos. Ha túl nagy az apró, töredezett frakció aránya, csökkenhet a hatásfok. Minőségi követelmények szerint a mechanikai tulajdonságok alapján a repceszár pelletek EN-B kategóriába, míg a keverék pellet ENplus A2 kategóriába sorolható. A hamutartalom azonban mindegyik pelletnél meghaladta az agripelletnél megengedett 3%-ot, ezért csak EN-B kategóriának felelnek meg.

Caroll és Finnan 2012-es vizsgálataikban fás és lágyszárú anyagok pelletálásával, repceszár, búzaszalma, árpszalma valamint energianövények, fűz és mischantus nád kémiai és fizikai tulajdonságainak vizsgálatával foglalkoztak. Eredményeik alapján a repceszár felső fűtőértéke 18,2 MJ/kg, hamutartalma 5,3 % volt. 6 mm-es présfurattal, kis pelletáló (max kapacitás 150 kg/h) berendezéssel állítottak elő tömörítvényeket. A vizsgált anyagok közül, a mischantus nád 95,2 % és repceszár pellet 95,8 %-os mechanikai szilárdsága volt a legkisebb, búzaszalma és árpszalma pellet esetén 96,3-96,8% értékek jelentek meg. A darálás utáni frakció eloszlást nem publikálták, véleményem szerint ez is összefüggésben lehet a nád és repceszár pellet mechanikai tulajdonságaival. A nád és repce szára is szívós, szálás, nehezen darálható, így nagyobb lehet a szálás frakció aránya. A kémiai összetétel vizsgálata alapján a repceszárnak volt a legmagasabb széntartalma, 50,9%, a búza és árpszalmának 46-47%. A hidrogén tartalom repce esetén 6,6%, mischantus nád 6,5%, míg a kalászosok szalmája esetén kicsit alacsonyabb 5,3-5,5 % volt. Az alacsony hamuolvadáspont gyakran okoz gondot lágyszárúak esetén, amiért részben a magas klór tartalom lehet felelős. A repceminta klórtartalma 0,198%, míg kalászosoknál 0,210-0,220 % közötti értékek jelentek meg. A mischantus nád klórtartalma valamivel alacsonyabb volt, 0,142 %. A nitrogén tartalom lágyszárú minták esetén sokkal magasabb 0,54-0,62%, mint fás növényeknél 0,3-0,42 %, ami a nagy mennyiségű nitrogén műtrágya használatra vezethető vissza. A kén tartalom vizsgálata alapján a repceszárban volt a legmagasabb érték, 0,292%, búzaszalmánál 0,192, míg az árpszalma és a mischantus nád jelentősen kevesebb 0,06-0,079 % kén tartalmaz [Caroll, Finnan 2012].

12.1 A repce-szár pellet felhasználása a biodízel-gyártás energiamérlegére vetítve

Napjainkban az egyik legnagyobb és egyben legvitatottabb probléma a klímaváltozás. A légköri CO₂ szint 220 ppm-ről 406 ppm-re nőtt, és tovább növekszik, ha nem találunk megoldást a fosszilis tüzelőanyagok helyettesítésére. Bár a legtöbb CO₂ a földgáz és szén égetéséből származik, a közlekedés során felszabaduló káros gázok mennyisége is hatalmas. A világon a kőolaj-felhasználásból 70%-kal részesedik a közlekedési ágazat, az összes energia felhasználásból ez 30%-ot tesz ki, tehát jelentős mértékben hozzájárul az üvegházhatású gázkibocsátáshoz [Bai A., 2008]. A közlekedési ágazat széndioxid kibocsátása 1990 és 1995 között átmenetileg csökkent, de egészében az ágazat kibocsátása 1990 és 2005 közötti másfél évtizedben 3.982 ezer tonnával, százalékban kifejezve 45,4 százalékkal nőtt. A közlekedés Magyarország széndioxid kibocsátásához 1990-ben még csak 8779 ezer tonnával,

11,5 százalékkal, 2005-ben 12.761 ezer tonnával, az összes kibocsátás 21,1 százalékaival járult hozzá.[Laczkó F. 2008] A biodízel hasznosítását és a kibocsátásokat is vizsgálták a tömegközlekedésben, méréseik alapján különböző keverékeknél a bioüzemanyag arány növelésével a CO, CO₂, HC értékek csökkentek a fosszilis üzemanyaghoz képest [Bai 2008] XVII. melléklet. Ez azért is fontos, mert a közlekedésből származó kibocsátások koncentráltan a nagyvárosokban jelentik a legnagyobb problémát, így a biodízel használatával kis mértékben csökkenne a károsanyag kibocsátás. A biodízel használata során vizsgált emissziók a Diesel olajjal összevetve jelentősen kevesebb kéndioxid kibocsátásról számolnak be, de fontos megemlíteni, hogy ezzel szemben a nitrogén-oxidok kibocsátása magasabb [Demirbas 2007. Szybist, Song, Boehman 2007].

A növényolajok és származékaik az alternatív motorhajtóanyagok megújítható forrásokból származó nagy csoportjába tartoznak. Ezen belül pedig ezeket a folyékony halmazállapotú biohajtóanyagokhoz (biomasszából, mint megújítható energiaforrásból előállítható hajtóanyagokhoz) soroljuk [Hancsók 2004]. Az Európai Unió a 1997-ben energiapolitikai dokumentum keretében fogalmazta meg a bio-üzemanyagok kapcsolatos politikáját. Majd ezt hat éves késéssel követte a "A közlekedési ágazatban a bio-üzemanyagok, illetve más megújuló üzemanyagok használatának előmozdításáról" című irányelv, amely szerint 2010-re el kell érni az 5,75%-os, 2020-ra pedig a 10%-os arányt. Az EU Bizottság 2008. január 23-i rendelettervezetében a 2020-ra szóló 10%-os előirányzatot ugyan változatlanul hagyta, de a 2010-re szólót 4,2%-ra mérsékelte.

A biodízel részben helyettesítheti, illetve kiegészítheti a fosszilis üzemanyagokat, kevesebb CO₂-t juttat a légkörbe. A repce-metil észter előállítása azonban energiaigényes folyamat. A biodízel előállítás során nem csak a befektetett energia mennyisége jelentős, további probléma, hogy rengeteg melléktermék keletkezik. Kezdve a repce vagy napraforgó termesztés során gyakran a szántóföldeken hagyott repceszárral, melyet doktori munkám során vizsgáltam. A préselés során a magokból nyerhető olaj körülbelül 30-35%, a kipréselt olajos magpogácsa jelentős mennyiségben marad vissza. Ezután az észterezésnél a RME mellett nagy mennyiségben glicerín is keletkezik. A folyamat a melléktermékek hasznosítása nélkül gazdaságilag és energetikailag sem érné meg. Az anyag és energiamérlegek a szakirodalmi forrásokban jelentősen eltérhetnek. Ennek oka egyrészt a repce vagy napraforgó termésátlagbeli eltéréséből adódik, másrészt a technológiától is nagyban függ. Míg a Nyugat-Európai országokban a repce termésátlaga meghaladja a 3 tonnát is, a KSH adatai alapján végzett számolásaim alapján az utóbbi öt év termésátlaga Magyarországon 2,4 t/hektár.[KSH 2015] Ehhez viszonyítva hektáronként 1:2 szem szár aránnyal kalkulálnak [Abbas-Kazmi 2012, Tóth 2011]. Míg egy ausztriai példa alapján 2,7 tonna maghoz 4,8 t repceszár keletkezett. A 2,7 t magból csak 1084 kg nyers olaj, és ehhez 1646 kg magpogácsa jön létre. [Peczник P. 2001] Egy egységre vetített anyagmérleg alapján [Hajdú J. 2009] 100 liter repceolajhoz 17 liter metanolt adagolnak, továbbá 1,4 l KOH-t katalizátornak. Melléktermékként az észterezés során több mint 12% glicerín is keletkezik. Az anyagáramokra vonatkozó táblázat a XVIII. mellékletben található.

12.2 Energiamérlegek - biodízel

Energetikai és környezetvédelmi szempontból is a komplett energiamérleg ismerete a leginkább lényeges. Végig kell gondolni, hogy egységnyi területen a biomassza által cellulóz és olaj formájában megkötött napenergia, vagyis a későbbiekben a növényekből nyerhető energia, hogyan viszonyul a ráfordított primer energiákhoz képest. A termesztés, a szállítás és feldolgozás ma még szinte teljes mértékben fosszilis alapú energia ráfordítással történik. A mezőgazdasági gépek üzemanyag fogyasztása is jelentős, de ennél sokkal nagyobb energia ráfordítás a műtrágyázásból adódik.

A nitrogén (ammóniumnitrát alapú) műtrágya előállítása rendkívül energiaigényes. Az ammóniához szükséges hidrogént és az ehhez szükséges technológiai energiát is végeredményben a földgázból nyerik. Így az egy tonna ammónia előállításához szükséges összes teljes bruttó energiafelhasználás (kb. 50 GJ/tonna) végeredményben közel 1500 köbméter földgázt igényel.

A nitrogén alapú műtrágya előállításának energia igénye: 60-80 MJ/kg, a P alapúé 8-15 MJ/kg; a K alapúé 3-10 MJ/kg.[Neményi M. 2009] Az őszi káposztarepce gyorsan fejlődő, nagy tápanyagigényű növény, sok, könnyen felvehető tápanyagra van szüksége. A repcének 1 tonna főtermés előállításához: 35 kg N-re, 18 kg P₂O₅-re, 10 kg K₂O-ra, 4 kg CaO-ra van szüksége. Míg a hozzá tartozó mellékterméshez: 15 kg N-t, 6 kg P₂O₅-t, 20 kg K₂O-t, 40 kg CaO-t igényel. Ezek alapján 2-3 t termésmennyiséghez kalkulálva 100-150 kg N, 50-70 kg P₂O₅, és 60-90 kg K₂O szükséges.[Neményi 2009]

A mellékletben elhelyezett XIX. ábra szemlélteti H.Chen és G.Q.Chen 2010-es kutatásai alapján a repce alapú biodízel előállítás energia igényét. Szembetűnik, hogy a felhasznált energiák több mint 60%-a a szántóföldi növénytermesztés, ezen belül is nagy részben a műtrágyázásra fordítódik. A XX. mellékletben elhelyezett táblázatok részletesen kitérnek a technológiai elemekre bontott energiaigényre is. Ahogy az anyagmérlegeknél, a szakirodalmi források energia mérlegre vonatkozó adatai is nagyon eltérők. A XXI. melléklet táblázata tartalmazza az energia input és output eredményeket a teljes előállítási folyamatra vetítve. Az energiamérlegek különböző technológiák és alapanyagok esetén vannak feltüntetve. Például szójaolajból előállított biodízel esetén 0,64-2,4 között, míg repce esetén 0.97-3 közötti eredményeket mutat.

A repce-metil-észter (RME) energiamérlegét Hancsók 2004-es kutatásai szerint a XXII. mellékletben elhelyezett ábrája alapján is szeretném bemutatni. Az ábra alapján rögtön szembetűnik, hogy egy hektárra vetítve a 100 GJ összes repce növényben lévő energia fele a szárban marad. Látható, hogy a gyártáshoz felhasznált energia(a repce növény által megkötött napenergia, a metanollal bevitt, a mezőgazdasági temeléshez és gyártáshoz használt energia) 25-26 %-a alakul át RME energiává. Ha a RME-ben megjelenő energiát összevetjük a mezőgazdasági termeléshez és gyártáshoz felhasználttal, akkor körülbelül 1,5-ös arányszámot kapunk, amely a repcedarának állattenyésztésben történő hasznosításával 2,4-re növelhető. A melléktermékként megjelenő repceszár hasznosítását takarmányként vagy komposztként jelöli meg, de a szár bála vagy pellet tüzeléssel történő felhasználása is javítaná

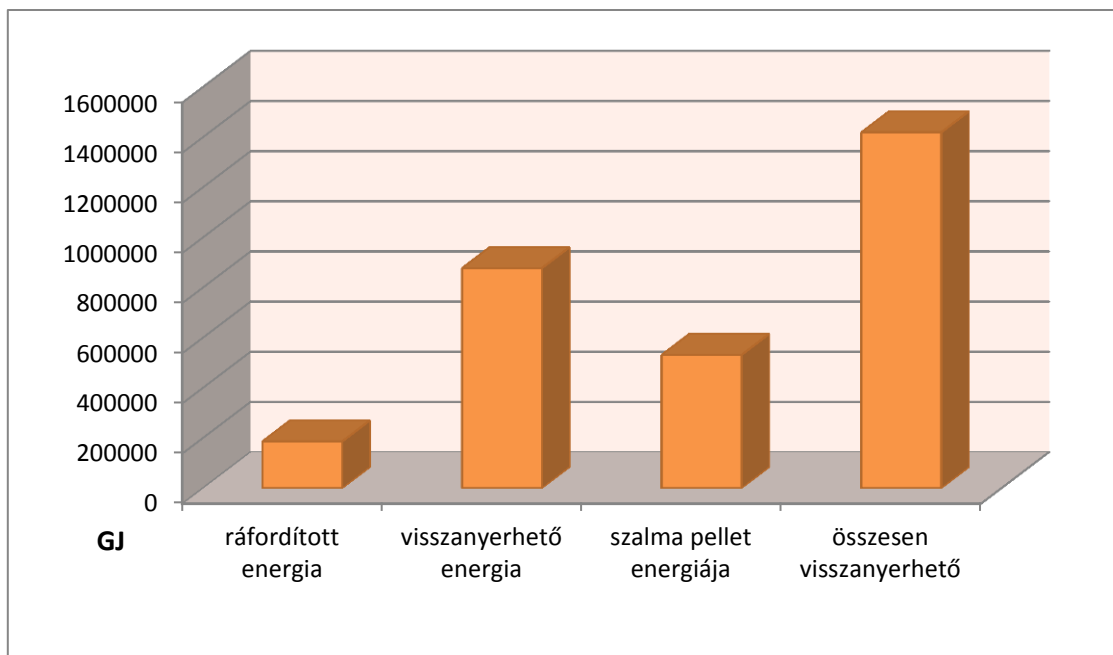
az energia mérleget. „ A bemutatott energiamérleghez kapcsolódva természetesen a széndioxid emisszió is becsülhető az RME-dízelgázolaj viszonylatban. Ezek az értékek 45 és 60% között változnak a különböző közleményekben.” [Hancsók 2004]

A melléktermékek hasznosításának kérdése véleményem szerint szoros összefüggésben van az egész gyártási folyamat gazdaságossági szempontjaira vetítve. A biodízel gyártó cégnek érdeke minél magasabb áron értékesíteni a préselt mag pogácsát valamint a glicerint. Ha a préselési maradványokat értékesíteni tudják állati takarmánynak, akkor az ára elérheti a 150 eurót tonnánként. Ez az ár is hatalmas ingásba van 100 és 160 eurós tonnánkénti ár között. Ha viszont a repcepogácsákat fűtőműveknek adják el, ott nem fizetnek többet tonnánkénti 40 eurónál [Zombory 2009]. Az Öko-line Kft. Nagyigmándi biodízel üzemének példáját alapul véve a glicerinnel is hasonló a helyzet. A biodízel-gyártásnak köszönhetően a piac telítődött, a nagy mennyiségű keletkező glicerinnel az utóbbi években lement az ára körülbelül a harmadára. Az árat a tisztasága is befolyásolja, a tiszta glicerinnel kb. négyszerese a nyers glicerinnel. A biodízel gyártása során keletkező glicerinnel szennyezett, így csak kevesebbet tudják eladni, vagy tisztítani kell.

Az USA-ban, Európában és a világon összességében rendkívül nagy mennyiségű glicerinnel keletkezik évente (NBB Statistics, 2012; EBB Statistics, 2010) amelynek a felhasználása világszerte gondot okoz. Ezért az utóbbi években egyre több kísérletet végeztek a céllal, hogy megállapítsák, a glicerinnel milyen mértékben hasznosítható monogasztrikus állatok (baromfi, sertés) takarmányozásában. A növekvő mennyiségben termelődő glicerinnel gazdaságos hasznosításának egyik lehetősége ugyanis valamennyi gazdasági állatfaj takarmányozása során történő felhasználásában rejlik. [Kovács 2009]

Kutatások folynak a melléktermékként keletkező glicerinnel biogázként történő hasznosítása is, ami tovább javíthatja az energia mérleget. A biodízel termelés átészterezéskor keletkező fő melléktermékei a nem tiszta glicerinnel és a szappanos víz. A biodízel ipar növekedése által a glicerinnel ára a piacon csökkent. Ezen melléktermék energetikai hasznosítása jó lehetőség lenne a biodízel gyárak számára. A glicerinnel-fázis általánosan használt a biogáz termelésben kiegészítő anyagként és nem, mint fő alapanyag. Kutatások folynak a bioetanol-gyártás melléktermékeként létrejövő szeszmoslék, valamint ecetsav glicerinnel co-szubsztrátként történő alkalmazására is. [Rétfalvi et al 2011]

A mezőgazdasági munkáktól kezdve, a szállítás, a repce mag préselése, majd az észterezési eljárás mind energia befektetéssel jár. Egy Bábolna melletti egykoron Nagyigmándon működő üzemnél vizsgáltam az energia mérleget [Papp 2009], összehasonlítottam mennyi energia is van a biodízelben és a melléktermékként keletkező préselt repcemagban és glicerinnel. A doktori munka célja, a vizsgálatok kiterjesztése a melléktermékként megjelenő repceszár hasznosítására, hogy alakulna a biodízel-gyártás energiamérlege a repce-szár pelletként való felhasználásával. Az eredmények a 37-es ábrán láthatók. A számok az üzemben egy év alatt előállított 14.000 tonna biodízellel vonatkoznak.



37. ábra: A biodízel gyártásból nyerhető energia a repce szalma pellet felhasználásával

A gyártás energiamérlege a szalma pelletként való felhasználása nélkül 1:4,7-hez, vagyis a befektetett energia kevesebb, mint ötszörösét nyerhetjük vissza. Ezekben az értékekben nem vettem figyelembe a műtrágyázás energia igényeit, „csak” a gyártásra fordított energia jelenik meg. Ha figyelembe veszem az üzemben egy év alatt felhasznált 29 ezer tonna repce termesztéséhez használt NPK műtrágyák előállításának energia igényét, a folyamat már egyáltalán nem tekinthető környezet-barátnak. Egy tonna termés előállításához a szakirodalmi források szerint [Neményi 2009, Czinege 2008] 60-65 kg NPK műtrágyát juttatnak ki, mely előállításának átlagos energia igénye 2722 MJ egy tonna termésre vonatkoztatva. Így 29 ezer tonna repcemaghoz 78,938 TJ energia-ráfordítás történik a műtrágyázásból. Azonban ennél több a kijuttatott műtrágya mennyisége, hiszen ahogy az előző fejezetnél kitértem rá, a szárképzésre fordítódik egy része. Ha ezt is beleszámolom (hiszen ez a mennyiség is kikerül a földekre, függetlenül attól, hogy ezt a szárat majd hasznosítják vagy nem), a 29 ezer tonna repcemaghoz a szem:szár arány alapján 58 ezer tonna melléktermékhez kijuttatott NPK műtrágya előállítás energia igénye 40,368 TJ. Így a műtrágyázás energia igénye már megközelíti az egész gyártási folyamat energia igényét. Ha ezt figyelembe veszem az energia mérleg már csak 1:2,6-hoz. A visszanyerhető energia mennyiségében pedig már bent van a biodízel gyártás során keletkező glicerín, valamint a préselt repcemag pellet energiája is. Ha felhasználnánk a repce termesztése során keletkező nagy mennyiségű szalmabálát, hektáronként 3 tonna lehozható mennyiséget (48 GJ-t) figyelembe véve az energia mérleg már sokkal kedvezőbb, 1:7,6-hoz lenne, műtrágyázás figyelembe vétele nélkül. Ha figyelembe veszem a pelletálás során az energetikai hatásfokot, valamint a repceszár pellet tüzelése során a hatásfokot, a 48 GJ-ból a folyamat végén körülbelül 26 GJ energiát nyerhetünk. Ezt beépítve a biodízel előállítás és visszanyerhető energiák mérlegébe 1:6,2 EROEI értéket kapunk.

Nézzük meg hektáronként mennyi energiát is nyerhetünk a repce magjából, és mennyit a szárból. Ha egy 2,5 tonnás termésátlaggal számolunk, a kaloriméteres mérések szerint a repcemag 24 MJ/kg-os fűtőértékével hektáronként a magban 60,25 GJ energia van. Minimális lehozható szalma mennyiséggel, 3 tonnás hektáronkénti mennyiséggel számolva 48,6 GJ, míg egy 4,5 tonnás értékkel kalkulálva 73 GJ energia van a repce szárában hektáronként. Elgondolkodtató, hogy szinte ugyan annyi energiát hagynak a szántóföldön, mint amennyit a repce magjából nyerhetünk. A mezőgazdasági melléktermékek hatalmas energiákat rejtnek magukban, ezért energetikai hasznosításuk nagy lehetőség lenne Magyarország számára.

13 Ipari pelletek, melléktermékekből és hulladékból készült keverék pellet

Tüzelési célra pellet nem csak faanyagból, vagy lágyszárú növények melléktermékeiből készülhet. Különböző hulladék anyagok felhasználásával, illetve ezek keverékeiből is előállítható energetikai célra hasznosítható tömörítvény. Ezen anyagok, a hasznosítást tekintve nyilván nem a hagyományos pelettüzelőkben, vagy lakossági szektorban jelennek meg. A hulladékból készült pelletek a nagyobb ipari létesítményekben, illetve a megfelelő füstgáz-tisztító és szűrő berendezésekkel ellátott tüzelő berendezésekben hasznosíthatók. Doktori munkám során a papírgyártás során megjelenő papíriszap, valamint a pirolízis melléktermékeként létrejövő korom felhasználásával állítottam elő különböző arányú keverék-pelleteket. Ezen anyagok tisztán nehezen, vagy egyáltalán nem pelletálhatók, ezért a vizsgálatok során fenyő alapú faanyaghoz adagolva állítottam elő a tömörítvényeket, melyeknek vizsgáltam az energetikai és mechanikai jellemzőit. A faiparban nagy mennyiségű szennyezett melléktermék is megjelenik, felület kezelt anyagok, ragasztó, festék maradványok melyek EN-14961-1 szabvány alapján nem lehetnek a lakossági használatban fapellet alapanyagai, viszont ipari pellet alapanyagként hasznosíthatók. A pirolízis korom (maximum 20%-os bekeverésig), és a papíriszap, ezen szennyezett faanyaggal együtt lehetne felhasználható. Nyilván nem cél, a jó minőségű, tiszta faforgács keverése, és így minőségének rontása hulladék anyagokkal.

13.1 Papíriszap-keverék pelletek

A papírgyártás során nagy mennyiségben megjelenő papíriszap elhelyezése, vagy felhasználása nagy kihívás elé állítja a termelőket. Az EU környezetvédelmi szabályok szigorodásának hatása Magyarországon is érvényesül. Egyre nehezebb és költségesebb hulladékdeponálásra engedélyt kapni. Ez a probléma a papíripart is egyre érzékenyebben érinti, hiszen a cellulóz- és papírgyártás technológiájából adódóan, óhatatlanul keletkeznek olyan anyagok, amelyek az adott gyárban közvetlenül nem használhatóak fel. Ezek az anyagok vagy még a technológiai folyamaton belül hulladék anyagként kiválasztódnak, vagy a szennyvíztisztító berendezésekben iszapként kerülnek leválasztásra, és – a legrosszabb esetben – az elfolyó vízzel együtt távoznak a rendszerből.” Természetesen törekedni kell arra, hogy a gyárat elhagyó elfolyó víz a lehető legkisebb mértékben szennyezze a befogadó vizeket. Éppen ezért szükséges a gyár körvízrendszerének minél tökéletesebb zárása, de emellett fontos a szennyvizek kezelése, tisztítása is, amelyeknek segítségével megoldható a szennyvízben lévő lebegő és oldott szennyező anyagok kiszűrése. Ez viszont további gondot jelent, nevezetesen a leválasztott iszap elhelyezésének megoldását követeli meg” [Hernádi 2009].

A papíriszap hasznosításával foglalkozó hazai szakirodalom először Isépy-Hernádi 1994-es kutatásaiban jelenik meg. Ők kitérnek az energetikai felhasználás lehetőségére, azonban a papíriszap tömörítésének vizsgálatára nem találtam hazai szakirodalmi forrásokat. Külföldi kutatásokban is kevés a fellelhető anyag, egyetlen pelletálási kísérlettel foglalkozó tanulmány

kapcsolódik a témához, Kilborn – Wiever 1984-es kutatásai. Munkájuk során kérges faanyag és papíriszap pelletek tulajdonságait vizsgálták, valamint a hasznosítás gazdasági kérdéseire tértek ki. Pozsmik disszertációjában a papírvállalatok környezeti management kérdéseivel foglalkozott, közgazdaságtani szempontból körüljárva a témát. A papíriszap építőipari alkalmazásának lehetőségeiről Szücs-Badacsonyi jelentetett meg tanulmányt. A hasznosítás különböző lehetőségeivel és az iszap centrifugálásával és szárításával foglalkozik Göttching és Hamm, 2004-es cikkükben. A papíriszap etanollá alakítását vizsgálta Fan –South – Lieford 2003-ban. A papíriszap külföldi szakirodalomban és hazánkban is elterjedt nevén a „black liquor” hasznosítása az EU-ban Svédországban 12,8 millió tonna, Finnországban 11,5 millió tonna éves mennyiséggel kiemelkedő, a két országban hasznosított mennyiség az EU felhasználásának több mint felét teszi ki. A papíriszap nagy részét saját energia ellátásukra fordítják, elgázosítás során visszanyerve az energiát. Természetesen ezekben az országokban a legnagyobb a faalapú papírgyártás mennyisége is, míg a további nagy gyártók, Németország és Franciaország alapanyagai között már nagyobb mértékben az újrahasznosított papír alapanyag jelenik meg [European Comission Bioenergy Report 2015]. A legtöbb kapcsolódó szakirodalom a papíriszap elgázosítási folyamatainak vizsgálatával foglalkozik [Lagenberg Nilsson 2012, Ekbom et al. 2003, De Blasio et al. 2016, Empie 2009, European Comission CORDIS 2004].

13.1.1 A papíriszap általános jellemzése

A hulladék EWC kódszáma:

03 FAFELDOLGOZÁSBÓL ÉS FALEMEZ-, BÚTOR-, CELLULÓZ ROST SZUSZPENZIÓ-, PAPÍR- ÉS KARTONGYÁRTÁSBÓL SZÁRMAZÓ HULLADÉKOK

03 03 cellulózrost szuszpenzió, papír- és kartongyártási, feldolgozási hulladékok

03 03 10 mechanikai elválasztásból származó szálaradék, száltöltőanyag- és fedőanyag-iszapok

A képződési hely szempontjából két fő részt különböztethetünk meg: az egyik a technológiai folyamaton belül, a másik a szennyvízkezelés során keletkező iszap. A technológiai folyamatban keletkező iszapok körébe tartoznak a pulperből eltávolított szennyeződések (a pulpertisztítás és a copfkihúzó szemete) és a tisztító berendezések hulladékai (homokfogók, cleanerek, vibrátorok osztályozott anyagai). A szennyvíz kezelése során keletkező iszap jellemző összetevője a törmelékrost és a töltőanyag. Papíriszap alatt az utóbbit, a töltőanyagot értjük [BME hulladék felmérési adatlap 2011]

A Magyarországon képződő éves mennyiség 50.000 tonna melyből a Dunapack Zrt. és BME felmérései szerint 42.000 tonna lerakásra kerül. Összetétele változó, átlagosan 6-40% szervesanyagot tartalmaz, melyből 6-27% SiO₂, 13-17% Al₂O₃. Fő komponense a cellulóz, 30-34%-ban, a hemicellulóz 12-15%-ban, a lignin 11-15%-ban jelenik meg. Egyéb fémek anyagokat is tartalmazhat, Fe₂O₃ 0,2-0,5%; CaO 0,8-2,6%; MgO 0,1-5,3%[Hernádi 2009].

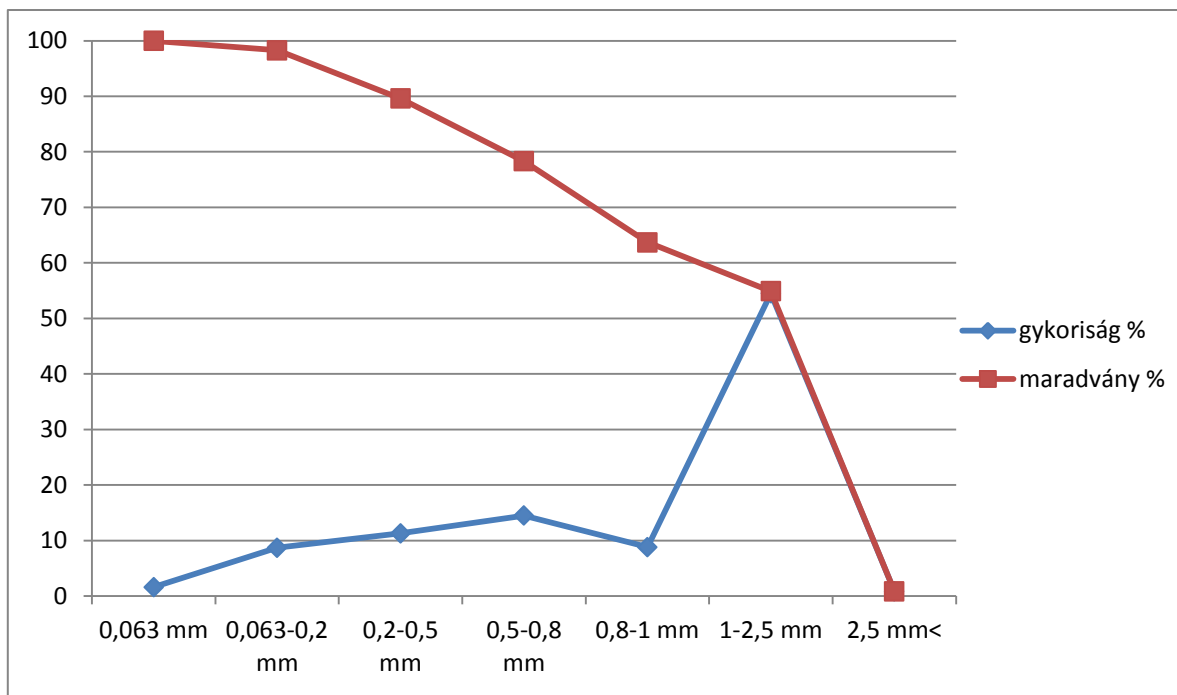
A magas szerves anyag hányad miatt az energetikai hasznosítás nehézkes, hiszen gyakran nagy mennyiségű hamu és salak keletkezik. A hamutartalom vizsgálta így kiemelten fontos a papírszap tüzelési hasznosításának vizsgálata során.

PH-ja enyhén lúgos, a környezetben növényi hulladékokhoz hasonlóan viselkedik, korhad majd humuszosodik. Töményen kikerülve a környezetbe, például talajba, megváltoztatja a talaj mikrobiota összetételét, a cellulózbontók (gombák és baktériumok) relatív feldúsulását okozva. Ezen mikroorganizmusok nagymértékű feldúsulása egyben a talaj egyéb tápanyagtartalmának, például nitrogéntartalmának biológiai ellenőrzöttségét is megnöveli, vagyis a N beépül ezekbe a mikroorganizmusokba, tehát a talajon termesztett növények átmenetileg N-hiányban szenvedhetnek. Az átmeneti növényi tápanyaghiány viszont a papírszap elbomlását (és a bontó mikroorganizmusok pusztulását) követően javulást eredményez a talaj tápanyag ellátottságban és humusztartalmában. Az anyag nem veszélyes, bár enyhe lúgossága és nagy cellulóztartalma átmenetileg megváltoztatja a talaj mikrobiológiai és tápanyag egyensúlyát, ezt érdemes monitoringgal követni, illetve előzetesen becsülni vagy tesztelni [BME 2013].

A nagy szén-nitrogén arány miatt közvetlenül a talajra alkalmazása a komposztálatlan szerves hulladék vagy az érleletlen trágya hatásához hasonlóan a cellulózbontó és cukorhasznosító fajok feldúsulását és nitrogénzárát (biológiailag ellenőrzött, beépült N) eredményez (pentozán hatás). Az irodalomban talált legáltalánosabb, legelterjedtebb hasznosítási módok: talajfeltöltés, újrafelhasználás a papírgyártásban, elégetés, mezőgazdasági hasznosítás (a rostos iszapok javítják a talaj struktúráját, vízvisszatartó-, vízáteresztő-képességét, csökkentik az öntözés-igényt). Az iszap hasznosításának újabb lehetőségei: építőipari felhasználás (cement- és téglagyártásban), tűzálló és hőszigetelő anyagok készítéséhez adalékanyag, metángáz előállítás, tojástartó tálca [Hernádi 2009, Pozsmik 2000, Szűcs-Badacsonyi 1996]. N-tartalmú anyagokkal keverve (szennyvíziszap, sertés és baromfi hígtrágya) vermikomposztálható [Elvira – Sampedro – Dominguez - Mato, 1997].

13.1.2 A vizsgálatok bemutatása

Az alapanyagul szolgáló kb. 60 kg papírszap a vizsgálatok előtt 30%-os nedvességtartalmú volt. Ezért az anyagot szétterítve, természetes szárítással, két nap múlva kezdtük el a pelletálást, közben mértük a nedvességtartalmat, az optimális 11-12%-os érték eléréséhez. Az anyag száradás közben, kis 0,5-2 cm-es darabokká állt össze, könnyen morzsolható volt. Kalapácsos darálóval állítottuk elő a pelletáláshoz szükséges frakcióméretet. A frakcióelemzés mérési eredményeinek átlagát szemlélteti a következő diagram.



38. ábra: Papírszap frakcióeloszlása pelletálás előtt

Darálás után az anyag 50-55%-a a 2,5-1 mm-es tartományba esett. Ezután különböző arányban kevertük a fenyő alapú faanyaghoz a papírszapot. Korábban a fapelletálás bemutatásánál a fenyő forgács pelletlás előtti frakcióelemzését már szemléltettem, így erre most nem térek ki. Mérési fejezetnél bemutatott pelletáló és adagoló berendezéssel állítottuk elő a keverék pelleteket.

Vizsgáltam a tiszta papírszap, és a különböző arányú keverékek hamutartalom és fűtőérték változásait. A papírszap, mivel nagy mennyiségű szervesen SiO_2 és AlO_3 -ot tartalmaz, magas hamutartalommal rendelkezik. Izzítókemencés vizsgálattal meghatároztam a hamutartalmat, öt minta átlaga 39,8 %. A fűtőérték száraz anyagra 11,8 míg pelletálás előtt 11%-os nedvességtartalomnál 10,7 MJ/kg volt. A bekeverési arány növelésével, a hamutartalom lineáris emelkedését vártam, amit a következő egyenlet igazolt.

24. táblázat: Hamutartalom változása papírszap-fapellet mixben

papírszap bekeverési arány %	5	10	20	30	40	50
hamutartalom %	3,1	6,5	9,8	12,7	16,2	19,6

Az x jelöli a bekeverési arányt, y a minták hamutartalmát. Az $a \cdot x + b = y$ egyenletből az a és b értékét keressük, ezek a regressziós egyenlet paraméterei.

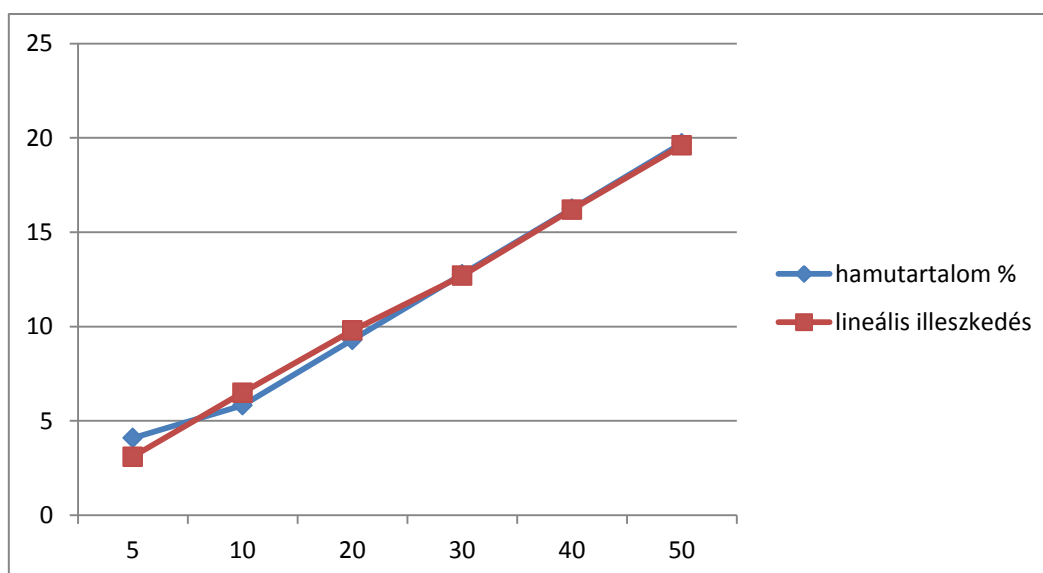
25. táblázat: Regressziós egyenes paraméterei

n	x	y	xy	x ²
1	5	3,1	15,5	25
2	10	6,5	65	100
3	20	9,8	196	400
4	30	12,7	381	900
5	40	16,2	648	1600
6	50	19,6	980	2500
sum	155	67,9	2285,5	5525

$$a \cdot 5525 + b \cdot 155 = 2285,5$$

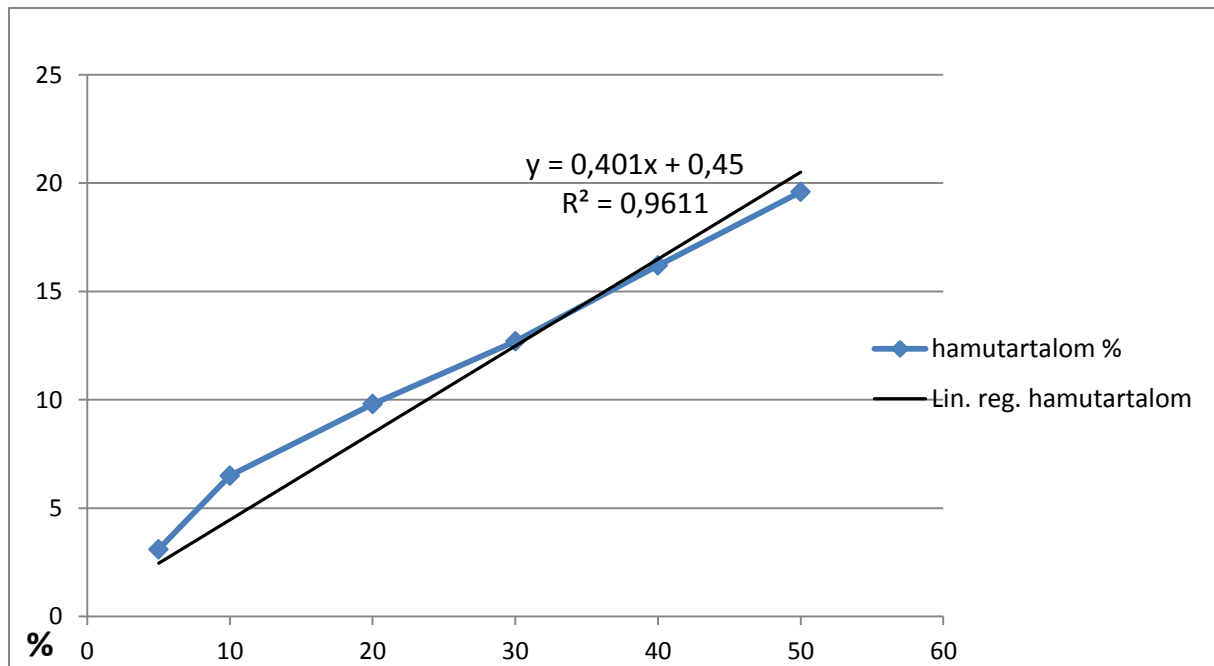
$$a \cdot 155 + b \cdot 6 = 67,9$$

$$\bar{y} = 0,347x + 2,36$$



39. ábra: Hamutartalom változása papír szap bekeverési arány növelésével (%)

Gyakorlati szempontból ebben az esetben a metszéspontoknak is jelentősége van, az alapanyag hamutartalmára következtethetünk. Ezért a paraméterek változtatásával is ábrázoltam a regressziós egyenest, a paraméterek változtatása után R^2 értéke továbbra is az elfogadható 0,95 fölé esett.



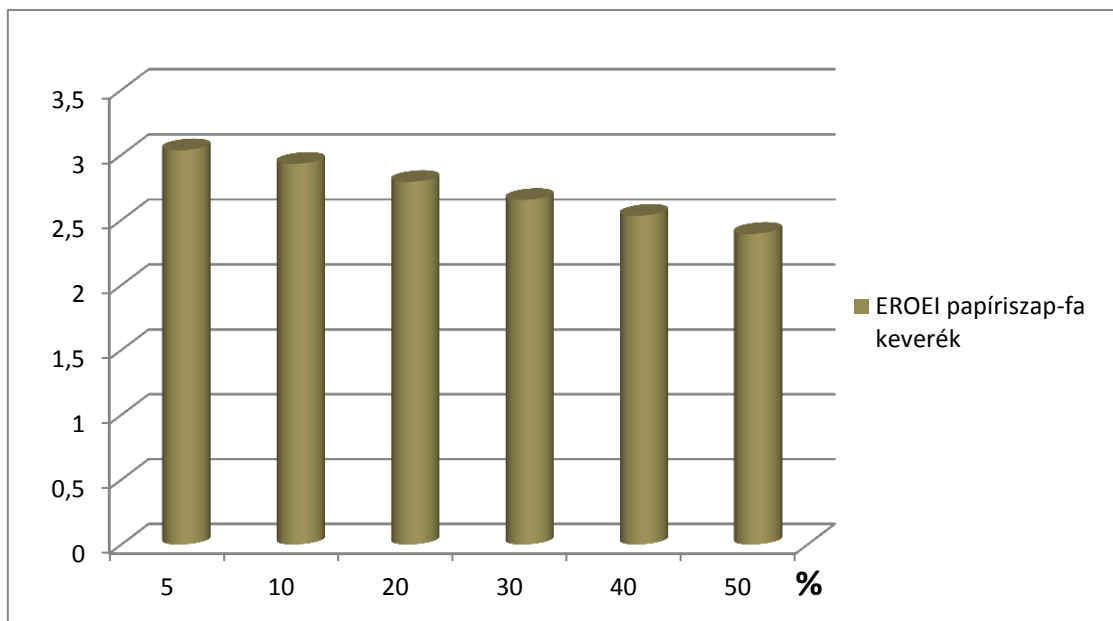
37.ábra. Hamutartalom változása a papíriszap bekeverési arány növelésével (%)

A fűtőérték pedig a papíriszap arányának növelésével csökkent. A méréseket háromszor ismételttem, az eredmények átlagát a következő táblázat szemlélteti.

26. táblázat: Fűtőérték változása a papíriszap-fapellet mixben

Bekeverési arány %	Fűtőérték MJ/kg
5	17,5
10	16,9
20	16,1
30	15,3
40	14,6
50	13,8

A papíriszap pelletként történő hasznosítása során az EROEI értékek, a viszonylag alacsony fűtőérték miatt jóval kisebbek, mint fapellet vagy agripelletek esetén. A másik probléma a magas nedvességtartalommal lehet, az optimális 11-12%-os szint eléréséhez üzemi körülmények között jelentős energia bevitelre lenne szükség a szárításhoz. Bár papíriszap pelletálási energia igényéről üzemi adatok nincsenek, egy közelítő értéket meg lehet adni. Ha az előző fejezetekben bemutatott technológiai energia igényekből egy átlag értéket veszek figyelembe, (a beszállításra 120 MJ/t, a pelletálási folyamathoz primer energiában 1700 MJ/t, a szárításhoz 1500 MJ/t, pellet szállításra 200 MJ/t, a kazán energiafogyasztásra 650 MJ/t) megadható egy becsült érték az energia ráfordításra. A hasznosítás során 80%-os hatásfokot feltételezve, a vizsgált minták fűtőértékéből becsülhetjük a visszanyerhető energia mennyiségét. A papíriszap bekeverési arányának növelésével, a csökkenő fűtőértékek miatt, természetesen az EROEI értékek is alacsonyabbak.



40. ábra: Papírszap-fa pelleték becsült EROEI értékei a bekeverési arány függvényében

Mivel a visszanyerhető energia mennyisége sokkal alacsonyabb, mint a tiszta fapelleté, az EROEI becsült értékei is kisebbek, 50%-os bekeverésnél már csak 2,3 körül alakulnak.

13.2 Pirolízis korom –fapellet mix

Gumiabroncsok pirolízises bontása során melléktermékként keletkező pirolízis korom energetikai jellemzőit vizsgáltam, és különböző arányú korom-fa keverék pelleteket készítettem. A gumiabroncsok hasznosításának, környezetvédelmi szempontból kiemelten fontos szerepe van. Évi 700 millió kerékköpenyt gyártanak a világon, és (a felhasználás csekély növekedésétől eltekintve) lényegében ugyanennyit használtak el is dobnak. „Ezek a világ egyik legsúlyosabb hulladék elhelyezési problémáját okozzák, hiszen az újrahasznosítás aránya nagyon csekély, a gumi pedig a természetben nem bomlik le. Egy részét elégetik, például cementgyárakban, de még mindig rengeteg marad, amit csak valahogy eltemetnek vagy valahol felhalmoznak „[Nagy 2011]. Az EU hulladékok lerakásáról szóló rendelete [Council Directive 1999] megtiltja az abroncsok hulladéklerakóba helyezését, ezért ma már 100%-ban újra kellene hasznosítani. Az anyagában történő hasznosítás leggyakoribb módja, amikor a gumit őrlik, szétválogatják az egyéb komponensektől, és ezt az őrleményt adalékokkal felhasználva, különféle gumi elemeket gyártanak belőle [Farkas 2015]. A hulladék olyan sok, hogy jelenleg csak a töredékét képes hasznosítani az ipar. Olajos Péter, a Körforgásos Gazdaságért Alapítvány elnökségi tagja szerint: „ az anyagában hasznosítás, még a fejlett nyugat-európai technológiák mellett is maximum húsz százalékban érhető el, a további nyolcvan százalék hulladékként másképpen kell felhasználni, mert nincs piaca ezeknek az újra feldolgozott termékeknek.” Tehát kiemelt fontosságú az évente hazánkban keletkező kb. 50 ezer tonna gumihulladék energetikai hasznosítása is. A hőbontásos, pirolízises eljárás, a cementgyári és hulladékégetőkben történő hasznosítás mellett, egyre nagyobb szerephez jut. Magyarországon Dunaszerdahelyen működik a legnagyobb

gumiabroncsot pirolizáló üzem, Százhalombattán is épült volna gumihulladék-feldolgozó, ám a helyiek tiltakozása miatt erre nem kerül sor.

A pirolízis egy termikus eljárás, ami során oxigéntől elzárt környezetben, három termék ill. melléktermék keletkezik: a pirolízis gáz, amelyet általában a berendezés fűtésére használnak, valamint a pirolízis olaj és a korom [Martínez 2013]. Az olajat is legtöbbször elégetik és villamos áram előállítására használják, vagy új eljárásokkal feldolgozzák és diesel üzemű motorok üzemanyagként hasznosítják. A korom az eljárás után fűtőanyagként (kokszt) használható magas fűtőértéke miatt, vagy további kezeléssel, az aktív felület növelésével gumigyártásban is használható kiváltva teljes mértékben vagy részben az erre a célra gyártott magasabb áron beszerezhető ipari kormokat. A legtöbb elemzés szerint a pirolízis energiamérlege a melléktermékként megjelenő kokszt/korom hasznosítása nélkül veszteséges, a hatásfok 62-65% [Nagy 2013]. A keletkező gáz nagy részét a reaktor fűtésére használják. A korom eredeti formájában nehezen szállítható, ezért lenne fontos a szállítás gazdaságosabbá tétele, az energetikai hasznosítás előtt. Az egyik lehetőség lehet a fabriketthez adagolás, vizsgálatok folynak 2013-óta [Kovács 2014].

Az MTA környezeti hatástanulmányában vizsgálta a Homatech W Magyarországra tervezett, évi 30 ezer tonna gumiabroncsot hasznosító technológiáját. Az üzem termékei a pirolízis gáz (4-6,5 m/m%), a gáz kénmentesítéskor kapott elemi kén (~0,2 m/m%), a pirolízis olaj (20-30 m/m%), a pirolíziskokszt, lényegében korom (35-45 m/m%), valamint acéldrót (10-12 m/m%). Az üzemszerű működés mellett vizsgálták a környezeti kibocsátásokat, a termelt és megtisztított gáz elégetésének égéstermékei és a folyamat során keletkezett szennyvíz (6-10 m/m%) technológia környezeti megfelelőségét. A kokszt és az acéldrót vízzel együtt lép ki a reaktorhoz kapcsolódó vízzáron keresztül. Az acéldrót a víz és a kokszt szeparációjának eredménye értékesíthető tiszta acél, a technológiában újrahasznosítható víz, valamint nedves kokszt. A kokszt (korom) nedvesen tartásával a kiporzás nagyrészt elkerülhető. Az esetleges kiporzás megakadályozására a szeparációs folyamatokat zárt térben végzik, folyamatos porelszívás és porleválasztás mellett. A nedves koksztot a zárt térben tárolják, a csurgalékvizet visszavezetik a vízzárba, tehát újrahasznosításra kerül. A technológia leginkább egészség és környezetkárosításra alkalmas eleme a mutagén vegyületekben, poliaromászénhidrogénekben (PAHs) és aromás-aminokban gazdag korom és a PAH vegyületekkel és aminokkal szennyezett szennyvíz. A gumialkotó polimerek között klór- és oxigéntartalmú alkotók, például klórozott- vagy klórszulfonált polietilén, poliakrilát, uretángumi, stb., is lehetnek. Egyértelműen nem zárható ki tehát, hogy dioxinok és furánok, akár csak billiomod rész (ppb) koncentrációban is, de keletkezzenek. Ma még kérdés, hogy a Magyarországra tervezett üzemből valóban keletkeznek-e ilyen toxikus vegyületek, és ha igen a melyik termékben halmozódnak fel. A korom mutagén, karcinogén komponensei kis gőznyomásuk miatt nem jelennek meg a levegőben mérhető mennyiségben, a szennyvízbe kerülő szerves anyagok sem jelentenek közvetlen kockázatot. Az egészségre potenciálisan veszélyt a káros anyagokat hordozó nano- és mikroméretű koromszemcsék belégzése jelentheti. A kokszt elégetésére sikeres erőtűvi kísérletek történtek. Kéntartalma az ásványi szén kéntartalmához hasonló. A széntüzelésű égetőtű füstgázkezelése számára nem jelent többletterhelést a gumieredetű pirolíziskokszt égetése. A PAH vegyületek a szénnel együtt elégethetők. A kokszt

értékesítésekor szükséges a termék biztonságtechnikai adatlapját is mellékelni, melyben feltüntetésre kell kerülnön a lehetséges kiporzásnak az egészség és környezetkárosító hatása, mely alapján a felhasználó a szükséges egészség- és környezetvédelmi intézkedéseket meg tudja hozni [MTA környezeti hatásvizsgálat 2016].

27. táblázat: Gumiabroncs összetevői [Nagy 2013]

Anyag	Részarány [%]
természetes gumi	23
szintetikus gumi	24
korom	25
acélszál	14
textilszál	4
egyéb	10

A gumi összetételét tekintve az acélszál kivételével szinte minden anyag éghető, vagy pirolízissel bontható, és magas fűtőértékkel rendelkezik. A pirolízises eljárásnak is többféle változata és technológiája alakult ki, így a különböző anyagok, fő és melléktermékek kihozatali értékei is jelentősen eltérhetnek. A kihozatali értékek fő meghatározója természetesen az alkalmazott módszer mellett a bevitt anyag összetétele. A Szent István Egyetemen különböző típusú, és különböző hulladék anyagokat hasznosító pirolízises technológiákkal is foglalkoznak [Lakatos et al 2013]. Kutatásaik alapján a következő táblázatban különböző technológiák melléktermék képződésének mennyiségét tüntették fel.

28. táblázat: Szilárd és gáztisztítási maradékanyag mennyisége technológiánként (tonna/100000 tonna)

	Lurgi	Compact Power (előkezelés nélkül)	Compact Power (előkezeléssel)	Brightstar	Waste Gen	Foster Wheeler	Thermoselect	Energos
Technológia	égetés	pirolízis	pirolízis	pirolízis	pirolízis	gázosítás	pirolízis-elgázosítás	gázosítás
Salak/koksz	21353	19598	13065	23400	27090	30351	23390	34526
Gáztisztítási maradékanyag	2265	945	630	500	2257		3583	3823
Összesen	23618	20543	13695	23900	29347	30351	26973	38349

Látható tehát, hogy a képződő koksz/korom mennyisége jelentős, általában 20-30%, de gumibontásnál még ennél is magasabb értékek jelenhetnek meg, sőt akár mennyiségét tekintve a korom (35-40%) több lehet, mint a pirolízis olaj (30-35%) [MTA 2016]. A korom hasznosítása tehát kiemelten fontos kérdés, meghatározhatja egy technológia nyereségességét, illetve jelentősen befolyásolja az energia-mérleget. Az újabb technológiák nanotechnológiai folyamatokkal alakítják át a kormot. A jövőben várhatóan egyre nagyobb szerephez jut majd a korom újrahasznosítása. Azonban napjainkban az energetikai hasznosítás kiemelten fontos kérdés.

13.2.1 A vizsgálatok bemutatása

Hazai szakirodalmat nem találtam a pirolízis korom pelletálás témában, külföldi anyagokban is csak kis mértékben feltárt, inkább céges leírások találhatóak, szakirodalmi adatok a pelletálásra vonatkozóan kevésbé. Liu et al 2013-ban kifejlesztett egy speciális pelletálót pirolízis korom és biomassza keverék hasznosítására, azonban az általuk előállított keverék pellet átmérője 14-20 mm, tehát jelentősen nagyobb, mint az Európában megszokott 6-10 mm-es méret. A pelletek minőségéről, a keverékek arányáról nem áll rendelkezésre adat. Egy amerikai cég [Mars Mineral 2015] is kifejlesztett egy pelletálási technikát a gumipirólízis koromra, az általuk készített tiszta korom „pellet” átmérője 0,3-2mm, tehát jelentősen kisebb, mint a megszokott méretek. Esetükben a cél nem az energetikai hasznosítás, hanem a szállítás könnyítése, és a kiporzás csökkentése volt.

A munkám során vizsgált pirolízis korom, frakcióját tekintve nano – és mikrorészecskékből áll, így a labormunka során kiemelten fontos volt a munkavédelmi előírások betartása, az esetleges kiporzás miatt. A beérkező korom nedvességtartalma 8,2-8,6 %-volt, fűtőértéke magas, a kalorimetriás mérések átlaga 27,9 MJ/kg.

Különböző arányú keverékeket készítettünk, Kahl típusú síkmatricás préssel (max. teljesítmény 22 kW, matrica vastagság 28 mm, matrica furat átmérő 6 mm, kapacitás 200-250 kg/h) állítottunk elő pelletet melynek vizsgáltam az energetikai jellemzőit, valamint a pelletek hosszúság változását. A mellékletben elhelyezett XXIV. ábrán korom pellet látható 10%-os bekeverésnél. A pelletek hossz méréséhez elvégeztem a statisztikai kiértékelést, az eredményt a XXV. mellékletben helyeztem el. A korom tisztán nem pelletálható, már 30%-nál nehézkes, „beleég” a présfuratokba. A korom arányának növelésével, a pelletek hosszúsága láthatóan csökkent, amit a tolómérős mérések igazoltak. Az átlagos közepes hosszúság, és a korom bekeverés aránya között lineális összefüggést feltételeztem. A hosszváltozások átlagára, és a bekeverési arány mértékére felírható, a legkisebb négyzetek módszerének a felhasználásával a pontokat legjobban megközelítő egyenes, az ún. regressziós egyenes.

29. táblázat: Pelleték közepes hosszúság változása

korom bekeverési arány (%)	3	5	10	15	20
átlagos közepes hossz (mm)	17,5	17,1	16,4	13,2	10,1

x jelöli a bekeverési arányt, y az átlagos közepes hosszúságot. A $a \cdot x + b = y$ egyenletből az a és b értékét keressük, ezek a regressziós egyenlet paraméterei.

30. táblázat: Regressziós egyenlet paraméterei

n	x	y	xy	x ²
1	3	17,5	52,5	9
2	5	17,1	85,5	25
3	10	16,4	164	100

4	15	13,2	198	225
5	20	10,1	202	400
sum	53	74,3	702	759

$$a \cdot \sum x_i^2 + b \cdot \sum x_i = \sum x_i y_i$$

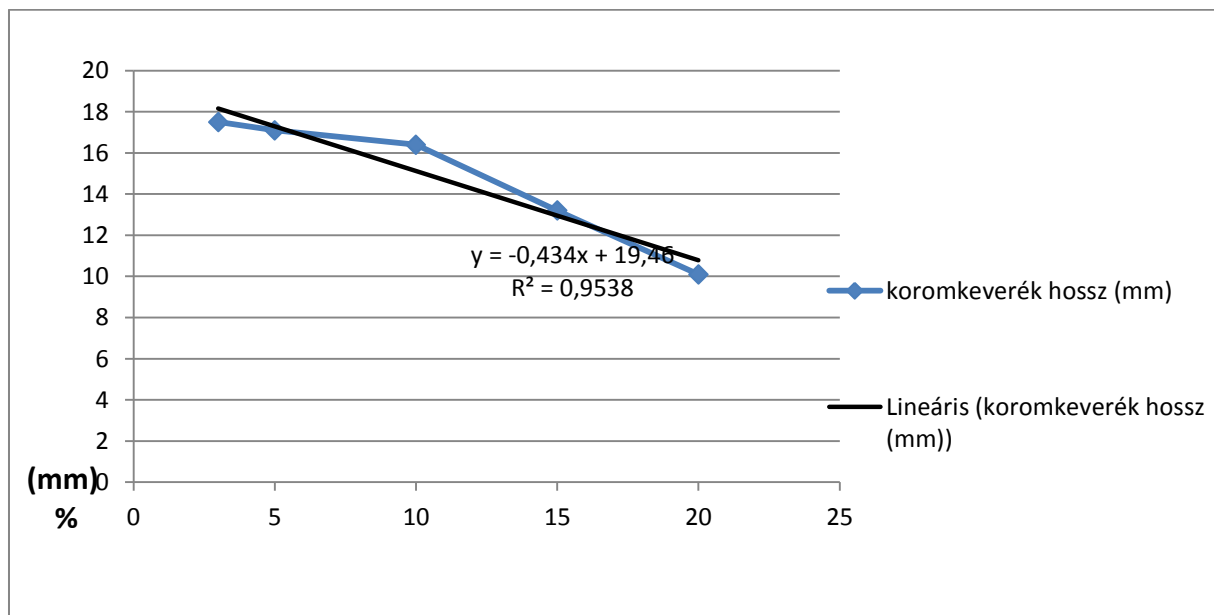
$$a \cdot \sum x_i + b \cdot n = \sum y_i \quad \text{alapján:}$$

$$a \cdot 759 + b \cdot 53 = 702$$

$$a \cdot 53 + 5 \cdot b = 74,3$$

$$y^- = -0,43x + 19,41$$

Tehát, a bekeverési arány növelésével, ahogy várható volt, lineárisan csökken a pelleték átlagos közepes hosszúsága, a regressziós egyenes meredeksége -0,43.



41. ábra: Korom-fapellet keverék közepes hossz változása, a bekeverési arány függvényében

Az eredmények alapján elmondható, hogy a korom tisztán a megszokott módszerekkel, nem pelletálható. Faporhoz keverve, a vizsgálatok alapján maximum 20%-os bekeverési arányt javasolnánk, 6 mm-es átmérőnél. További vizsgálatokat lehetne folytatni az átmérő növelésére irányulva, mellyel talán nagyobb arányban is keverhető lenne a korom a faporhoz.

A hasznosítás során, a koromban lévő magas kén tartalom, és esetleges mutagén vegyületek (PAHs, klórszulfonált polietilén, esteleg ppb koncentrációban dioxinok és furánok) lehetnek jelen. Ezért kiemelten fontos, hogy a hasznosítás csak a megfelelő tisztító és szűrő berendezéssel ellátott tüzelő berendezésekben valósulhatna meg. A korom-fa keverék pelleték hosszúság csökkenése is nagyban befolyásolja a pellet tüzelőkben történő égetést, hiszen ha kisebb méretű pelleték kerülnek a tüztérbe – és a finomhányad is megnövekszik – ez módosíthatja a füstgázösszetételt, és a távozó szilárd anyagok mennyiségét is. Környezetegészségügyi szempontból a PM₁₀ szálló por frakciók lehetnek különösen

veszélyesek. Ez elsődlegesen annak köszönhető, hogy az égetéséhez betáplált levegő a kisebb részecskéket magával is ragadhatja anélkül, hogy azok megfelelő mértékben elégték volna (különösen akkor, ha túlzott mennyiségű levegőbetáplálás történik, mely akár egy rosszabb beállítás miatt, vagy tűztéri problémák miatt is adódhat). Nem mellékes az sem, hogy a pelletégetésre használatos égőfejek – kialakításukból fakadóan – nem tökéletesen alkalmasak a kisebb morzsalékok tökéletes elégetésére [Németh 2014]. Mivel a pirolízis koromban mutagén vegyületek is jelen lehetnek, illetve a bekeverés során jelentősen csökkent a pelletek hosszúsága is, a hasznosítás során, megfelelő szűrő berendezések nélkül ezen anyagok kikerülhetnek a környezetbe.

Bár a korom a pelletek hosszúságára negatív hatással van, a magas 27-28 MJ/kg-os fűtőérték miatt, a bekeverési arány növelésével, nyilván a keverék pelletek fűtőértéke is növekedett.

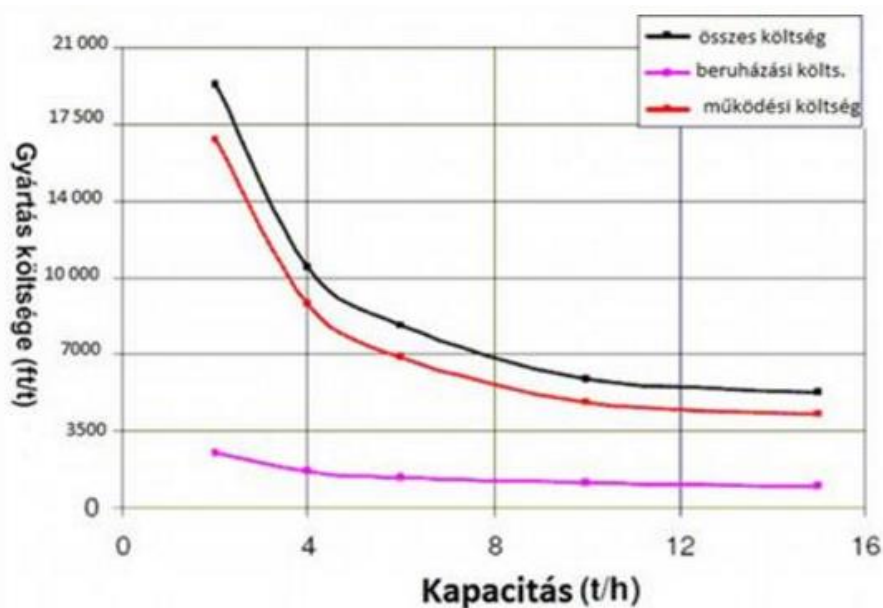
31. táblázat: Korom-fapor keverék pellet fűtőérték változása

Korom bekeverési arány %	Fűtőérték MJ/kg
3	19,2
5	19,4
10	19,9
15	20,7
20	21,4

14 A pellet gyártás és hasznosítás ökonómiai kérdései

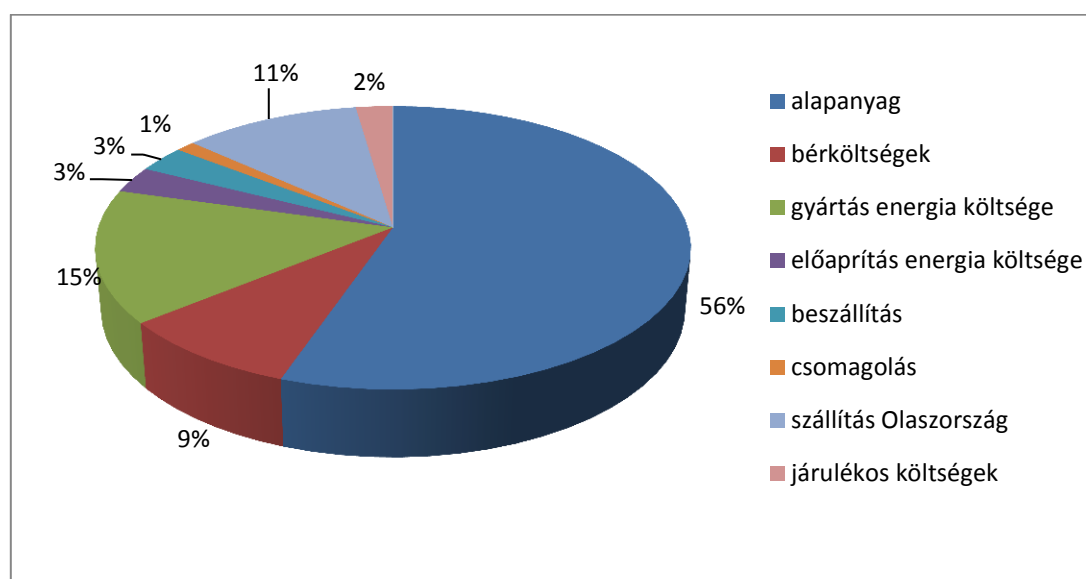
A megújuló energiák előállítása során, a környezetvédelmi nézőpontok mellett, a gazdasági szempontok megismerése is kiemelten fontos. A pellet ökonómiai kérdései megközelíthetők a gyártók szempontjából, valamint a felhasználók oldaláról is. A pellet előállításának gazdasági vizsgálatával számos tanulmány foglalkozott, a legtöbb elemzés a fapellet gyártás témakörre tér ki [Mani-Turhollow 2008, Sikkema et al 2011, European Pellet Report 2015, Tromborg et al. 2013, AEBIOM Stat. Report 2015, Boldog-Blaskó 2012, Németh 2013]. Mezőgazdasági melléktermékekből, valamint energianádból készült pelletek gazdasági kérdéseivel foglalkozó átfogó külföldi kutatások Nolan et al. 2010-es és Finnan szintén 2010-ben publikált tanulmányában jelennek meg. Hazai viszonylatban az agripellet előállítás gazdasági kérdéseivel is foglalkozott Boldog-Blaskó 2012-ben és Szamosi et al. 2013-ban. Különböző fűtési módok, köztük az agripellet és fapellet felhasználását, a kazán beruházások megtérülési idejét vizsgálta Durkó 2013-ban. Bai-Tarsoly 2011-es tanulmányukban a mezőgazdasági melléktermékek hasznosításának gazdasági kérdéseivel foglalkozott.

A fa és agripellet előállítás költsége számos tényezőtől függ, úgy mint az üzem mérettől, az alapanyag árától, a villamos energia áráktól, és az alkalmazottak számától. Egyes elemzések szerint a költség 40%-át az alapanyagár, 15-20%-át a gyártáshoz használt villamos energia, 25%-át a munkabér teszi ki [Mani et al 2006]. Búzaszalmából előállított pellet ökonómiai vizsgálata során a költségek 60-66%-a az alapanyag beszerzés [Nolan et al. 2010]. Az előállítás önköltsége a kapacitás függvényében is nagyon változó lehet. Egy 10 tonna/óra kapacitású üzemben körülbelül 800 forint/tonna az élőmunka költsége, míg egy 2 tonna/órás üzemben 2000 forint/tonna [Boldog-Blaskó 2012]. A gyártás költségei tehát technológiánként, az alkalmazott alapanyag függvényében és a kapacitás szerint is nagy eltérést mutatnak. A következő diagram szemlélteti az egységnyi tömegre vetített előállítási költségek csökkenését a gyártási volumen növekedésének függvényében.



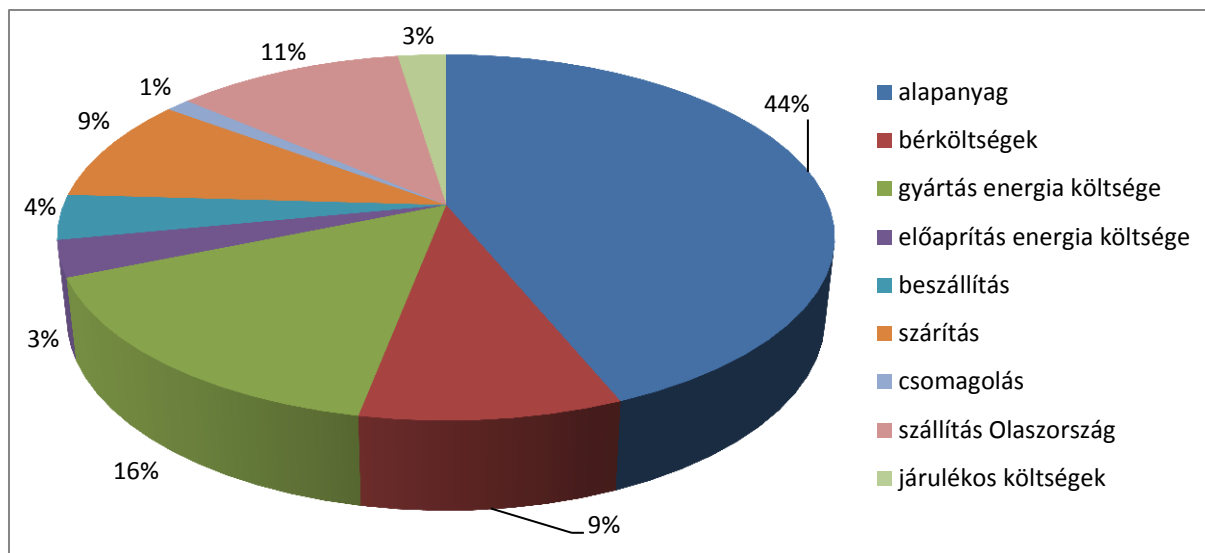
42. ábra: Pellet előállítás költségei a kapacitás függvényében [Boldog-Blaskó 2012]

A pellet gyártás költségtényezőinek bemutatásához, a vizsgált pellet üzemek nem járultak hozzá pontos gazdasági adatok közléséhez, ezért a költségek eloszlását szemléltetem. A fapellet üzemeknél, az alapanyag ár az összes kiadás 50-55%-a között mozog. A Szlovákiából érkező forgács költségeiben tonnánként 5-6 ezer Ft különbség is lehet, így gazdasági szempontból, megéri a hosszabb beszállítási távolságokkal is behozni az alapanyagot. A MAPE adatai szerint a magyar fapellet gyártók Ukrajnából is vásárolnak, ahol egyelőre még sokkal olcsóbban jutnak hozzá a faipari melléktermékekhez, vagy akár farönkökhöz. Ezzel az alapanyag hosszú beszerzési útvonala miatt a ráfordított energia és a szén-dioxid kibocsátás is jelentősen megnő, így a gazdasági érdekek miatt a környezetvédelmi szempontok ismét háttérbe szorulnak. A költségek jelentős részét teszi ki a villamos energia díja, mely szintén eltérő a gyártási volumen, a technológia függvényében is. Az alap gyártás energia költsége 14-15% körül alakul, tonnánként 6300-6800 Ft között, melyet az előaprítás energia költsége 1200-1300 Ft-al emel meg. A nedves alapanyag szárítási költsége nagyban függ a beérkező alapanyag nedvességtartalmától, és a szárítási technológiától is. Eltérő értékek jelennek meg földgáz vagy biomassza fűtésű kazánok esetén is, de a különböző rendszerek villamos energia igénye is eltérő. 30%-os nedvesség tartalmú anyag biomassza fűtésű kazánal tonnánként 3-4000 Ft-al, földgáz használatával 5-6000 Ft-al emeli meg a gyártási költségeket. A ráfordítások jelentős részét teszi ki az alkalmazottak bérköltsége, mely a kapacitás függvényében szintén változó. A vizsgált üzemeknél a bérköltség 8-9%, tonnánként 3600-3800 Ft. A kész pellet 80-90%-át Olaszországban értékesítik, ezzel az összes költséghez viszonyítva a szállításra 10-11%-ot, 4500-4700 Ft-ot fordítanak tonnánként.



43. ábra: Fapellet előállítás költségeinek eloszlása

A következő ábrán pedig a költségeloszlást ábrázoltam szárítási technológia alkalmazásával, biomassza apríték használattal kalkulálva. Ebben az esetben, 30 %-os nedvességtartalmú anyag szárítása a gyártási költség 9%-át teszi ki, de nedvesebb alapanyag, vagy földgáz használattal a költségek elérhetik a 15-18%-ot is. Nyilván a nedves alapanyag olcsóbban beszerezhető, de összeségében megemeli az egységnyi tömegre vetített gyártás költségeit, és a beszállítás is kevésbé gazdaságos, mint száraz faanyag esetén.



44. ábra: Fapellet előállítás költségeloszlása szárítással

A költségek jelentős részét teszi ki a kész termék szállítási költsége. A külföldi értékesítés, még így is megtérül, a pellet árak Olaszországban a nagy kereslet és alacsony gyártási kapacitás miatt sokkal magasabbak, mint hazánkban, vagy akár Ausztriában. A pellet áralakulás megértéséhez, a környező országok export-import adatait is ismernünk kell. A Pellet Atlas 2012-es, és a PellCert Project 2014-es jelentései alapján, melyek részletesen mutatták be az EU-n belüli országonkénti pellet import alakulását, jelentős eltérések jelennek meg a termék árakban országonként. A XXVI. mellékletben elhelyezett ábrán látható, hogy Olaszországban a jó minőségű fapellet ára már 2014-ben is volt, hogy meghaladta a tonnánkénti 300 eurót, átlagosan 290 euró körül alakult. A XXVII. mellékletben pedig a fapellet import alakulása látható. Egy hazai fapellet üzem példája szerint 2016 nyári szezonban Big Bag zsákos formában 292 euró/tonnáért tudták értékesíteni a pelletet, mely az őszi-téli szezonban további 10-15 euró/tonna 302-307 eurós tartományban mozog. Ausztriában a pellet ár valamivel alacsonyabb, melyet egy részt a nagy mennyiségű Romániából és Csehországból érkező import, valamint az Olaszországba és Németországba történő export is befolyásol. A PellCert Project jelentésben kitérnek az alapanyag árak növekedésére is, egy osztrák példa alapján a faforgács áremelkedése 2011-es évben 30%-ot is meghaladta, tonnánként 80 euró fölé emelkedett, ami jelentősen megváltoztatta a jó minőségű fapellet előállítás gazdaságosságát. Magyarországon a pellet árak jóval alacsonyabbak, mint Olaszországban vagy Ausztriában, melyben az alacsony kereslet mellett az is szerepet játszik, hogy a felhasznált pellet 20-30%-a Ukrajnából és Romániából érkezik [MAPE 2014]. Az utóbbi években jelentős áremelkedés volt hazánkban is, míg 2010-ben a fapellet ára 48-52 Ft/kg között mozgott, 2016-ban a gyengébb minőségű pelletek 78-85 Ft/kg, a prémium minőségű fenyő pellet pedig már 95 Ft/kg-os áron szerezhető be.

Az agripelletek alapanyagául szolgáló szalma és szár jelentősen olcsóbb, mint a fapellet alapanyagai. Azonban az utóbbi öt évben a búzaszalma ára is nagymértékben nőtt, melyet a nagyobb kereslet is magyarázhat, a Pécsi Erőmű évi 260 ezer tonnás felhasználása, valamint az állatállomány gyenge növekedése miatt. Bálázással és az üzembe szállítással együtt a szalma ára tonnánként 14-15 ezer Ft körül alakul, a repceszár is hasonló, valamivel olcsóbb

14 ezer Ft/ tonna. A napraforgó héj 16-19 ezer Ft/tonna tartományban mozog. Az alapanyagok áraban régióként is jelentős eltérések lehetnek, illetve ahogy az energiamérleges résznél szemléltettem, a beszállításra fordított üzemanyag, a hosszú szállítási távolságok is jelentősen megnövelhetik a költségeket. Az alapanyag árra jön a gyártás tonnánkénti energia költsége, amely 5,5-6 ezer Ft/tonna körül alakul. Az alkalmazottak bérköltsége a hazánkban jellemző kis óránkénti kapacitású üzemnél 3500 Ft/tonna további költséget jelent. A késztermék szállítása, agripelletek esetén gyakrabban alkalmazott 15-25 kg-os zsákos csomagolás, és egyéb járulékos költségekkel együtt egy tonna agripellet előállítás költsége 26-28 ezer forintos tartományban mozog. Értékesítéskor ÁFÁ-val együtt a szalma pelletek 50-55, a napraforgó héj pellet 52-60 Ft/kg-os ár között alakulnak. A tonnánkénti árrés, vagyis a nyereség egy tonna pelleten alpanyagtól, szállítástól és az értékesítés módjától függően nagyon változó lehet, 8-9 ezer Ft/tonna. A kérdés ezzel az árréssel mikor térül meg a pellet üzem beruházása. Sajnos egyetlen cég sem járult hozzá a gazdasági adatok közzétételéhez, ezért a megtérülési időt nem publikálhatom. A szakirodalmi adatokban nagyon eltérő adatok jelennek meg a megtérülési időt 3,5-10 év közé sorolják [Steiner et al. 2015].

Az energiahatékonyság, és a gyártás költségei javíthatók, egy a jövőben nagy lehetőségeket rejtő fejlesztés, a mobil pelletáló egység alkalmazásával. A gépsort a gyártó úgy tervezte meg, hogy az összes szükséges alkatrész elfér egy speciális konténerben. A mobil üzemek termelési kapacitása változó: 1000 kg/óra, 1500 kg/óra és 2000kg/óra [Steiner et al. 2015]. Német kutatók kifejlesztettek egy olyan mobil pelletáló gépet, egy pellet harvestert, ami az aratás után a rendről felszedve állít elő agripelletet, óránként 5 tonnát [Mezőhír 2015]. Az így készült pellet fizikai tulajdonságainak vizsgálatáról, nem állnak még rendelkezésre kutatások. Az átmérő nagyobb, mint a megszokott agripelleteknél, 16 mm-es [Krone technical data 2016]. Az optimális nedvességtartalom 15% körüli, így a betakarítás ideje szintén időjárás-függő. Azonban ezzel az egy művelettel kiváltják a bálázás és rakodás költségeit, valamint a szántóföldön állítanak elő 650-700 kg/m³-es halmazsűrűséget. Az 5 t/h pelletálásához minimum 300 kW teljesítményű traktor input szükséges. Vizsgálataik szerint a mobil eljárással készült pellet előállítás költsége fele annyi, mint az üzemi előállítás [Krone technical data 2016]. Az előállított pelletet almozásra és energetikai célokra is értékesítik. Ez a fajta pellet gyártás az energia mérleg szempontjából is kedvezőbb, hiszen nem kell erőművi villamos energiát fektetni a folyamatba, a bálázásra fordított energiával sem kell számolni, valamint a szállítás költségei is kedvezőbbek. A technológia elterjedésével az agripellet üzemek működése feleslegessé válik, mely a munkahelyek szempontjából negatív, de az egész folyamat gazdasági és környezetvédelmi oldalát nézve pozitív hatással bír.

15 Összefoglalás, javaslatok

Az utóbbi években a fapellet előállítás és hasznosítás jelentősen emelkedett az Európai Unióban. Magyarországon is nőtt az előállított fapellet mennyisége, az agripellet előállítás azonban a rendelkezésre álló alapanyag bázis ellenére is csak lassan növekszik. A kereslet növekedése különböző minőségű, illetve darabos vagy nedves faanyagok bevonását eredményezte a pelletálásba, amivel a folyamat energia bevitele jelentősen megnőtt. A fapellet 80%-át külföldön értékesítik, a legtöbb pelletet Olaszországba szállítják, mellyel jelentős energia ráfordítás történik, tovább rontva a folyamat energia mérlegét. Az agripelletet belföldön értékesítik, azonban az előállított mennyiség a fapellet töredéke. Jelentős növekedés a hazai agri és fapellet hasznosításban csak akkor történne, ha a tüzelő berendezések megvétele anyagi támogatással járna. Pár éve még a fapellet is olcsóbb volt a gázfűtéshez képest, azonban napjainkban a jó minőségű pellettel történő fűtés, már drágább, mint a gázfűtés. Így nincs semmi, ami ösztönözze a lakosságot a pellet fűtésre történő átállásra. Ezzel a pelletgyártók továbbra is külföldre szállítják majd a terméket, jelentős üzemanyagot felhasználva, valamint növelve a folyamat ÜHG kibocsátását.

Aggasztónak tartom, hogy a fapellet iránti hatalmas kereslet növekedés miatt, az Európai Unióban és hazánkban is egyre inkább jellemző lesz a darabos faanyagok, sőt egész farönkök pelletálása. Ezzel a folyamat során ráfordított energiák, és a kibocsátások is megnőnek, a környezetvédelmi szempontok pedig háttérbe szorulnak.

Agripelletek estén, egyelőre a belföldi értékesítés a jellemző, valamint a vizsgált üzemekben nem alkalmaztak szárítást, így a fapellet előállításához képest, az EROEI értékek jobbak voltak. Azonban a műtrágya használat és előállítás kibocsátásai már jelentősen megváltoztatják a folyamatot. A különböző növényi maradványok fűtőértékében és a tüzelés hatásfokában is jelentős eltérések jelentek meg, így az energia mérlegre különböző eredményeket kaptam az alapanyagok függvényében is. A repceszár-búzaszalma keverék pelletek égési tulajdonságai jelentősen jobbak voltak, mint a tiszta repceszár pelleté, így javaslom a keverék pelletek gyártását, melyet az alapanyagok rendelkezésre állása is lehetővé tesz. A búza és repce betakarítási ideje megegyezik, illetve nincs nagy eltérés, így a különböző szár és szalma bálák egy időben is rendelkezésre állnak. A jövőben érdemes lenne a kutatásokat különböző agripellet-keverékek vizsgálatára kiterjeszteni.

Az alapanyag bázis bővíthető ipari melléktermékek vagy hulladékok pelletálásával is. Papíriszap és gumi pirolízis melléktermékeként megjelenő korom, illetve faanyaghoz adagolt különböző arányú keverékek előállítását és a pelletek energetikai és mechnaikai tulajdonságát

vizsgáltam. A papírszap jól pelletálható, azonban a hamutartalma nagyon magas. A pirolízis korom pelletálása maximum 20%-os bekeverésig lehetséges, e felett a tömörítés problémás, az anyag beleéghet a présfuratokba, valamint a pellet is töredezik. Jövőben javaslom a présfurat növelésével is elvégezni a vizsgálatokat, illetve érdemes lenne ezen anyagok, valamint keverék pelletek égési tulajdonságait is megfelelő körülmények között vizsgálni. A koromban jelenlévő esetleges mutagén anyagok miatt, ezek a pelletek csak a megfelelő tisztító és szűrő berendezéssel ellátott tüzelő berendezésekben lennének hasznosíthatók.

16 Tézisek, új kutatási eredmények

A jelölt doktori munkájának következtetései az alábbi tézisekben foglalhatók össze:

1.

Doktori munkája során a jelölt hazai példák alapján mutatta be, hogyan változtatja meg az alap fapellet gyártási technológia 11-13 közötti EROEI értékeit a különböző technológiai folyamatokra kiterjesztett primer energia igények figyelembe vétele. A beszállítási távolságok, az esetleges szárítás, előaprítás, a kész termék szállítása és felhasználása során ráfordított primer energiák figyelembe vételével kibővített energia mérleg értékei már csak 2,5-3 EROEI érték közé esnek.

1/a,

A gyengébb minőségű, nedvesebb alapanyag az alap fapellet gyártási technológia primer energia igényét jelentősen megnöveli. Egyre több példa van arra is, hogy raklapgyári darabos fát, vagy aprítékot használnak, mint pellet alapanyag. Ezzel jelentősen megnő az alapanyag előaprítására fordított energia is, mely nem csak a gyártás költségeit növeli, az energia és szén-dioxid mérleget is szignifikánsan megváltoztatja. Az energiamérleget szintén jelentősen befolyásolja az alapanyag pelletüzembe történő szállításának távolsága. A kis térfogati sűrűséggel rendelkező forgács, illetve agripelletek esetén a bálák beszállítása jelentős energiát igényel, és tovább rontja az energiamérleget, ha nedves alapanyagot szállítanak.

1/b,

A jelölt véleménye szerint környezetvédelmi szempontból egy komplex előállítási és gyártási folyamat vizsgálata a leginkább lényeges. A hazai gyártók egyre inkább export orientáltak, mellyel bár gazdasági szempontból jövedelmező üzletág jön létre, a késztermék hosszú szállítási útvonala miatt a ráfordított üzemanyag felhasználás környezetvédelmi szempontból kérdéses. Nem szabad figyelmen kívül hagyni azt sem, hogy az automatizált módon működő pellet kályhák és kazánok hatásfoka is változó, valamint működésük során villamos energiát használnak fel. Figyelembe véve a pellet tüzelő berendezések működésének hatásfokát és primer energia igényét is, szignifikánsan megváltozik a folyamat energia és szén-dioxid mérlege.

2.

Az agripellet és fapellet előállítása és hasznosítása környezetvédelmi szempontból számos kérdést vet fel, valamint az egész folyamatot figyelmebe véve, az üvegházhatású gázok kibocsátása is jelentős. A jelölt kitért arra, hogy a hazai erőművek kibocsátási adatainak figyelembe vételével is eltérő értékek jelennek meg. A fapellet előállítás során az előállítási és hasznosítási folyamatot figyelembe véve 1 tonna pelletre a kibocsátási értékek 280-500 CO₂ ekv érték közé esnek, a vizsgált agripellet üzemekben a rövidebb szállítási távolságok miatt az érték valamivel kedvezőbb, 200-350 CO₂ ekv közé esik. Ezekben az értékekben még nem jelenik meg a biomassza tüzelése során felszabaduló CO₂ mennyiség, melyet hozzáadva az adatokhoz 2000-2300 CO₂ ekv értékek adódnak.

2/a,

Agripelletek esetén a műtrágya használat jelentősen megnöveli a folyamatra vetített energia felhasználását, és kibocsátási értékeket. Egységnyi tömegre vetített műtrágya használatból növényfajtánként is eltérő értékek jelennek meg, egy tonna pelletre vonatkoztatva további 50-58 kg CO₂ ekv kibocsátás adódik.

2/b,

A pellettüzelőkben végzett agripellet tüzelési vizsgálatok, a szakirodalmi és a jelölt energetikai mérési eredményeit beépítve a számolásba, az eltérő fűtőértékek és hatásfokok miatt is jelentős eltérés jelenik meg a különböző vizsgált alapanyagok (repceszár, búzaszalma, napraforgó héj) EROEI értékeiben.

3.

A repce termőterülete az utóbbi tíz évben megnőtt a biodízel előállítás következményeként. Melléktermékként jelentős mennyiségű repceszár is keletkezik, mely pelletálási tulajdonságait vizsgálta a jelölt. A repceszárból előállított tömörítvény energetikai jellemzői agripelletekhez viszonyítva megfelelőek voltak, a mechanikai tulajdonságok közül a finomhányad és mechanikai szilárdság okozhat problémát.

3/a

A melléktermékként megjelenő repceszár pelletként történő hasznosításával az egységnyi területről kinyerhető energia jelentős, és szignifikánsan megváltoztatja a biodízel előállításra vetített energia-mérleget.

3/b

A repceszár pellettel kis pelletüzelőben végzett füstgázelemzési vizsgálatok alapján égési problémák léptek fel. A hatásfok nem érte el a 60%-ot és a CO ppm is magas értékeket adott. Ezért a jelölt különböző arányú keverék alapanyagból készült repceszalma és búzaszalma pellettel is elvégezte a füstgázelemzési vizsgálatokat. A keverék pelletek égési tulajdonságai szignifikánsan jobbak voltak, mint a tiszta repceszár pelleté.

4.

A jelölt kis pelletáló berendezésen előállított faanyag és ipari melléktermékből készült keverék pelleteknek vizsgálta a fontosabb energetikai jellemzőit. Papíripari hulladékként megjelenő papíriszapot, és pirolízis melléktermékeként keletkező korom anyagot is pelletált, valamint keverék pelleteket állított elő faanyag hozzáadásával. A különféle pelletek energetikai és mechanikai tulajdonságait vizsgálta, melyekben a különböző keverési arányok során szignifikáns eltérések jelentek meg a pelletek hosszúságában, valamint a fűtőértékben és hamutartalmakban is.

4/a

Papíriszap pellet hasznosítása során a magas hamutartalom okozhat gondot, a faanyaghoz való keverési arány növelésével, a hamutartalom lineárisan nőtt, a fűtőérték pedig csökkent.

4/b

Pirolízis korom esetén, maximum 20%-os bekeverési arányt javasol a jelölt, ennél nagyobb mértékben a tömörítés során problémák lépnek fel, az anyag beleéghet a présfuratba. A bekeverési arány növelésével a fűtőérték is nőtt, azonban a keverék pelletek hosszúsága lineárisan csökkent. A koromban lévő környezetszennyező és esetlegesen egészségre káros anyagok miatt, ezen keverék pelletek hasznosítása csak a megfelelő tisztító és szűrő berendezésekkel ellátott tüzelőkben valósítható meg.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném megköszönni témavezetőm, Dr. Marosvölgyi Béla professzor Úr támogatását, útmutatását, aki hasznos tanácsaival és a mérések véghezvitelében is segített, nélküle ez a dolgozat nem jöhetett volna létre.

Nagyon köszönöm társtémavezetőm, Dr. Németh Gábor segítségét, aki a labormérések mellett, ötleteivel, javaslataival is mindig kitartóan segítette munkámat.

Köszönöm a segítséget Bindics Árminnak, aki az energetikai mérések során munkájával a laboratóriumi mérésekhez nyújtott támogatást.

Köszönöm a segítséget Szalay Dórának, aki mindig a rendelkezésemre állt, idejét nem kímélve segítette munkám és biztatott, amikor szükségem volt rá.

Köszönöm a segítséget a fa és agripellet üzemek minden munkatársának, közülük kiemelném a Pellet Produkt Kft-nél Deák Levente ügyvezető igazgató és Károlyi Krisztián üzemvezető szakmai segítségét. Köszönetet mondok Toroczky József Úrnak is, aki a szentesi üzemnél az agripellet gyártásba engedett bepillantást, és segítette munkámat.

Köszönöm Dr. Bai Attila segítségét, aki az agrár-gazdaságtani témakörbe hasznos tanácsaival támogatott.

Köszönöm a támogatást az Erdészeti-Műszaki és Környezettechnika Intézet munkatársainak is, akik egy-egy tanáccsal mindig segítettek, ha hozzájuk fordultam.

Végül, de nem utolsó sorban, a családomnak és szeretteimnek, szüleimnek és nagyszüleimnek, testvéremnek és nagybátyámnak is köszönöm, hogy mindenben segítettek, támogattak az évek során.

„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 „Fenntartható alapanyag ellátás kutatás keretében – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 számú project, a Széchenyi 2020 Program keretrendszerben. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával. “

IRODALOMJEGYZÉK

Külföldi szakirodalom:

Adapa PK, Tabil LG, Schoenau GJ (2010) Pelleting characteristics of selected biomass with and without steam explosion pretreatment. *Int J Agric Biol Eng* 3(3):62–79 p.

Adapa PK, Tabil LG, Schoenau GJ (2011) Grinding performance and physical properties of non-treated and steam exploded barley, canola, oat and wheat straw. *Biomass Bioenergy* 35:549–561p.

AEBIOM Statistic Report (2015) – European Bioenergy Outlook - http://www.aebiom.org/wp-content/uploads/2015/10/AEBIOM-Statistical-Report-2015_Key-Findings1.pdf

Alliance for green heat (2010) - A Carbon Life Cycle Analysis of Wood Pellets - www.forgreenheat.org/ja_th-revisedL.doc

Allen W. (2009) – Energy and carbon balance in wood pellet manufacturing- *Applied Energy*, Vol 3. 12.p.

Bengtsson, J.; Ahnstrom, J. and Weibull, A. C., (2005), The effects of organic agriculture on biodiversity and abundance: a meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 42, 261-269.

Bhattacharya S.P., Harttig M.,(2003)- Control of agglomeration and defluidization burning high-alkali, high-sulfur lignites in a small fluidized bed combustor- effect of additive size and type, and the role of calcium. *Energy Fuels*, 2003;17(4): 1014-21

Brand Pellet stove 2012 – How much energy use pellet stoves - <http://blog.magnumheat.com/2015/09/21/how-much-electricity-to-run-a-pellet-stove/>

Boris C. – Zoran S.- Novic D. (2011): Geographic distribution of economic potential of agricultural and forest biomass residual for energy use: Case study Croatia – *Energy* https://www.researchgate.net/publication/223006293_Geographic_distribution_of_economic_potential_of_agricultural_and_forest_biomass_residual_for_energy_use_Case_study_Croatia 2015.10.11.

Brown, S., Schroeder, P., Birdsey, R., (1997). Above-ground biomass distribution of US eastern hardwood forests and the use of large trees as an indicator of forest development. *Forest Ecol. Manage.* 96, 37–47.

Brentrup F., Palliere C. (2008): GHG Emissions and Energy Efficiency in European Nitrogen Fertiliser Production and Use. *Proceedings of the International Fertiliser Society* 639p. York, UK

Calderón C - Gauthier, G - Jossart J.M. (2015): AEBIOM- Statistical report- European Bioenergy Outlook - <http://www.aebiom.org/wp-content/uploads/2015/10/AEBIOM-Statistical-Report-2015-Key-Findings1.pdf> - 2016.02.03.

Caroll J. – Finnan J. (2012) - Physical and chemical properties of pellets from energy crops and cereal straws, Biosystems engineering, 151-159 p.
<file:///C:/Users/pappviktorja/Downloads/physical-and-chemical-properties-of-pellets-from-energy-crops-and-cereal-straws.pdf>

Caroll J. –Finnan J. (2013) - Emissions and efficiencies from the combustion of agricultural feedstock pellets using a small scale tilting grate boiler - Biosystems engineering 115 (2013) 50p.

Cleveland et al., (1984) -C. Cleveland, R. Costanza, C. Hall, R. Kaufmann-Energy and the US Economy: a biophysical perspective - Science, 225 (4665) (1984), pp. 890–897

C. Weiser,- V. Zeller- Fr Reinicke – B. Wagner- S. Majer- A. Vetter- D. Thraen (2014): Integrated assessment of sustainable cereal straw potential and different straw-based energy applications in Germany- Applied energy, 749pp. ISSN- 03062619

Council Directive (1999) -The Council of the European Union: Council Directive 1999/31/EC, Official Journal of the European Communities, vol. 42, L182/1-19,

Daraban A. (2015) - *Miscanthus Giganteus* Biomass for Sustainable Energy in Small Scale Heating Systems –Agricultural Engineering, Vol 6. 538.p.

Dawson C.J. and Hilton J., (2011). Fertiliser availability in a resource-limited world: Production and recycling of nitrogen and phosphorus. Food Policy, 36, 14-22.

De Blasio C. (2016) - A study on supercritical water gasification of black liquor conducted in stainless steel and nickel-chromium-molybdenum reactors - Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 2664 p.

Demirbaş A. (2001)-Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals-Energy Conversion and Management, 42, pp. 1357–1378

Dutta A. –Scotia N. (2010) - Assessment and refinement of the Atlantic hay pellet boiler - http://www.meachcovefarms.org/images/Grass_pellet_combustion_Final_report,_Nova_Scotia_Ag_College,_4-23-10.pdf

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

Ekbom T, Linblom M, Berglin N, Ahlvik P, (2003), - Technical and Commercial Feasibility Study of Black Liquor Gasification with Methanol/DME Production as Motor Fuels for Automotive Uses – BLGMF –

<http://www.chemrec.se/admin/UploadFile.aspx?path=/UserUploadFiles/2003%20BLGMF%20report.pdf>

European Pellet Report (2015) - <http://www.enplus-pellets.eu/wp-content/uploads/2013/11/D2.2bis-European-pellet-report.pdf>

Empie, H. Jeff (2009) - *Fundamentals of the craft recovery process*. USA: Tappi Press. p. 7. ISBN 1-59510-186-1.

European Commission CORDIS (2004) - Technical and Commercial Feasibility Study of Black Liquor Gasification with Methanol/DME Production as Motor Fuels for Automotive Uses – BLGMF - http://cordis.europa.eu/project/rcn/62777_en.html

EPA (2016) – Environmental Protection Agency, Pellet burners efficiency and emission – Wood pellet heater certification - <https://www.epa.gov/sites/production/files/201308/documents/certifiedwood.pdf>

Elvira, C., Sampedro, L., Dominguez, J., Mato, S., 1997. - Vermicomposting of wastewater sludge from paper-pulp industry with nitrogen rich materials. *Soil Biology & Biochemistry* 29 (3-4), 759–762.);

European Commission Bioenergy Report 2015 - Study on impacts on resource efficiency of future EU demand for bioenergy_____ - http://ec.europa.eu/environment/enveco/resource_efficiency/pdf/bioenergy/Task%201.pdf

Fan Z. –South C. –Lieford Z. (2003) - Conversion of paper sludge to ethanol in a semicontinuous solids-fed reactor –*Bioprocess and Biosystem engineering* , December 2003, Volume 26, pp 93–101

Fiedler F. (2006): Comparison of carbon monoxide emissions and electricity consumption of modulating and non-modulating pellet and solar heating systems, *International Journal of Energy Research* 31. 10.p.

Fiedler F. ,Nordlander S., Persson t., Bale C., (2002) – Carbon monoxide emissions and energy consumption of modulate and non modulate pellet systems – http://www.unikassel.de/ucgipub/content/test_cms/typo3/fileadmin/groups/w_090900/SolNet/Research_Activities_in_Participating_Institutions/SERCBorlaenge/Fiedler_et_al_Emissions_from_pellet_boiler_and_stoves_in_solar_heating_systems.pdf

Finnan J. (2010) – Feasibility of production and combustion of pellets from straw - https://www.teagasc.ie/media/website/publications/2010/Pelleting_5613.pdf

German pellet (2012) - <http://www.german-pellets.de/en/investor-relations/news-contact/corporate-news/detail/article/german-pellets-invests-in-new-roundwood-line-for-wismar-site.html>

Glebe T.W. (2007) - The Environmental Impact of European Farming: How Legitimate Are Agri-Environmental Payments, *Review of Agricultural Economics* 29 (1), pp. 87-102.

Guilford et al., (2011)- M. Guilford, C. Hall, P. O'Connor, C. Cleveland-A new long term assessment of energy return on investment (EROI) for US oil and gas discovery and production-Sustainability, 3 (2011), pp. 1866–1887

Grandell et al., (2011)-L. Grandell, C. Hall, M. Höök-Energy return on investment for Norwegian oil and gas from 1991 to 2008-Sustainability, 3 (2011), pp. 2050–2070

Haan T. W. 2010 – Life circle assisment os pellet burning - <http://www.forgreenheat.org/issues/docs/TomdeHaan.pdf>

Hall et al., (2011)-C. Hall, B. Dale, D. Pimentel-Seeking to understand the reasons for different energy return on investment (EROI) estimates for biofuels-Sustainability, 3 (12) (2011), pp. 2413–2432-CrossRef | View Record in Scopus | Citing articles (24)

Haller M. (2008) - ENERGY EFFICIENCY OF COMBINED PELLETS AND SOLAR HEATING SYSTEMS FOR SINGLE FAMILY HOUSES – Bioenergy Conference - http://spf.hsr.ch/fileadmin/daten/publ/BioenergySweden08_EnergyEfficiencieCombisystems_paper_ingereicht.pdf

Hu et al., -Y. Hu, C. Hall, J. Wang, L. Feng, A. Poisson (2013) -Energy return on investment (EROI) on China's conventional fossil fuels: historical and future trends-Energy (2013), pp. 1–13

H.Chen, G.Q.Chen (2011) - Energy cost of rapeseed-based biodiesel as alternative energy in China - *Renewable Energy*, Volume 36, Issue 5, May 2011, Pages 1374–1378

Houck J. –Scott S. 2001 - LOW EMISSION AND HIGH EFFICIENCY RESIDENTIAL PELLET-FIRED HEATERS – <http://www.omni-test.com/publications/pellet2.pdf>

IPCC (2001) – GWP potential - http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg1/248.htm

J.F. Wood (1987)-The functional properties of feed raw materials and their effect on the production and quality of feed pellets-*Animal Feed Science Technology*, 18, pp. 1–17

Johnston AM, Stevenson FC (2001) Wheat seeding rate for spread and distinct row seed placement with air seeders. *Can J Plant Sci* 81:885–890

J.P. Szybist, J. Song, M. Alam, A.L. Boehman (2007) - Biodiesel combustion, emissions and emission control-Fuel Processing Technology, 88, pp. 679–691

J.E.G. van Dam, M.J.A. van den Oever, W. Teunissen, E.R.P. Keijsers, A.G. Peralta(2004)- Process for production of high density/high performance binderless boards from whole husk Part 1: lignin as intrinsic thermosetting binder resin-*Industrial Crops and Products*, 19, pp. 207–216

Kilborn J. F. – Wiever J. (1984) – Paper sludge pellet - <http://infohouse.p2ric.org/ref/27/26418.pdf>

Kline R. (2010): Estimating crop residue cover for soil erosion control. Soil factsheet. <http://www.agf.gov.bc.ca/resmgmt/publist/600series/641220-1.pdf>

Kirby K. –Potvin C. (2007) - Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project - *Forest Ecology and Management* 246. 208–221p.

K.O. Harding, J.S. Dennis, H. von Blottnitz, S.T.L. Harrison (2008) - A life cycle comparison between inorganic and biological catalysis for the production of biodiesel - *Journal of Cleaner Production*, 16, pp. 1368–1378

Krone technical data (2016): - Pellet harvester file:///C:/Users/User/Downloads/Premos5000_2015_EN_Druck_144dpi%20(1).pdf

Lagenberg Nilson Emil (2012) - Study of Black Liquor Evaporator Fouling at Södra Cell Värö – PHD Thesis, - Department of Energy and Environment Division of Heat and Power Technology CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Göteborg, Sweden 2012

Liu et al (2014) – Carbon black pellets - http://www.pyrolysisoil.net/PRODUCTS_SOLUTIONS/Carbon_black_processing_machine/Carbon-Black-Pellet-To-Fuel-Machine.html

L. Palotti et al (2015) - Economic and environmental evaluation of transporting imported pellet: A case study – *Biomass and Bioenergy* – 340pp.

Lambert et al., - Lambert, J., Hall, C., Balogh, S., Poisson, A., Gupta, A., (2012). EROI of Global Energy Resources: Preliminary Status and Trends. Report 1 of 2. UK-DFID 59717, 2 November 2012

Llorente Fernandez M.J., Cuadrado R.E., Murillo Laplaza J.M., Carrasco Garcia J.E., (2006) - Combustion in bubbling fluidised bed with bed material of limestone to reduce the biomass ash agglomeration and sintering. *Fuel*, (2006); 85(14-15): 2081-92.

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* 2002;89 p.

Maga Juraj(2012): A szalma energetikai felhasználásának lehetőségei Szlovákiában – Innovációval a zöld jövőért- Konf.kiadvány -99.p.- ISBN-978-963-9941-55-7

Mani S.-Sokhansaj S.- Bi X.- Turhollow (2006): Economics of production fuel pellets from biomass - <http://biomassinnovation.ca/pdf/Research/Developments%20in%20Biomass/Economics%20of%20Producing%20Fuel%20Pellets%20From%20Biomass.pdf>

Martínez, J. D. et al.(2013): Waste tyre pyrolysis – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 23, 179-213, 2013

Mars Mineral (2015) – Carbon black pellets - <http://www.carbonblackpellets.com/>

Mania S, Lope G. Tabilb, S. Sokhansanj (2008) - Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses

Mani S., Turhallow A (2008) - Economics of producing fuel pellets from biomass - Applied engineering in agriculture 22(3):1-6 - [https://www.researchgate.net/publication/236999846 Economics of producing fuel pellets from biomass](https://www.researchgate.net/publication/236999846_Economics_of_producing_fuel_pellets_from_biomass)

Member State's Energy Dependence (2016): An Indicator-Based Assessment (Tagállami energiatfüggőség: mutatóalapú értékelés), 12. p. http://ec.europa.eu/economy_finance/publications/occasional_paper/2014/pdf/ocp196_en.pdf

Murphy et al., (2011) - D. Murphy, C. Hall, M. Dale, C. Cleveland - Order from Chaos: a preliminary protocol for determining the EROI of fuels - Sustainability, 3 (2011), pp. 1888–1907

Nolan A, Donell K, Devin G, Carroll J, Finnan J. 2010 - Economic Analysis of Manufacturing Costs of Pellet Production in the Republic of Ireland Using Non-Woody Biomass, - Open Renewable energy Journal, - <https://benthamopen.com/contents/pdf/TOREJ/TOREJ-3-1.pdf>

Nogovitsyn G.- Sokolov A. (2014) – Preliminary calculation of EROI of the gas production in Russia - Sustainability 2014, 6, 6751-6765 – ISSN -2071-105

Nosek R., Jandačka J., Holubčík J, Papučík S. (2012) - Combustion of pellets from wheat straw - <http://actamont.tuke.sk/pdf/2012/n4/8jandacka.pdf>

PellCert Project (2014) – European pellet markets - <http://www.enplus-pellets.eu/wp-content/uploads/2013/11/D2.2bis-European-pellet-report.pdf>

Pinard, M.A., Cropper, W.P., (2000). Simulated effects of logging on carbon storage in dipterocarp forest. J. Appl. Ecol. 37, 267–283

PETROVIĆ BEĆIROVIĆ S. a , Nebojša G. MANIĆb , and Dragoslava D. STOJILJKOVIĆb (2015) - IMPACT OF FUEL QUALITY AND BURNER CAPACITY ON THE PERFORMANCE OF WOOD PELLET STOVE - <http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0354-9836/2015/0354-98361500082P.pdf>

PUD Conserv program – (2014) –How much do your home appliances cost to operate - <https://www.pud3.org/uploads/pdf/appliancefactsheetenglish.pdf>

Reenergy Uk (2014) - Sunflower husk pellets : <http://www.reenergyuk.com/sunflower-husk-pellets/>

Sembery P., dr. Tóth L., Pecznik P.: Hagyományos és megújuló energiák, Szaktudás kiadóház Bp. (2006) 260-264. oldal

Sokhansanj S, Turhollow A, Cushman J, Cundiff J. (2002): Engineering aspects of collecting corn stover for bioenergy. Biomass and Bioenergy 23 pp. - https://www.researchgate.net/publication/221942858_Engineering_aspects_of_collecting_corn_stover_for_bioenergy_Biomass_Bioenergy

Sokhansanj S, Fenton J (2006) Cost benefit of biomass supply and preprocessing. A BIOCAP Research Integration Program Synthesis Paper. www.biocap.ca/rif/report/Sokhansanj_S.pdf.

R Datta(1981)-Energy requirement for lignocellulose pretreatment processes-Process Biochemistry, 16 , pp. 16–19,42

UKRFUEL (2011) – Analysis of the Ukrainian market of sunflower husk pellets - <http://ukrfuel.com/news-analysis-of-the-ukrainian-market-of-sunf-13.html>

Weiss G. (2011) - Innovation In Forestry: Territorial and Value Chain Relationships – ISBN : 978-1-84593-689-1

Vermont Grass Energy (2011) - Technical Assessment of Grass Pellets as Boiler Fuel - http://www.biomasscenter.org/images/stories/grasspelletrpt_0111.pdf

Williams A.G., Audsley E., and Sandars D.L., (2010). - Environmental burdens of producing bread wheat, oilseed rape and potatoes in England and Wales using simulation and system modelling. Int. J. Life Cycle Assess., 15, 855-868p.

Tronborg E. , Ranta T., Schweinle J., Solberg B. (2013) - Economic sustainability for wood pellets production – A comparative study between Finland, Germany, Norway, Sweden and the US – Biomass and Bioenergy, V 57. 68.p. - <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953413000457>

Sikkema R. (2016) - The European wood pellet markets: current status and prospects for 2020 - Biofuels Bioproducts and Biorefining 5(3):250 – 278p.

Toscano P.- Corinaldesi F. (2010) - ASH FUSIBILITY CHARACTERISTICS OF SOME BIOMASS FEEDSTOCKS AND EXAMINATION OF THE EFFECTS OF INORGANIC ADDITIVES, Journal of Agricultural Engineering, Vol 2. 14.p.

Xiaolej Zang et al(2013)- Energy balance and greenhouse gas emissions of biodiesel production from oil derived from wastewater and wastewater sludge - Renewable Energy, Volume 55, July, Pages 392–403

Hazai szakirodalom:

Ágoston T.(2009): Az évjárat hatása az őszi búzafajták agronómiai tulajdonságaira – Doktori értekezés, 11.p.

Agripell Kft. (2013) – Pelletkazánok működése- <http://www.megujulofutes.hu/hirek/sas-eco-es-agro-eco-agripellet-kazanok-mukodese.napkollektor>

AVE Tatabánya Hulladékhasznosító Kft. (2015): Biogázunió projektek <http://www.biogazunio.hu/projektek/tatabanya/> 2015.09.03.

Bai A (2008): A bio-üzemanyagok alkalmazásának tapasztalatai a debreceni tömegközlekedésben. Összefoglaló tanulmány. Közreműködők: Grasselli G, Kormányos Sz, Szendrei J, Teleki A, Bói S.. European Commission. 6th Framework Programme on Research, Mobilis 513 562 Integrated Project. WP5 Clean and Energy Efficient Vehicles. pp. 1-164.

Bai, A -, Durkó, E - Tar K , - Tóth J,- Lázár I,- Kapocska L, Kircsi A,- Bartók B,- Vass R, - Péntes J,- Tóth T, (2016): Social and economic possibilities for the energy utilization of fitomass in the valley of the river Hernád, Renewable Energy, Volume 85, January,, Pages 777-789, ISSN 0960-1481, <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.02.04>.

Bai A.; Lakner Z.; Marosvölgyi B.; Nábrádi A. (2002): A biomassza felhasználása. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. ISBN: 963 9422 460

Bai A. – Tarsoly P. (2011): A hazai melléktermék hasznosítás - Agrárium. A Magyar Agrárkamara lapja. 21. évf., 5. sz., HU ISSN 1215-8380, Szaktudás Kiadó Ház Zrt, Budapest, 2011, pp. 46-47.

Bai A. (2008) – A biodízel előállítás helyzete hazánkban és Németországban odin.agr.unideb.hu/AVA3/Beerkezett/.../ava07a.doc

Bakosné Diószegi M.- Solymosi J. (2008) – Lágyszárú mezőgazdasági növényekből előállított pellet vizsgálata, Hadmérnök, III: évf. 3. szám. 14.p. - http://hadmernok.hu/archivum/2008/3/2008_3_dioszegi.pdf

Bíró B. (2011) – Biomassza hasznosítás – digitális tankönyvtár-
file:///C:/Users/pappviktor/Downloads/2010-0017_11_biomassza.pdf

Biomassza erőművek (2011)- Biomassza, mezőgazdasági termékek - http://www.biomasszaeromuvek.hu/biomassza/mezogazdasagi_termekek

Blas Mola-Yudego, Mari Selkimäk, José Ramón González-Olabarria (2014) – Spatial analysis of pellet production plant in Europe – Renewable energy 76-83 p. - <file:///C:/Users/pappviktor/Downloads/1-s2.0-S0960148113004369-main.pdf>

- Blaskó J. (2008) – A biodízel előállítás technológiái - http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0032_kornyezettechnologia/ch11s07.html
- Boldog G.-Blaskó G.(2012) – Az agripellet előállítás költségtényezői - <http://bestmachinery.hu/agripellet-gyartasanak-koltsegtenezoi-megterulo>
- Burján Z. (2010) – A pelletgyártás technológiája - Víz- Gáz- Fűtéstechnika áprilisi szám. 22p.
- Borovics A. Benke A. Tóvári P. 2015 - 7 éves fás szárú energetikai ültetvény szénmérlegének vizsgálata – Mezőgazdasági technika, 13-15 p. - http://technika.gmgi.hu/uploads/termek_691/7_eves_fas_szaru_energetikai_ultetveny_szenmerlegenek_vizsgalata_15_02.pdf
- Beke B. (2007) – Gabonatermesztési interjú, Agrárunió, VIII.évf. 8.szám, 31.p.
- Blaskó G.- Varga P. (2012) – Biomassza szárítás - <http://bestmachinery.hu/biomassza-szaritas-csoves-szarito-dobszarito->
- Bokodi J., Gundel J., Herold I., Kakuk T., Kovács G., Mézes M., Schmidt J., Szigeti G., Vincze L. (2011): A takarmányozás alapjai. Mezőgazda kiadó. http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_521_A_takarmanyozas_alapjai/ch06s05.html
- Bellus Z. (2012): – Bálakészítés - <http://www.pointernet.pds.hu/ujsagok/agraragazat/09/20111120173804757000000524.html>
- Burján Z. (2010): Pelletfűtés II. Pelletgyártás-Víz- Gáz- Fűtéstechnika áprilisi szám, <http://www.pannonpellet.hu/publicistica.php?newsid=978> 2015. 10.12.
- Czinege E. 2008 – Műtrágyázás, Haszon Agrár Magazin, - <http://www.haszonagrar.hu/cimlapsztori/41-mtragyazzunk.html>
- Czupy I, Horváth B, Vágvölgyi A. (2014) - Energetikai faültetvény-technológiák energiamérlege, In: Bidló A., Horváth A., Szűcs P. (szerk.)IV. Kari Tudományos Konferencia: Konferencia kiadvány. 407 p.
- Czupi I et al (2010) – Géptan – Digitális tankönyvtár - http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_521_Geptan/ch05.html
- Czupy I., Horváth B. 2011 -:VT-02 típusú vágástakarító „Gépesítési információ” 2011
- Európai Bizottság (2016) - BIZOTTSÁGI SZOLGÁLATI MUNKADOKUMENTUM 2016. évi országjelentés – Magyarország, 65.p.
- ELMIB(2010)- Domsdi biogázerőmű- <http://www.alternativenergia.hu/megkezdt-e-az-aramtermelest-a-domsodi-biogaz-eromu/6799> 2015.09.03.
- Energia Klub 2008 - Hogyan növeljük otthonunk értékét - <https://www.e-epites.hu/185>

Europell 2012 – Fapellet kályhák és kazánok - http://5mp.eu/fajlok/europell/1_3_europell_leporello_www.5mp.eu_.pdf

Farkas H. 2015 – Gumiabroncs hulladék újrahasznosítása - <http://www.hirado.hu/2016/03/03/evente-otvener-tonna-gumihulladek-keletkezik-magyarorszagon/>

Fábián Cs.(2010) – Kukoricaszár pelletek fizikai tulajdonságai - http://www.eu-info.hu/pure_txt_hirek.asp?id=10726

Fenyvesi L., Ferencz Á., Tóvári P. (2008): A tűzipellet, 11.p. Cser Kiadó, Budapest, ISBN 9639759848

Fömi (2015): Földfelszín monitorozás. - <http://www.fomi.hu/portal/index.php/termekeink/felszinboritas-corine>, 2015.08.15.

Fidy J.- Makara G. (2005) Biostatistika, Digitális tankönyvtár, <http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/biostatistika-1/ch08s03.html>

Gács I, Buzea K, Gebhardt G, Sándor (Cs 2014) – Villamos energia termelés és CO2 - <http://e-nergia.hu/nyomtat.php?id=433>

Gemini Hungaria 2014 – Pelletkandallók - <http://www.pellet-kandallo.hu/martina-idro-new-14-18-21-kw-vizteres-pellet-kandallo-pellet-kalyha-2-181>

Gold Brikett Kft. (2012): Céginfo- <http://www.goldbrikett.hu/#&panel1-5>

Gyulai I. (2004) – A biomassza dilemma, második átdolgozott kiadvány, Magyar Természetvédők Szövetsége, 54.p.

Gyuricza Cs. (2006): Vetésforgó és vetésváltás. In: Földművelés és földhasználat (szerk. Birkás M.). Mezőgazda Kiadó, Budapest.

Hajdú J. (2009) – Bioüzemanyagok előállítása és felhasználása – OBEKK Tudományos és szakmai kiadványok, Gödöllő. 15.old.

Hancsók J. (2004) – Korszerű motor – és sugárhajtómű üzemanyagok III. Alternatív hajtóanyagok, Veszprémi egyetemi kiadó, 9.1 fejezet Növényolajok előállítása és jellemzői 283.old.

Hancsók J. (2004) – Korszerű motor – és sugárhajtómű üzemanyagok III. Alternatív hajtóanyagok, Veszprémi egyetemi kiadó, 9.3 fejezet Növényolajok átszterezett származékainak előállítása 302.old.

Hancsók J. (2004) – Korszerű motor – és sugárhajtómű üzemanyagok III. Alternatív hajtóanyagok, Veszprémi egyetemi kiadó, 9.3.2 A növény-olaj zsírsav metilészterek jellemzői és felhasználásuk motorhajtóanyagként 324.old.

Haszon Agrár (2010): Mit kezdünk a kukoricaszárral?
<http://www.haszon.hu/agrar/noevenytermesztes/533-mit-kezduenk-a-kukoricaszaral.html>
 2015.09.03

Hajdú J (2001) – hengeres bálázó -http://w3.gmgi.hu/file/document/kiadv/546_29_m-1370_round_baler_with_constant_bale_chamber.pdf

Hernádi S. 2009 – A papíriszap hasznosításának lehetőségei – Papíripar, 53. évf. 2. szám 42.p.

Horinka T (2014) – Az őszi búza tápanyag ellátása -
<http://www.kerteszekaruhaza.com/tapanyagellatas/oszi-buza.html>

Jancsó I. (2015) – A pelletgyártás jelene és jövője -
<http://www.mapellet.hu/images/page/content/jancsoilles.pdf>

Jákófa Kft.(2012): Európai Unió forrású fejlesztéseink.
<http://www.jakofa.hu/index.php/component/content/article/70.html>

Jung L. (2008) – Fabázisú centralizált áramtermelés logisztikája, és annak hatása az Egererdő Zrt. fahasználati tevékenységére, Doktori értekezés, 96.p.

Katonáné Gombás 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

Kelemen (2011) – Bálzás, rakodás, szállítás –Agrárágazat
<http://www.pointernet.pds.hu/ujsagok/agraragazat/2011/08/20111117180759699000000390.html>

Kiss M (2013) – Csődvédelembe menekült a magyar pelletgyár -
<http://index.hu/gazdasag/2013/03/07/csodvedelembe-menekult-a-magyar-pelletgyar/>

Kocsis L., Kelemen Zs. (2011): A kukoricaszár bálázása. Agrárágazat 2011/11. 23.p.

Kocsis Z., Varga M., Németh G. (2013) : A dendromassza alapú pelletálás energiaszükségletének csökkentésére irányuló kutatások In: Molnár Sándor, Komán Szabolcs (szerk.) Dendromassza alapú energiaforrások. 31 p.

Kocsis Z., Borsos G., (2014) – Biomassza alapú kapcsolt energiaellátás lehetőségei faipari üzemeknél – Faipar, 61. 22-28p. HU-ISSN -00146897

Kovács P. (2010) – A biodízel gyártás során keletkező glicerinnel történő takarmányozási célú felhasználása az állattartásban, Doktori értekezés, 7-10 old.

Kovács F. (2006) – Növény-olaj zsírsav metil-észterek vizsgálata- Doktori értekezés, 15. old.

Kozma T. (2009) – Gondolatok Magyarország energiabiztonságáról – Hadmérnök, IV. évfolyam 4. szám 49-56. old.

Koltai L. (2012): 50 éves a Dunaújvárosi Cellulózgyár – Papíripar, LVI/3. ISSN 0031-1448

KSH (2013): A mezőgazdaság szerepe a nemzetgazdaságban, 2013.
<http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/pdf/mezoszerepe13.pdf>

KSH (2016): Napraforgó területe, termésátlaga, Gyorstájékoztató, 2016 -
<https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/gyor/nte/nte21412.pdf>

KSH (2013): Fontosabb növényi kultúrák előzetes terméseredményei, 2012.

<http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/gyor/nte/nte21212.pdf>

KSH táblázatok (2015): Mezőgazdasági növények éves termőterülete, terméseredmények (2010-2015)

KSH táblázatok (2015): Állatállomány alakulása (2010-2015) -
https://www.ksh.hu/allatalomany_tn

KSH adatok 2010-2015 – Termésátlagok

http://www.ksh.hu/kalaszos_gabonak_betakaritott_terulete_termesmennyisege_es_termesatlag_a_tn

<https://www.aki.gov.hu/publikaciok/publikacio/a:447/Fontosabb+n%C3%B6v%C3%A9nyek+megyei+term%C3%A9s%C3%A1tlagai+2007-2012+k%C3%B6z%C3%B6tt>

Kocsis-Kelemen (2013) – Bálázás típusai -
http://technika.gmgi.hu/uploads/termek_365/claas_quadrant_3300_rf_rc_szogletes_nagybalazo_13_09.pdf

Kocsis Á.: Szalmából környezetbarát fűtőanyag, Agronapló-Országos mezőgazdasági szakfolyóirat (2010/03)

KWS 2015 - Repce általános jellemzése - <http://www.kutdiak.kee.hu/diak/nzs/nrepce.htm>

Laczó F. (2008) – Bioüzemanyagok előállításának lehetőségei Magyarországon – Környezettudományi központ, Bp., Bevezetés 2-10 old.

L-AD Kft. (2014) – Pelletfűtés -
http://nbpelletkandallo.hu/?l1=static_content&l2=plug_static_content&l3=main&id=64&mid=4

Loch J- Nosticzius Á. (2011) - Agrokémia és növényvédelmi kémia -
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_521_Agrokemia_es_novved_kemia/ch01s02.html

Marosvölgyi B. (2010) – A faenergetika új lehetőségei és korlátai – Tudományos eredmények a gyakorlatban – Alföldi erdőkért konferencia kiadvány, Szolnok, 5-11 old.

Marosvölgyi B. (2006): Szilárd, biomassza alapú tüzelőanyagok energetikai tulajdonságainak vizsgálata- <http://docplayer.hu/12093734-Szilard-biomassza-alapu-tuzeloanyagok-energetikai-tulajdonsagainak-vizgalata-segedlet.html>

Marosvölgyi B. (2010):_Az energianád (miscanthus sp.) termesztése és energetikai hasznosítása-*Északkelet-Magy.o. Gazd. Tud. Folyóirat.* 15:(1) pp. 4-8. (2010)

Marosvölgyi B. - Pintér Cs. (2015) : A Miscanthus sinensis tatai energianád-fajta betakarításának ökonómiai kérdései – NYME EMK Kari Tudományos Konferencia kiadvány, 65.p.

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

MTA Környezeti hatásvizsgálat (2016) - A Magyar Tudományos Akadémia Természettudományi Kutatóközpont Anyag- és Környezetkémiai Intézetének szakvéleménye a HOMATECH-W(TM) technológia környezetvédelmi megfelelőségéről. - <http://www.homatech.hu/hireink/6/az-mta-kornyezeti-hataselemzesenek-osszefoglaloja>

Mezőhír (2015): Mobil pelletálás -<http://mezohir.hu/mezohir/2015/11/premos-5000-mobil-pelletalo-a-krone-tol/2015.12.23>.

Molnár S. (2004) – Faanyag ismeret, -Fák kémiai összetétele- Szaktudás kiadó. 34.p.

Mű-Pellet Zrt.(2013): Termékek – Pellet - <http://www.mu-pellet.hu/termekek/>

MPE Magyar Pellet Egyesület (2010): Pelletgyár épült Tiszaújvárosban.- http://www.mapellet.hu/?_page=news.php&news_id=298

MPE Magyar Pellet Egyesület (2009): A pelletgyártás helyzete és fejlődési irányai. InnoLignum Konferencia, 2009.09.04. Sopron.- <http://www.mapellet.hu/images/page/content/file/sopron.pdf>

Nagy B. (2011) – Újrahasznosítási ismeretek –Gumiabroncs –Digitális tankönyvtár - http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/20100019_Ujrahasznositasi_ismeretek/ch08.html

Németh G. (2014) – Kis teljesítményű faalapú pellet tüzelő berendezés környezeti hatásainak vizsgálata, Faipar, 62.évf. HU-ISSN -00146897

Németh G. (2016) - A dendromassza, mint energetikai alapanyag jellemzése és felhasználása –Diplomamunka, NYME SKK, 76.p.

Németh K. (2013) – Dendromassza-bázison alapuló decentralizált hőenergia termelés és felhasználás komplex elemzése, Doktori értekezés, 97.p. http://konyvtar.uni-pannon.hu/doktori/2011/Nemeth_Kornel_dissertation.pdf

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

Nutrikon Kft. (2016) – A kukorica műtrágyázása - <http://www.nutrikon.hu/adalekok-a-kukorica-tragyazashoz>

Ongrádi M.(2006): A szalma, mint energiaforrás, Cser Kiadó, Budapest, ISBN 9639666106

Pannon Pellet Kft. 2012 – A pelletprés működési elve - <http://www.pannonpellet.hu/images/page/news/vgfcikk.doc>

PannonPower (2015): Biomassza -<http://www.pannonpower.hu/biomassza/mi-mivel-tuzelunk> 2015.09.10.

Pappel-T. Kft. (2012): Cégböngésző- <http://pappel-termotec-c.cegbongeszo.hu/>

Pappné Vancsó J. (2010): A biomassza mint megújuló energiaforrás hasznosítási lehetőségei, különös tekintettel Magyarországra. Doktori értekezés. ELTE. Budapest.

Papp V.- Szalay D. – Gaál L. (2016): Agripellet előállítás alapanyag bázis vizsgálata Magyarországon – Journal of Central European Green Innovation, 89-102 p. http://ageconsearch.umn.edu/record/236578/files/Papp_Szalay_7.pdf

Papp V., Marosvölgyi B.(2011) : Research of energy balance of pellet and briquette production In: Laurentiu Fara, Sorin Stefan Biris, Alexandru Racovitza, Andrei Galbeaza Moraru (szerk.) Bioenergy and Other Renewable Energy Technologies and Systems. Bucuresti: PRINTECH, 2011. pp. 16-17. (ISBN:978-606-521-686-0)

Papp V.- Marosvölgyi B. (2013): A pellet mint megújuló energiaforrás előállítása, hasznosítása és energetikai értékelése- Energiagazdálkodás, 21 pp. ISSN 0021-0757.

Papp V.-Marosvölgyi B.(2010): A pelletálás energiamérlegének vizsgálata. Tudományos eredményekgyakorlatbanhttp://eda.eme.ro/bitstream/handle/10598/26882/18_FMTU2013_PappViktoria,MarosvolgyiBela_297-300old.pdf?sequence=1 2015.09.14.

Papp V.(2009): A biodízel gyártás előállításának és hasznosításának ökoenergetikai vonatkozásai -Diplomamunka

Pelletmagyarország 2010 – Síkmatricás pelletprés = <http://www.pelletmagyarország.hu/termekinfok/hogyan-keszul-a-jo-pellet>

Pepó P.- Sárvári M. (2011): Gabonanövények termesztése, Digitális tankönyvtár - http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_09_Gabonanovenyek_termesztese/ch03s03.html

Peczник, Sembery, Tóth (2008) – Hagyományos és megújuló energiák – A biomassza energetikai hasznosítása (Peczник) – Szaktudás kiadó, 243.old

Pflum T. (2011) – 20 kW-os pellet kazánok – Víz-gáz és fűtéstechnika - <http://www.vgfszaklap.hu/lapszamok/2011/november/kb-20-kw-os-pelletkazanok>

- Popp J-Potori N (2008) - Az élelmezés-, energia- és környezetbiztonság összefüggései. Gazdálkodás. 52. évf, 6. szám, Budapest, 2008. december, pp. 528-544
- Pozsmik E. (2000) - A VÁLLALATOK KÖRNYEZETI MAGATARTÁSÁNAK VÁLTOZÁSA A PAPIRIPAR PÉLDÁJÁN –Doktori értekezés - http://phd.lib.uni-corvinus.hu/203/1/poszmik_erzsebet.pdf
- Pintér Cs.-Marosvölgyi B.-Horváth Zs. (2011): A Miscathus termesztése és hasznosítása - <http://e-nergia.hu/nyomtat.php?id=425>
- Rakonczay Z. (2004) – Környezetvédelem, Szaktudás Kiadó Ház, ISBN: 963955324 - http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0032_kornyeztvedelem/ch14s02.html
- Rajkó R. –Hodur C.- Szabó G.(2010) – Élelmiszer ipari műveletek III. – Szárítás - <http://csuka.mk.u-szeged.hu/~rajko/pdfs/GyakSegedlKompatv2004.pdf>
- Rétfalvi T.; Tukacs-Hájos 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.
- Simon E. (2011): Zöld energiák: Mintatelepülés lett Vép. VAOL Vas Népe Online. - <http://vaol.hu/cimlapon/zold-energiak-mintatelepules-lett-vep-1229685>
- Somlai J (2004) – Atomerőművek környezeti hatásai - <http://www.atomforum.hu/pdf/atomeromu%20kornyezteti%20hatasai.pdf>
- Szerbin P. 2011 - A nukleáris energia és az üvegház hatású gázok kibocsátás-megtakarítása az EU-ban - http://www.atomforum.hu/aktualis/uhg_megtakaritas.htm
- Szabó Z. (2010) - A növénytermesztés környezeti hatásainak értékelése, különös tekintettel a biodiverzitásra – Doktori értekezés, Budapest Corvinus Egyetem, 28. p.
- Szabó, Z. - Pál, J, (2007) - Agriculture Case Study in Hungary: Crops. In Methods and data on environmental and health externalities: harmonising and sharing of operational estimates. Final Technical Report: Case Studies. MethodEx, FP6 Programme, European Commission, pp.299. p. 469-528
- Szalay D.- Palocz-Andresen M. (2013): A biomassza termesztés és feldolgozás függősége a klímaváltozástól. Alföldi Erdőkért Egyesület, Kutatói nap kiadványa. Lakitelek. p 89-93. ISBN: 978-963-08-7830-2
- Szamosi Z. –Sintérfalvi Z. (2012): Mezőgazdasági hulladékot feldolgozó pelletüzem létesítésének feltételei - Multidiszciplináris tudományok, 2. kötet. (2012) 1 sz. pp. 115-120. http://www.matarka.hu/koz/ISSN_20629737/2k_1sz_2012/ISSN_2062_9737_2k_1_2012_115-120.pdf
- Szamosi Z., Lakatos K., Siménfalvi Z.(2012): Az agripellet, mint megújuló energiaforrás vizsgálata, GÉP Magazin, 63.évf/6 77.pp. ISSN 0016-8572

Szigetvári P. Kft. (2012): Céginfó - <http://www.ceginfo.hu/ceg/szigetvari-pellet-gyarto-es-kereskedelmi-kft-1122718.html>

Szűcs, Antalné - Badacsonyi, Beatrix 1994 : Papíriszap környezetkímélő hasznosítása az építőiparban Papíripar, 1994/6. p. 214-215.

Tármeg J. (2008): Teendő a szármaradványokkal, Agrárágazat, 9. évf. 9. szám.46.p. ISSN - 1586-3832

Tóth P.-Bulla M. –Nagy G. (2011) – Energetika - http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Energetika/ch04s02.html

Tóvári P.- Marosvölgyi B. 2011 - BIOMASSZA TÜZELŐANYAGOK TERMIKUS KEZELÉSÉNEK LABORATÓRIUMI MODELLEZÉSE, NYME KKK Ökoenergetikai főirány, jelentés.

Varga M (2014) – Nehéz tehergépkocsik fogyasztása- <http://hungarokamion.hu/2016/01/14/mit-sem-csokkent-tiz-ev-alatt-a-teherautok-fogyasztasa/>

Varga J. (2012): Gáz helyett pellet kell. FEOL. FMH Online.<http://feol.hu/hirek/gaz-helyett-pellet-kell-1110396> Zalaerdő Zrt. (2012) - Zalaerdő: Pelletgyártás- http://www.zalaerdo.hu/hu_pelletgyartas.php

Varga Z. (2007) – A megújuló energiaforrások hasznosíthatóságának gazdasági vizsgálata Magyarországon; különös tekintettel a biomassza és napsugárzás energiájának kiaknázására. Disszertáció, Kaposvár, 92. p.

Vértés Erőmű Zrt. (2014): Oroszlányi erőmű- <http://www.vert.hu/oroszlany.aspx> 2015.09.12.

Zombory T.(2009) – Öko-line Hungary Kft. biodízel üzem céges jelentés

Zöldtech (2010): Pelletgyártó üzem létesült Tuzséron <http://zoldtech.hu/cikkek/20101003-pelletgyarto-uzem-Tuzser/?idorend=novekvo>

Zsombik L. (2007): A tápanyag-ellátás helyzete – Agrárágazat - <http://www.pointernet.pds.hu/ujsagok/agraragazat/2007/12/20071224160345244000000823.html>

Táblázatjegyzék

1. táblázat: Különböző fajok vegyi összetétele [Marosvölgyi 2002, Németh 1998, Molnár 2009 alapján].....	13
2. táblázat: Lágyszárú növények kémiai összetevői [Mania et al 2008 alapján].....	13
3. táblázat: Lágyszárú növények hamutartalma és hamuolvadási hőmérséklete [Tóvári-Marosvölgyi 2011, Carborobot 2014, Papp –Marosvölgyi 2011, Toscano-Corinaldesi 2010 alapján]	14
4. táblázat: Agripelletek minőségi követelmény rendszere	21
5. táblázat: Pelletgyárak és alapanyag igényük Magyarországon	25
6. táblázat: Az állatállomány átlagos éves alomszükséglete	31
7. táblázat: Magyarországon keletkező mezőgazdasági melléktermékek energia tartalma.....	33
8. táblázat: A vizsgált minták energetikai jellemzői.....	47
9. táblázat: A gépsor közvetlen villamosenergia-felhasználása (t/h termék tömegáram mellett)	48
10. táblázat: A beszállításra fordított energia	50
11. táblázat: Teherautóval történő beszállítás energia igénye	50
12. táblázat: Kész termék szállításának energia igénye.....	51
13. táblázat: Pelletfogyasztás különböző teljesítményű kályhák és kazánok esetén	55
14. táblázat: Pelletüzelés során felhasznált villamos energia	56
15. táblázat: Pellet és faapríték energetikai laborvizsgálata a ceglédi pelletüzemnél	59
16. táblázat: Agripellet előállítás villamos energia igénye.....	61
17. táblázat: A melléktermék képződéséhez felvett műtrágyák átlag mennyisége [Horinka 2014, Czinege 2008, Neményi 2009 alapján]	67
18. táblázat: Napraforgó héj pellet energetikai jellemzői.....	69
19. táblázat: Füstgázelemzés medián értékei repceszár és búzaszalma keverék pellet esetén	77
20. táblázat: Fapellet gyártás és hasznosítás CO ₂ kibocsátása (kg/tonna).....	85
21. táblázat: Agripellet gyártás CO ₂ kibocsátásai (kg/tonna).....	86
22. táblázat: A repceszár és pellet energetikai jellemzői.....	93
23. táblázat: Repceszár és repceszár-búzaszalma keverék pellet mechanikai tulajdonságai.....	93
24. táblázat: Hamutartalom változása papíriszap-fapellet mixben	103
25. táblázat: Regressziós egyenes paraméterei.....	104
26. táblázat: Fűtőérték változása a papíriszap-fapellet mixben	105
27. táblázat: Gumiabroncs összetevői [Nagy 2013]	108
28. táblázat: Szilárd és gáztisztítási maradékanyag mennyisége technológiánként (tonna/100000 tonna)	108
29. táblázat: Pelletek közepes hosszúság változása.....	109
30. táblázat: Regressziós egyenlet paraméterei	109
31. táblázat: Korom-fapor keverék pellet fűtőérték változása.....	111

Ábrajegyzék

1. ábra: A pelletgyártás technológiája [Burján Z. 2010 alapján]	15
2. ábra: A pelletprés működési elve [Pannon Pell. 2012].....	17
3. ábra: A présmatrica keresztmetszete	17
4. ábra: Síkmatricás pelletprés [Pelletmagyarország 2010 alapján]	18
5. ábra: Gyűrűs matricás pelletprések	18
6. ábra: Fapellet gyártó üzemek elhelyezkedése az EU-ban [Mola-Yudego et al. 2014].....	23
7. ábra: Magyarország szántóterülete a Corine Land Cover felszínborítási térkép alapján	27
8. ábra: Szalma és szármennyiségek változása a növénynevelési tevékenységek következtében, [Szalay-Palócz, 2013].....	30
9. ábra: Évente keletkező vizsgált növényi melléktermékek mennyisége Magyarországon (2010-2014 átlaga)	32
10. ábra: Kutatás módszerei, mérések bemutatása	35
11. ábra: Kaloriméter IKA C-2000.....	36
12. ábra: Nedvesség tartalom mérő (Boeco SMO 01) és izzító kemence(Thermo PR)	39
13. ábra: A finomhányad meghatározása, szitálás.....	40
14. ábra Mechanikai ellenálló képesség mérése	41
15. ábra Pelleték térfogati sűrűségének mérése.....	42
16. ábra: Pelletálás előtti fapor frakcióelemzése	48
17. ábra: Üzemanyag fogyasztás energia-igénye oda-vissza útra	52
18. ábra: SAS ECO-típusú pelletkazán	54
19. ábra: Többszalagos szárító [Rajkó et al 2004].....	58
20. ábra: Fapellet előállítás és szállítás energia igénye	60
21. ábra: Tehergépkocsi üzemanyag fogyasztása a távolság és bálátípusok függvényében (liter/tonna)	65
22. ábra: Beszállítás és bálázás összesített energia igénye (MJ/tonna)	65
23. ábra: Agripellet előállítás energia igénye	66
24. ábra: Szárképzéshez felvett műtrágya előállítás energia igénye	68
25. ábra: Füstgázelemző berendezés (Testo).....	71
26. ábra: Fapellet füstgázelemzése	72
27. ábra: Fapellet füstgázelemzése, hatásfok	74
28. ábra: CO ppm fapellet füstgázelemzése során.....	75
29. ábra: Füstgáz hőmérséklet fenyő alapú fapellet égetése során	76
30. ábra: Hatásfok változása repceszár és búzaszalma-repceszár keverék pellet esetén	77
31. ábra: Fapellet gyártás EROEI értékei különböző technológiai folyamatok esetén	81
32. ábra: Agripellet előállítás EROEI értékei különböző alapanyagok esetén.....	82
33. ábra: Agripellet előállítás ÜHG kibocsátásai.....	88
34. ábra: A műtrágyázásból adódó ÜHG kibocsátás 1 tonna szalmára vonatkoztatva.....	90
35. ábra: Repceszár-pellet frakcióelemzése	92
36. ábra: Adagoló gép és kis pelletáló (Kahl típusú) berendezés	92
37. ábra: A biodízel gyártásból nyerhető energia a repce szalma pellet felhasználásával	98
38. ábra: Papíriszap frakcióeloszlása pelletálás előtt.....	103

39. ábra: Hamutartalom változása papírszap bekeverési arány növelésével (%)	104
40. ábra: Papírszap-fa pelletek becsült EROEI értékei a bekeverési arány függvényében	106
41. ábra: Korom-fapellet keverék közepes hossz változása, a bekeverési arány függvényében	110
42. ábra: Pellet előállítás költségei a kapacitás függvényében [Boldog-Blaskó 2012]	112
43. ábra: Fapellet előállítás költségeinek eloszlása	113
44. ábra: Fapellet előállítás költségeloszlása szárítással	114

Mellékletek

I. Ausztriai ÖNORM pellet szabvány

Paraméter		Határértékek
Fizikai	Átmérő (mm)	4–10
	Hosszúság (mm)	<5D
	Részecske sűrűség (kg/dm ³)	<1.12
Mechanikai	Töredezettség (%)	<2.3
Kémiai	Nedvesség tartalom (%)	<10
	Hamutartalom (%)	<0.5
	Fűtőérték (kcal/kg)	>4302
	N (%)	<0.3
	S (%)	<0.04
	Cl (%)	<0.02
	Adalékanyagok (%)	<2

II. Svéd SS 187120 pellet szabvány

Paraméter		Pellet kategória		
		Group 1	Group 2	Group 3
Fizikai	Átmérő (mm)	<25	<25	<25
	Hosszúság (mm)	<4D	<5D	<5D
	Térfogati sűrűség (kg/dm ³)	>600	>500	>500

Paraméter	Pellet kategória			
	Group 1	Group 2	Group 3	
	Nedvesség tartalom(%)	<10	<10	<10
Mechanikai	Töredezettség (%)a	<0.8	<1.5	<1.5
Kémiai	Hamutartalom (%)	<0.7	<1.5	<1.5
	Fűtőérték (kcal/kg)	>4039	>4039	>3609
	S (%)	<0.08	<0.08	–
	Cl (%)	<0.03	<0.03	–

III. Német pellet szabványok

	Paraméter	DIN 51731	DINEN 15270
Fizikai	Átmérő (mm)	4–10	–
	Hosszúság(mm)	<5D	<5D
	Részecske sűrűség (kg/dm ³)	<1.2	<1.2
Mechanikai	Töredezettség(%)a	–	<2.3
Kémiai	Nedvesség tartalom (%)	<12	<10
	Hamutartalom (%)	<1.5	<0.5
	Fűtőérték (kcal/kg)	3705–4661	>4302
	N (%)	<0.3	<0.3
	S (%)	<0.08	<0.04
	Cl (%)	<0.03	<0.02
	Adalkékok (%)	–	<2
	As (mg/kg)	<0.8	<0.8
Cd (mg/kg)	<0.5	<0.5	

	Paraméter	DIN 51731	DINEN 15270
	Cr (mg/kg)	<8	<8
	Cu (mg/kg)	<5	<5
	Hg (mg/kg)	<0.05	<0.05
	Pb (mg/kg)	<10	<10
	Zn (mg/kg)	<100	<100

IV. Az olasz CTI-R04/05 pellet szabvány rendszer

Paraméter		Pellet kategória		
		A.1	A.2	A.3
Fizikai	Átmérő (mm)	$6 \pm 0.5 - 8 \pm 0.5$	$6 \pm 0.5 - 8 \pm 0.5$	$10 \pm 0.5 - 25 \pm 1.0$
	Hosszúság (mm)	–	<5D	–
	Térfogati sűrűség (kg/dm ³)	620–720	600–720	≥550
Mechanikai	Por emisszió (%)	≤1	≤1	–
Kémiai	Nedvesség tartalom(%)	≤10	<10	≤15
	Hamutartalom(%)	≤0.7	<1.5	–
	Fűtőérték (kcal/kg)	>4039	>3870	–
	N (%)	≤0.3	≤0.3	–
	S (%)	≤0.5	≤0.5	–
	Cl (%)	≤0.03	–	–
	Adalékok (%)	betiltva	–	–

V. Francia szabvány javaslat

Paraméter		A felhasználás területe			
		Kis tüzelő	Kazán	Nagy kazán	Hulladék égető
Fizikai	Átmérő (mm)	6 ± 1	8–10 ± 1	>16	>16
	Hosszúság (mm)	10–30	10–15	>16	>16
	Térfogati sűrűség (kg/dm ³)	>650	>650	>580	>580
	Részecske sűrűség (kg/dm ³)	1.2–1.4	1.2–1.4	–	–
Kémiai	Nedvesség tartalom (%)	<10	<10	–	–
	Hamutartalom (%)	<10	<10	–	–
	Fűtőérték (kcal/kg)	>4052	>4052	–	–
	N (%)	<0.3	<0.3	–	–
	S (%)	<0.08	<0.08	–	–
	Cl (%)	<0.3	–	–	–
	Na (ppm)	<300	–	–	–

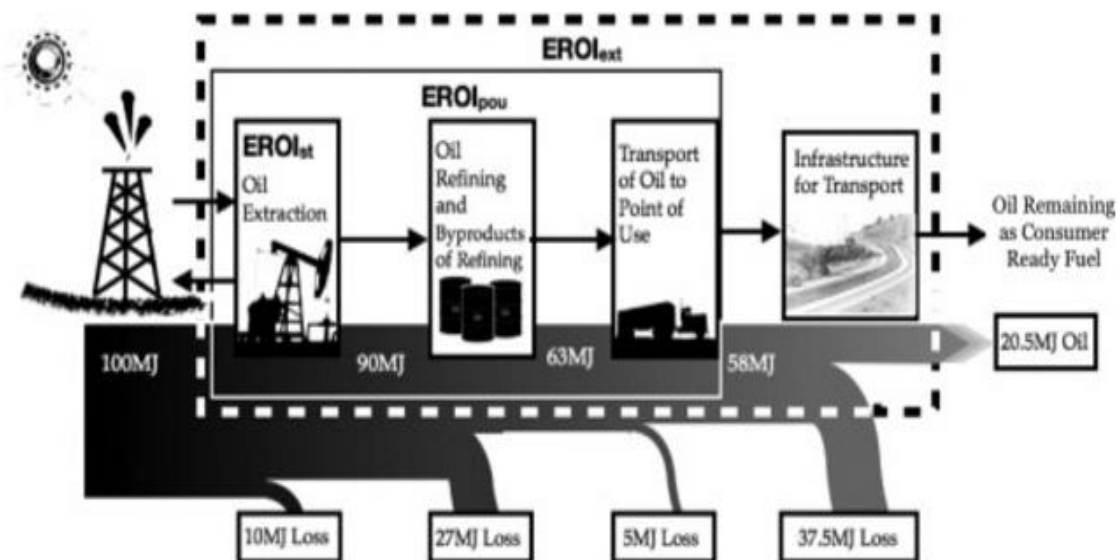
VI. Európai CEN-TC rendszer

Paraméter	Osztályozás
Méret (átmérő és hossz) (mm)	D06: $D \leq 6 \pm 0.5$ and $L \leq 5D$
	D08: $D \leq 8 \pm 0.5$ and $L \leq 4D$
	D10: $D \leq 10 \pm 0.5$ and $L \leq 4D$
	D12: $D \leq 12 \pm 1.0$ and $L \leq 4D$
	D25: $D \leq 25 \pm 1.0$ and $L \leq 4D$
Nedvesség tartalom (%)	M10: $\leq 10\%$
	M15: $\leq 15\%$

Paraméter	Osztályozás
	M20: $\leq 20\%$
Hamu tartalom (%)	A0.7: $\leq 0.7\%$
	A1.5: $\leq 1.5\%$
	A3.0: $\leq 3\%$
	A6.0: $\leq 6\%$
	A6.0+: $> 6\%$
N (%)	N0.3: $\leq 0.3\%$
	N0.5: $\leq 0.5\%$
	N1.0: $\leq 1\%$
	N3.0: $\leq 3\%$
	N3.0+: $> 3\%$
S (%)	N0.05: $\leq 0.05\%$
	N0.08: $\leq 0.08\%$
	N0.1: $\leq 0.1\%$
	N0.2+: $> 0.2\%$
Cl (%)	CL0.03: ≤ 0.03
	CL0.07: ≤ 0.07
	CL0.1: ≤ 0.1
	CL0.1+: > 0.1
Töredezetség	DU97.5: ≥ 97.5
	DU95.0: ≥ 95
	DU90: ≥ 90
Térfogati sűrűség (kg/m ³)	Ajánlott értékek a gyártónak fel kell tüntetni
Fűtőérték (kcal/kg)	Ajánlott értékek a gyártónak fel kell tüntetni

Paraméter	Osztályozás
Adalékok	A kötőanyagokat és a hamu inhibitorokat jelezni kell

VII. Olaj EROI ábra Lambert 2010 alapján



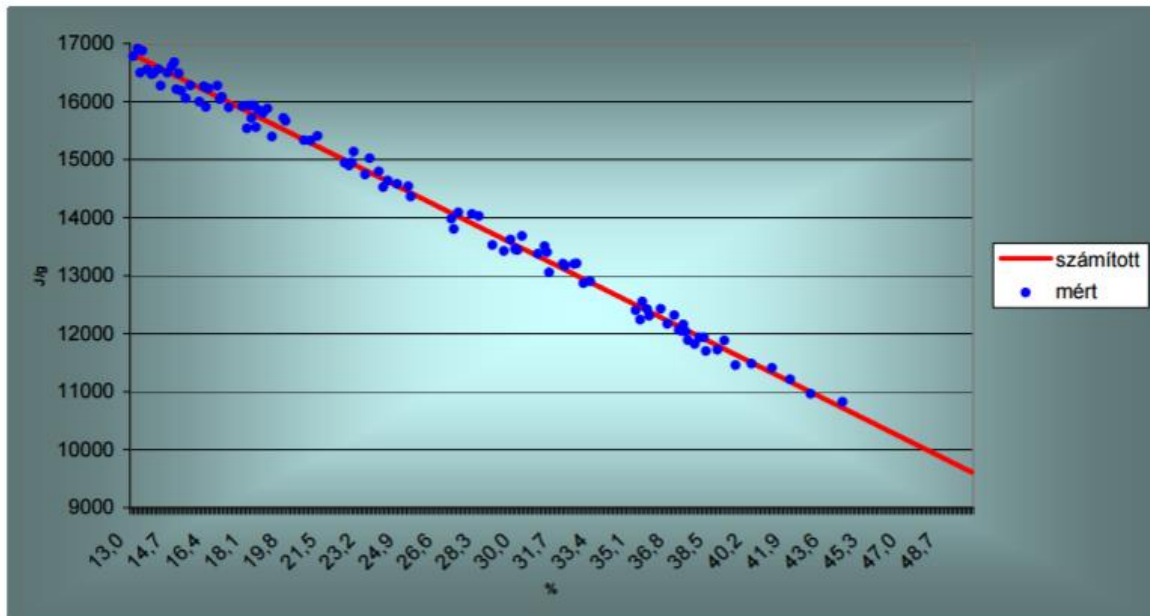
VIII. Műtrágyázás energia igénye, ÜHG potenciál, Williems et al 2010 alapján

Fertilizer product	Unit (kg)	Primary energy consumption (MJ)	Global warming potential (kg CO ₂ eq)			Eutrophication potential (g PO ₄ ³⁻ eq)	Acidification potential (g SO ₂ eq)	Abiotic resource use (g Sb eq)
			CO ₂	N ₂ O	Total			
AN	N	40a /29.8	2.34a /1.77b	3.69a /0.83b	6.2a /2.74b	0.5	4.7	23
Urea		51.6a /44.1b	1.39a/0.98b	0	1.59a /1.13b	0.54	5.3	23
CAN		42.6a /31.4b	2.49a /1.89b	3.66a /0.83b	6.3a /2.83b	0.55	5.3	21
AS		42	ld	ld	3	0.52	5.3	20
TSP	P	30.25	1.6a	0	1.66a	0.74	8.1	15
SSP		13	ld	ld	0.6	0.57	6.6	16
MOP	K	10.06	0.58a	0	0.60a	0.30	7.2	3.9
L	Ca	2.3	ld	ld	0.15	0.26	1.6	2.4

IX. Kazánok műszaki adatai

SAS ECO		ECO 1.5	ECO 2.0	ECO 2.5	ECO 3.0	ECO 3.5	ECO 4.0	ECO 5.0	ECO 6.0	ECO 7.0	ECO 8.0
Teljesítmény	kW	17	23	29	36	42	48	58	68	78	90
Hatásfok	%	81,8-83,5									
Tüzelőanyag-fogyasztás (P=50%)	kg/h	1,6	2,1	2,5	3,1	3,6	4,1	5	6,5	7,2	8,3
Tároló térfogat	dm ³	100	100	120	160	190	220	280	320	360	380
Kazán víztérfogat	l	90	100	120	140	160	190	260	350	420	510
Kazántömeg (víz nélkül)	kg	500	520	580	640	720	800	950	1240	1400	1600
Füstgáz-hőmérséklet	°C	90-210									
Ajánlott fűtővízhőmérséklet	°C	60-80									
Min. visszatérő víz hőm.	°C	55									
Max. üzemi nyomás	bar	1,5									
Max. előremenő víz hőm.	°C	85									
Hálózati feszültség/frekvencia	V/Hz	230/50									
Teljesítményfelvétel	W	270			300			380		500	
Méret: mélység	mm	1520	1550	1550	1600	1620	1660	1770	1840	1890	2040
szélesség	mm	500	500	570	620	670	720	735	780	820	820
magasság	mm	1470	1530	1530	1580	1620	1700	1930	1930	2070	2070
Füstcső-átmérő	mm	180	180	200	200	220	220	250	250	270	280
Fűtésatlakozás méretei	inch	G 1,5			G 2			G 2,5		G 3	
Fűthető alapterület	m ²	0-160	150-220	210-280	270-350	340-410	400-480	380-500	460-600	540-650	620-740
Füstjárat min. keresztm./átmérő	cm ² /mm	324/210	400/220	440/240	480/250	620/280	620/280	675/320	675/320	780/360	780/360
Igényelt huzatnagyság	mbar	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,45	0,55			
Nettó árak:	HUF	776 000	792 000	853 000	999 000	1 131 000	1 262 000	1 650 000	1 999 000	2 394 000	2 649 000
SAS ECO		ECO 9.0	ECO 12.0	ECO 14.0	ECO 16.0	ECO 18.0	ECO 20.0	ECO 23.0	ECO 25.0	ECO 27.0	
Teljesítmény	kW	100	125	150	175	200	225	250	275	300	
Hatásfok	%	81,8-83,5									
Tüzelőanyag-fogyasztás (P=50%)	kg/h	9,6	11,5	13	15	17,5	20	22,3	24,5	26,8	
Tároló térfogat	dm ³	410	460	540	610	690	720	800	800	960	
Kazán víztérfogat	l	620	809	890	950	1000	1050	1100	1160	1220	
Kazántömeg (víz nélkül)	kg	1800	2030	2320	2560	2720	2950	3180	3410	3640	
Füstgáz-hőmérséklet	°C	90-210									
Ajánlott fűtővízhőmérséklet	°C	60-80									
Min. visszatérő víz hőm.	°C	55									
Max. üzemi nyomás	bar	1,5									
Max. előremenő víz hőm.	°C	85									
Hálózati feszültség/frekvencia	V/Hz	230/50									
Teljesítményfelvétel	W	500		640		800		1150			
Méret: mélység	mm	2140	2270	2400	2520	2520	2570	2690	2720	2720	
szélesség	mm	850	880	920	980	980	1050	1100	1240	1320	
magasság	mm	2070	2120	2120	2120	2170	2170	2170	2170	2170	
Füstcső-átmérő	mm	300	340	360	380	400	420	420	450	450	
Fűtésatlakozás méretei	inch	G 3								2 x DN100	
Fűthető alapterület	m ²	680-890	930-1300	1100-1550	1500-1780	1700-2100	2050-2300	2300-2600	2600-2800	2800-3300	
Füstjárat min. keresztm./átmérő	cm ² /mm	840/380	840/380	1020/400	1020/400	1020/400	1150/420	1150/420	1296/450	1296/450	
Igényelt huzatnagyság	mbar	0,55									
Nettó árak:	HUF	2 972 000	3 416 000	3 732 000	4 237 000	4 731 000	5 397 000	5 670 000	5 990 000	6 340 000	

X. Nedvességtartalom és fűtőérték összefüggései Jung (2008) alapján



XI. lágyszárúak darálásának vizsgálata, Mani et al alapján 2010

alapanyag	Nedvesség tartalom	Apríték méret geometriai közepe	Kalapácsos daráló mérettartománya	Átlagos energia fogyasztás
	(w%)	(mm)	(mm)	kWh/t
Búza szalma	8.3	7.67	0.8	51.55
	8.3		1.6	37.01
	8.3		3.2	11.36
	12.1		0.8	45.32
	12.1		1.6	43.56
	12.1		3.2	24.66
Árpa szalma	6.9	20.52	0.8	53.00
	6.9		1.6	37.91

alapanyag	Nedvesség tartalom	Apríték méret geometriai közepe	Kalapácsos daráló mérettartománya	Átlagos energia fogyasztás
	(w%)	(mm)	(mm)	kWh/t
	6.9		3.2	13.79
	12.0		0.8	99.49
	12.0		1.6	27.09
	12.0		3.2	25.5
Kukoricaszár	6.2	12.48	0.8	22.07
	6.2		1.6	14.79
	6.2		3.2	6.96
	12.0		0.8	34.30
	12.0		1.6	19.84
	12.0		3.2	11.04
Köles	8.0	7.15	0.8	62.55
	8.0		1.6	51.76
	8.0		3.2	23.84
	12.0		0.8	56.57
	12.0		1.6	58.47
	12.0		3.2	27.63

XII. Tüzelőanyagok és Erőművek fajlagos szén-dioxid kibocsátása

„Tiszta” tüzelőanyag	Reakcióegyenlet	Mérleg		Kibocsátás [tCO ₂ /GJ _u]
		Moláris [g/mol]	Tömeg [kg]	
Szén	C+O ₂ =CO ₂ +q _u	12+32= 44+q _u	1+2,66= =3,66+33,8 MJ	0,108
Benzin (oktán) ¹	2C ₈ H ₁₈ +25O ₂ =16CO ₂ +18H ₂ O+q _u	228+800= =704+324+q _u	1+3,51= 3,09+1,42+48,8 MJ	0,063
Metán (földgáz)	CH ₄ +2O ₂ =CO ₂ +2H ₂ O+q _u	16+64= =44+36+q _u	1+4= 2,75+2,25+49,5MJ	0,055
Biomassza (glükóz)	C ₆ H ₁₂ O ₆ +6O ₂ =6CO ₂ +6H ₂ O+q _u	180+192= =264+108+q _u	1+1,07= 1,47+0,6+18 MJ	0,082
Hidrogén	2H ₂ +O ₂ =2H ₂ O+q _u	=4+32=36+q _u	1+8=9+119,6 MJ	0,0

¹A gázolaj fajlagos CO₂-kibocsátása – a nagyobb széntartalom miatt feltételelesen a gázolaj (ρ=0,82 kg/m³) és a benzin (ρ=0,737 kg/m³) sűrűségének hányadosával (1,11) korrigálva – 0,07 t CO₂/GJ_u.

A fűtőolaj fajlagos CO₂-kibocsátása – a nagyobb széntartalom miatt feltételelesen a fűtőolaj (ρ=0,92 kg/m³) és a benzin (ρ=0,737 kg/m³) sűrűségének hányadosával (1,25) korrigálva – 0,079 t CO₂/GJ_u.

A villamos energia fajlagos széndioxid-kibocsátása

Hőerőmű	A villamosenergia- termelés hatásfoka [%]	Fajlagos tüzelőhő- felhasználása [GJ/MWh _e]	Fajlagos kibocsátás [t CO ₂ /MWh _e]
Széntüzelésű gőzerőmű	25-44	14,4-8,2	1,56-0,88
Fűtőolaj-tüzelésű gőzerőmű	28-36	12,9-10,0	1,02-0,79
Földgáztüzelésű gázturbina	22-38	16,4-9,5	0,9-0,52
Földgáztüzelésű gázmotor	32-42	11,3-8,6	0,62-0,47
Földgáztüzelésű gőzerőmű	30-44	12-8,2	0,66-0,45
Földgáztüzelésű kombinált gáz- gőz erőmű	48-58	7,5-6,2	0,41-0,34

XIV. Repceszár, és repceszár-búzaszalma keverék pellet hosszúság mérésének statisztikai kiértékelése

One-Sample T-test

	Test value					
	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
hosszrepce8mm	31,760	106	,000	15,64972	14,6728	16,6266

One-Sample Test

	Test Value					
	t	df	Sig. (2- tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
hosszrepce6mm	36,533	72	,000	17,67274	16,6920	18,9934

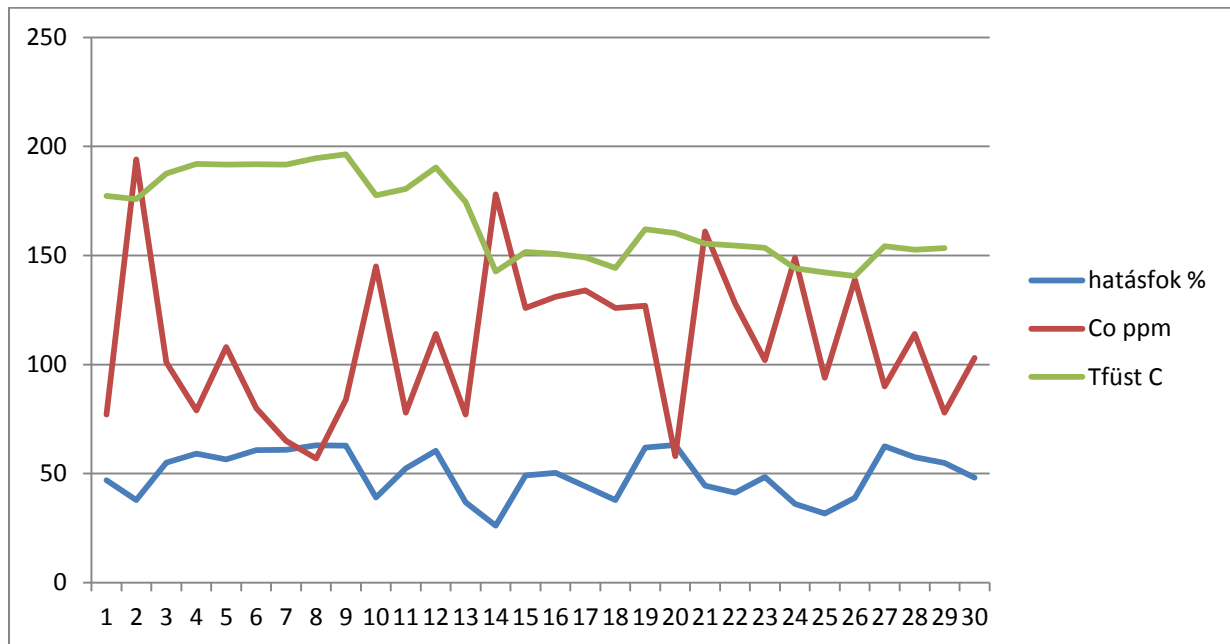
XIII. Fák széndioxid-megkötése [Marland 2011 alapján]

Table 1	Carbon Sequestration (metric tons)	
	Hardwood, Moderate Growth Rate	Hardwood, Fast Growth Rate
2008	126	126
2009	144	205
2010	235	348
2011	305	470
2012	342	549
2013	382	624
2014	430	712
2015	480	798
2016	532	893
2017	580	996
2018	632	1094
2019	674	1186
2020	723	1280
2021	776	1369
2022	822	1460
Total	7184	12112

XV. Repceszár-pellet 6 mm-es



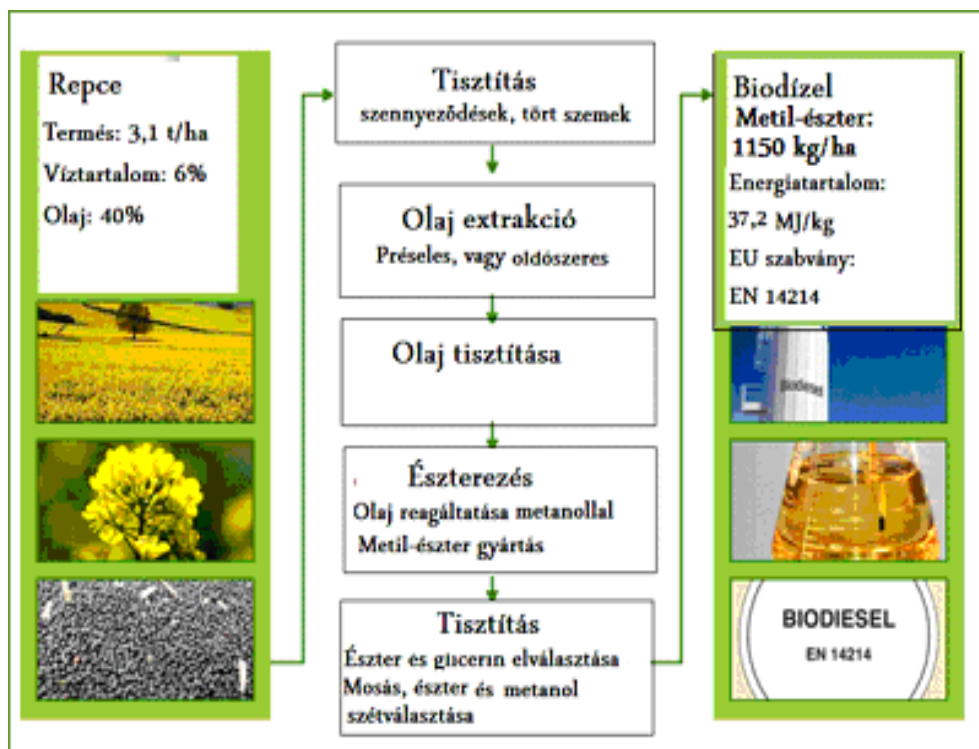
XVI. Repceszár pellet füstgázemelés



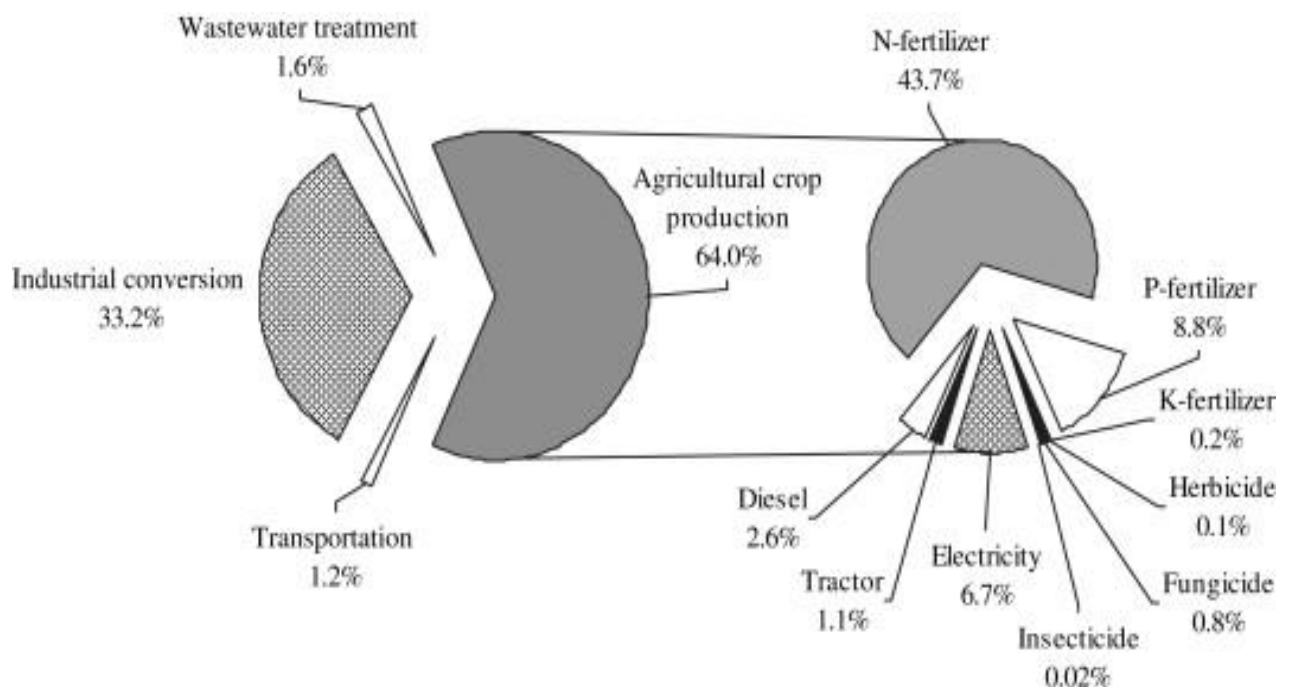
XVII. Bai A.(2008) Az emisszió változása a különböző keverékeknel a normál dízelhez képest (%)

Megnevezés		10%-os keverék	20%-os keverék	50%-os keverék
Füst	alapjárt	100	87	56
	teljes fordulatszám	58	103	103
K érték	alapjárt	67	67	67
	teljes fordulatszám	12	21	41
CO	alapjárt	60	80	80
	teljes fordulatszám	116	111	42
CO ₂	alapjárt	109	109	113
	teljes fordulatszám	115	92	75
HC	alapjárt	75	89	95
	teljes fordulatszám	76	94	81

XVIII. Blaskó J.(2008) – A biodízel előállítás anyagárama



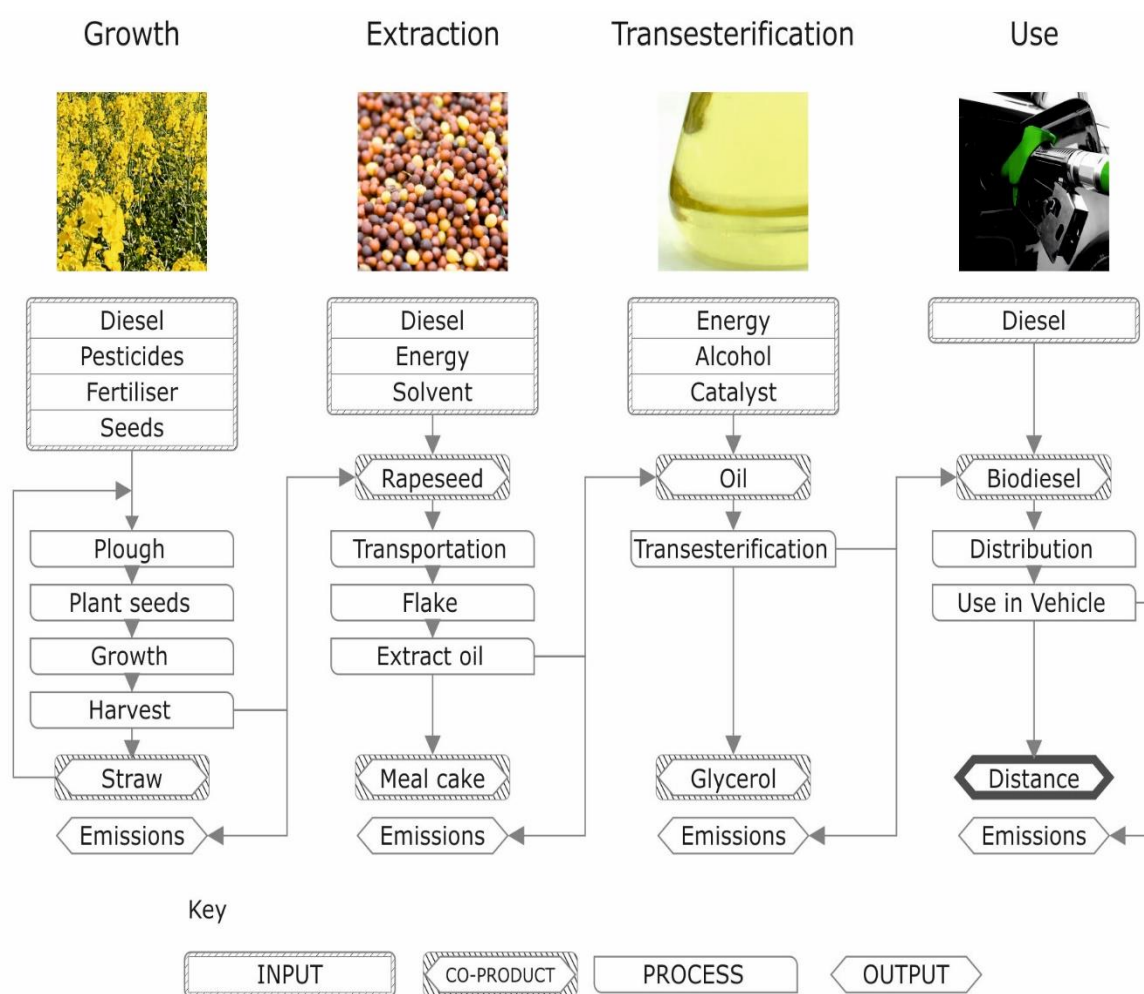
XIX. A biodízel előállítás integrált energia bevétele H.Chen és G.Q.Chen alapján(2010)



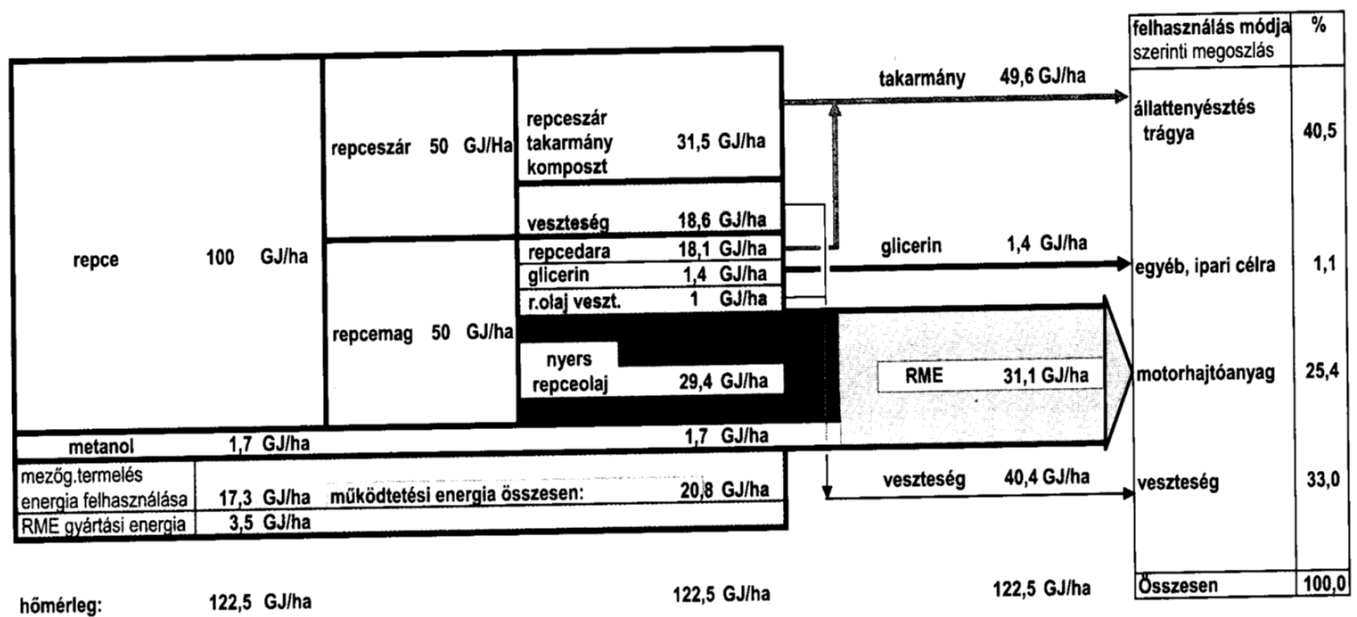
XX. Különböző alapanyagból készült biodízel energiamérlege FAO 2008 alapján

Hajtóanyag	Alapanyag	Energiamérleg
Biodízel	Szójabab	0,64-2,4
	Repcemag	1,1-3,6
	Használt sütőolaj	4,8-5,8
	Pálmaolaj	2,8-9,6

XXI. Repce alapú biodízel energia input-output [Energy Communities 2011 alapján]



XXII. A repce termesztés energia input és output értékei Hancsók alapján (2004)



XXIII. repceszár pellet és búzaszalma –repceszár pellet hatásfok vizsgálataihoz tartozó statisztikai elemzés

Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 repce	51,3367	30	7,36316	1,34432
buzarepce	61,0367	30	3,41250	,62303

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 repce & buzarepce	30	-,003	,989

Paired Samples Test

	Paired Differences			
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference
				Lower
Pair 1 repce - buzarepce	-9,70000	8,12374	1,48319	-12,73345

Paired Samples Test

	Paired Differences		t	df	Sig. (2-tailed)
	95% Confidence Interval of the Difference				
	Upper				
Pair 1 repce - buzarepce	-6,66655		-6,540	29	,000

Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 repce	51,3367	30	7,36316	1,34432
repce2	51,0233	30	7,10811	1,29776
Pair 2 buzarepce	61,0367	30	3,41250	,62303
buzarepce2	62,4433	30	3,04661	,55623

Paired Samples Correlations

	N	Correlation	Sig.
Pair 1 repce & repce2	30	,844	,000
Pair 2 buzarepce & buzarepce2	30	-,153	,419

Paired Samples Test

	Paired Differences			
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference
				Lower
Pair 1 repce - repce2	,31333	4,05435	,74022	-1,20059
Pair 2 buzarepce - buzarepce2	-1,40667	4,91036	,89651	-3,24023

Paired Samples Test

	Paired Differences	t	df	Sig. (2-tailed)	
					95% Confidence Interval of the Difference
					Upper
Pair 1 repce - repce2	1,82725	,423	29	,675	
Pair 2 buzarepce - buzarepce2	,42689	-1,569	29	,127	

XXIV. Pirolízis korom (10%) és fenyő keverék pellet



XXV. Pirolízis korom és fa keverék pelletek hosszúság méréséhez tartozó statisztikák

	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
hosszkorom3%	,000	17,4978	16,5079	18,4889

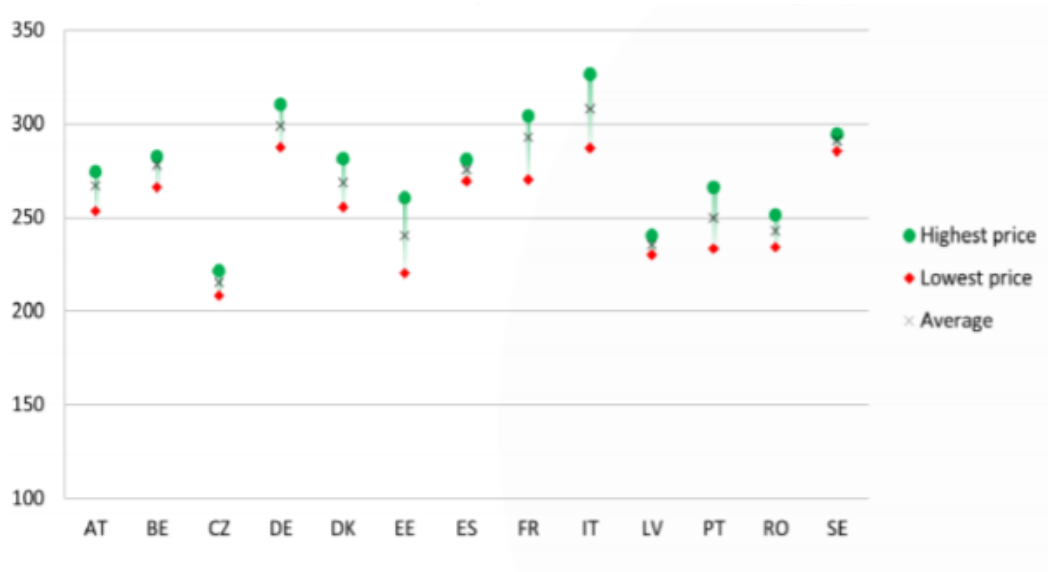
	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
hosszkorom5%	,000	17,1247	16,1147	18,1447

	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
hosszkorom10%	,000	16,4285	15,2785	17,5785

	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
hosszkorom15%	,000	13,2219	12,0318	14,4119

	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
			Lower	Upper
hosszkorom20%	,000	10,1434	8,9436	11,3432

XXVI. Pellet árak EU-ban 2014 PellCert Project alapján



XXVII. EU pellet import – European Pellet Report 2015 alapján

