

MISKOLCI EGYETEM



GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR  
ENERGETIKAI ÉS VEGYIPARI GÉPÉSZETI INTÉZET  
VEGYIPARI GÉPÉSZETI INTÉZETI TANSZÉK

# MEZŐGAZDASÁGI HULLADÉKOK ENERGIASÚRÚSÉG-NÖVELESÉNEK VIZSGÁLATA

PH. D. ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Készítette:  
SZAMOSI ZOLTÁN

SÁLYI ISTVÁN GÉPÉSZETI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA  
GÉPÉSZETI ALAPTUDOMÁNYOK SZAKTERÜLET  
TRANSPORTFOLYAMATOK ÉS GÉPEIK TÉMACSOPORT

A doktori iskola vezetője:

**Dr. Tisza Miklós**  
a műszaki tudományok doktora

Témacsoport vezetője:

**Dr. Czibere Tibor**  
az MTA rendes tagja

Témavezető:

**Dr. Siménfalvi Zoltán**  
PhD, egyetemi docens

Társ-témavezető:

**Dr. Lakatos Károly†**  
PhD, egyetemi docens

MISKOLC  
2016

# **Bíráló bizottság**

## **Elnök**

Dr. Szabó Szilárd CSc, Miskolci Egyetem, egyetemi tanár

## **Titkár és tag:**

Dr. Bolló Betti, Miskolci Egyetem, egyetemi docens

## **Tagok**

Dr. Balázs Tibor, Budapesti Műszaki Egyetem, egyetemi docens

Dr. Palotás Árpád Bence, Miskolci Egyetem, egyetemi tanár

Dr. Tolvaj Béla PhD, Miskolci Egyetem, ny. egyetemi docens

## **Hivatalos bírálók:**

Dr. Varga Tamás, Pannon Egyetem, egyetemi adjunktus

Dr. Fábry György CSc, ny. egyetemi tanár

## Tartalom

1. Bevezetés, célkitűzések .....	4
2. Tudományos előzmények .....	6
2.1 Termikus eljárások .....	6
Torrefaction .....	7
3. A feladat megoldása, kísérleti eljárás.....	9
4. Tézisek, tudományos eredmények .....	12
5. A kutatási témában megjelent publikációk.....	13
6. Irodalomjegyzék.....	14

## 1. Bevezetés, célkitűzések

A biomassza energetikai célú felhasználásának története több ezer évre tekint vissza, míg az energetikai jellegű ipari felhasználása csupán néhány évtizedes, esetlegesen évszázados történetű. Legnagyobb részben a fosszilis energiahordozókat hasznosítjuk hő- és villamos energia termelésre, melyek kitermelése manapság már rendkívül költségigényes folyamat. A jelenlegi olajár szinteken (2016. május, 43\$/hordó) sok olajkút termelését visszafogták, a palaolaj kitermelés megállt, tehát ma nem éri meg a legnagyobb költségekkel működő termelésű kutakat dolgoztatni.

Manapság az energiaellátás tekintetében egyre nagyobb szerepet játszik, és kell, hogy játsszék a biomassza, azon belül is azok a tüzelőanyagok, melyek évről évre megújulnak. Mivel Magyarország jelentős agrártermelő ország – 5 340 000 hektár mezőgazdasági területtel rendelkezünk<sup>1</sup> – ezért nagy figyelmet kellene fordítanunk a mezőgazdasági melléktermékek és hulladékok hasznosítására. Magyarországon 2013-ban 5 058 301 tonna búza termett<sup>2</sup>, mely közelítőleg megegyezik a keletkező szalma mennyiségével. Mivel az állattenyésztés ennyi szalmát nem képes feldolgozni, nagy mennyiségben keletkezik „felesleges”, felhasználatlan szalma, ami energetikai szempontból fontos lehet a jövőben.

Ennek a szalmának jelenleg tápanyag pótlás a sorsa, az állattenyésztés számára nem hasznosuló mennyiséget a földeken hagyják aprított formában, majd nagy mennyiségű nitrogén alapú műtrágyával, illetve lebontó baktériummal beszántják. Egyik nagy hátránya a földbe szántásnak a degradációs idő: a könnyen elbomló részei (hemi-cellulóz) akár néhány nap alatt, a nehezebben elérhető összetevői lebontásához (pl.: lignin) hosszabb idő szükséges, nagyjából 5-6 hónap optimális hőmérséklet és páratartalom mellett. Mivel télen a hőmérséklet jelentősen csökken, ezzel párhuzamosan a baktériumok aktivitása is, így az előző évi szalma teljes lebomlása a következő év tavaszára tehető, szinte az aratás előtti időpontra. A legtöbb tápanyagot viszont az elvetett mag igényli, már közvetlenül aratás után.

Amíg a tarlóégetés gyakorlat volt, a keletkező hamut, mint magas kálium tartalmú „műtrágyát” használták, továbbá a termőföld fertőtlenítőszer volt, mert a hamu gátolja bizonyos baktériumok tevékenységét. Amennyiben erőművi, ellenőrzött körülmények között égetnénk el ezen anyagokat, vízzel hígítva a földekre lehetne juttatni a hamut és

---

<sup>1</sup> [http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat\\_hosszu/h\\_omf001a.html](http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_hosszu/h_omf001a.html), Központi Statisztikai Hivatal, Táblák (STADAT) - Hosszú Idősorok

<sup>2</sup> [http://www.ksh.hu/docs/hun/agrar/html/tab11\\_4\\_2\\_1.html](http://www.ksh.hu/docs/hun/agrar/html/tab11_4_2_1.html), Fontosabb gabonafélék termésmennyisége, 1921–2013

pernyét, akár aratás után azonnal. A Nitrogénművek Zrt., a Bige Holding Kft. és a Pannon Egyetem munkatársai egy közös kutatás keretében vizsgálták meg a biomassza hamu átalakítását egy egyszerű eljárással kálium-szulfáttá. Ez tulajdonképpen kálium tartalmú műtrágya, illetve talajjavító anyag, mely a gazdák számára értékesíthető termék [1].

A biomassza energetikai célú használata során keletkező összes anyagot értékes, esetlegesen értékesíthető termékként lehet hasznosítani. Egyes kutatók ajánlása alapján az elszenesített növényeket, növényi részeket egyes gazdák használják, mint tápanyagpótló és fertőtlenítő szereket. Ezek a szenesített növények hasonló tulajdonságúak, mint az aktív szén, mely ismert a nagy fajlagos felületéről. Hasonlóan jó megkötő képességűek ezek az elszenesített növényi részek, mivel nitrát megkötő hatásúak valamint növelik a talaj pH-ját [2].

## **Célkitűzések**

Kutatásom fő célkitűzése megvizsgálni annak lehetőségét, hogy a mezőgazdasági melléktermékek milyen feltételek mellett alakíthatók nagyobb térfogat- és energiasűrűségű tüzelőanyagokká.

Disszertációmban az alábbi szerkezetben mutatom be vizsgálataimat a kitűzött célokkal összhangban:

1. az energiasűrűség-növelés módszereinek eddig elérhető technológiáinak összefoglalása.
2. Mezőgazdasági melléktermékekre vonatkozó:
  - a) energiasűrűség növelő vákuumos eljárás, technológiai, technikai hátterének vizsgálata,
  - b) a hőkezelési technológia kidolgozása.
3. Az eljárással előállított termék
  - a) energetikai hasznosíthatóságának tüzeléstechnikai vizsgálata laboratóriumi mérésekkel és számításokkal,
  - b) összehasonlítása az alapanyagok tüzeléstechnikai paramétereivel.
4. Az eljárással előállított tüzelőanyagok (tárolása, szállítása stb.)
  - a) egy esetleges porrobbanás során fellépő robbanási tulajdonságok vizsgálata ( $K_{max}$ ,  $p_{max}$ ).
  - b) Az eljárással előállított tüzelőanyagok összehasonlítása az alapanyagok porrobbanási tulajdonságai alapján.

## 2. Tudományos előzmények

Egy adott tüzelőanyag energiasűrűsége alatt az egységnyi térfogattól felszabadítható energia mennyiségét értjük. A mezőgazdasági melléktermékek egyik nagy problémája, energetikai hasznosításának szempontjából az anyagok kis sűrűsége. A fűtőértékük közepesen nagy, a fa tüzelőanyag nagyságrendjébe esik (pl.: bükkfa: 15,2 MJ/kg<sup>3</sup>). Ha a friss vágású fával hasonlítjuk össze, akkor nagyobb fűtőértéket kapunk a mezőgazdasági melléktermék alacsony nedvességtartalma miatt. Viszont a mezőgazdasági melléktermékeket kevésbé hasznosítják, mert nagy térfogattól viszonylagosan kis energia szabadítható fel. Emiatt ezeknek az anyagoknak a szállítása igen költséges lehet, tehát csak decentralizált energiatermelésre alkalmasak. Vannak olyan országok melyekben a különféle szalmák energetikai célokra való hasznosítása igen elterjedt, ilyen Dánia és Németország is [3].

### 2.1 Termikus eljárások

Termikus eljárásnak nevezzük azokat az eljárásokat, melyek az alapanyagot hőhatásnak teszik ki, illetve egy adott hőmérsékletet elérve bizonyos ideig ezen a hőmérsékleten tartják az alapanyagot. Hőmérsékleti szempontból tehát három szakaszt különböztetünk meg: hevítés, hőntartás, lehűtés.

Biomassza kezelés, illetve a kívánt főtermék halmazállapotát tekintve alapvetően két kezelést különböztetünk meg:

- gáz (legtöbbször kondenzáltatunk, 1. táblázat) halmazállapotú főtermék,
- szilárd halmazállapotú főtermék.

Eljárás	Feltételek	Folyadék kihozatal	Szilárd kihozatal	Gáz kihozatal
Gyors pirolízis	~500 °C rövid tartózkodási idő ~ 1 s	75%	12% szén	13%
Közepesen gyors	~500 °C tartózkodási idő ~ 10-30 s	50%	25% szén	25%
Karbonizáció (lassú)	~400 °C, tartózkodási idő hosszú, óráktól egészen napokig	30%	35% szén	35%
Gázosítás	~750-900 °C	5%	10% szén	85%
Torrefaction	~290 °C, szilárd fázis tartózkodási ideje ~ 10–60 perc	0% ha nincs kondenzáció, egyébként 5%-ig	80%	20%

1. táblázat: Az egyes kezelések főbb technológiai paramétereit és a főtermékek kihozatalainak aránya[4]

<sup>3</sup> <http://www.enerles.si/en/calorific-value>

## Torrefaction

A torrefaction (a továbbiakban: pörkölés) egy háromlépcsős termokémiai hőkezelés, mely alacsony hőmérséklet tartományban, jellemzően 200-300°C között megy végbe, légkörihez közeli nyomáson oxigén jelenléte nélkül. A technológia egy hevítési, egy hőntartási és egy lehűlési fázisból áll. A kezelés végeredménye egy nagyobb fűtőértékű szilárd tüzelőanyag, mely az eredetihez képest kisebb tömeggel rendelkezik. Fontos technológiai paraméter az alacsony hevítési sebesség, melyet 10-100°C/min közé ajánlanak [5][6].

Az első pörkölő üzem 1987-ben építette meg Pechiney [7], az üzemelési tartomány 240-280°C között míg a tartózkodási idő 60-90 perc között volt. A hőátadó felület, és a beadagolt alapanyag nedvességtartalma (max. 15%) volt a korlátja a technológiának. A maximális kapacitása 2 tonna volt óránként. A számított hatásfok 65-75% között volt, ezt a technológiát fa kezelésére alkalmazták.

Patrick C. A. Bergman [5] írta az első és legalaposabb kutatást a témában, munkáját a hollandiai Energy Center of Netherlands (ECN) kutatóhelyen. A munkájában leírja, hogy miért a fát, mint alapanyagot használ. Ő javasolja először, hogy a pörkölt terméket pelletálni kell a legjobb hasznosíthatóság végett. A kutatásai során nitrogént használ hőközlő, illetve inertizáló közegként. A kezelés során 92%-os konverziós hatásfokot ért el (hőenergia output/hőenergia input). Mark Jan Prins [6] kutatását Eindhovenben végezte, legnagyobb figyelmet a fűzfára fordította (kiindulási fűtőérték 17,6 MJ/kg), de Ő már vizsgált búzaszalmát is, bár ehhez kapcsolódó kísérleti eredmény nem elérhető. A hőközlő gáz az Ő kísérletei esetén is nitrogén volt. Ayla Uslu [8] munkájában szinte ugyan azt az eljárást alkalmazta, mint Bergman. A kutatások során fát kezelt, melynek kiindulási fűtőértéke 17,7 MJ/kg volt. Uslu munkájának vezetője Bergman volt. A [9] irodalomban az ún. PATRIG berendezést mutatják be. A kutatók ebben az esetben többféle fa kezelését mutatják be, különböző hőmérsékleteken. Michiel van der Stelt többek között kipróbált cukornádat, többféle fát, de még RDF-et (települési szilárd hulladékból nyert másodtüzelőanyag) és búzaszalmát is vizsgált, ennek eredményeit a [10]-as irodalomban találjuk. Az előbb bemutatott kutatók minden esetben az valamilyen iners gáz (pl.: argon, nitrogén) használatával érik el. Néhány kutató említést tesz búzaszalma [11][12] pörköléséről, de ők is iners gázt használnak a reaktor inertizálására [13][14], ezen kutatások eredményeit a 3. táblázatban láthatjuk.

# T É Z I S F Ū Z E T

	Vizsgált biomassa	Kiindulási fűtőérték [MJ/kg]	Elért fűtőérték [MJ/kg]	Pörkölési hőmérséklet [°C]	Hőntartási idő [min]	Kezelés energiaigénye [kJ/kg]
P. C. A. Bergman	fűzfa	17,7	20,8	280	17,5	n.a.
	bükkfa	17,0	20,8	250	30	n.a.
	vörösfenyő	18,2	21,6	250	30	n.a.
	búzaszalma	16,1	18,9	250	30	n.a.
Mark Jan Prins	fűzfa	17,6	19,4	250	30	449±87
	fűzfa	17,6	21	300	10	400±124
Ayla Uslu	fa	17,7	20,4	250	30	n.a.
PATRIG	fa	19,9	20,9	235	n.a.	n.a.
	fa		21	245	n.a.	n.a.
	fa		21,6	255	n.a.	n.a.
	erdészeti hulladék		20,2	20,9	255	n.a.
	erdészeti hulladék	20,9	21,4	255	n.a.	n.a.
	aprított fakéreg	20,5	21,3	255	n.a.	n.a.
	fenyő apríték	20,3	21,2	255	n.a.	n.a.
	fűzfa	19,8	21,4	255	n.a.	n.a.
	Michiel van der Stelt	cukornád	18,24	18,8	240	n.a.
cukornád		18,24	19	270	n.a.	n.a.
búzaszalma		17,3	20,8	260	n.a.	n.a.
Kuzmin S.	búzaszalma	16,67	17,64	220	40	n.a.
	búzaszalma	16,67	19,03	240	50	n.a.

*2. táblázat: Az egyes kutatók által elért eredmények összefoglaló táblázata*

Az erdeinkben nem használunk műtrágyát, mert ezek a növények alig igénylik a folyamatos tápanyagpótlást. A mezőgazdasági termelés során viszont évente több alkalommal műtrágyázunk, melyekkel káliumot, klórt és egyéb ásványi anyagokat juttatunk a növényeknek. Ezek az ásványi anyagok a mezőgazdasági melléktermékben felhalmozódnak, pontosabban nem tudnak kiürülni.

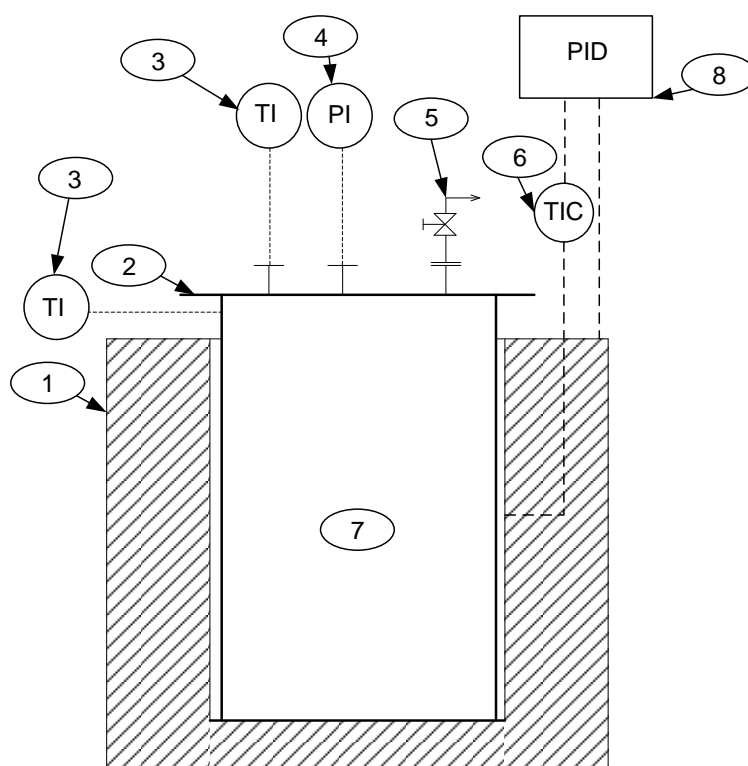
Ezek az anyagok a szalmák pörkölésénél, illetve az energetikai hasznosítás (égetés) során korróziós problémákat okozhatnak [15]. A kálium csökkentheti a hamu olvadási hőmérsékletét [16], és a hamu alacsonyabb tüztéri hőmérsékletnél olvad rá a szerkezeti elemekre, mely akár keresztmetszet csökkenést is okozhat, illetve hőszigetelő réteget alkothat a hőátadó felületeken [17].



### 3. A feladat megoldása, kísérleti eljárás

A vizsgálataimat derivatográfus vizsgálattal kezdtem, mert a termogravimetriai elemzések a vizsgált biomassza optimális hőkezelési hőmérsékletének meghatározására szolgálhatnak. A derivatográfia a termikus elemzések közé tartozik. A termikus elemzések a vegyületekben, illetve többkomponensű rendszerek esetében a vegyületek között hő hatására végbemenő kémiai reakciók vagy fizikai átalakulások vizsgálatára szolgálnak [18]. A vizsgálatok eredményeiből megállapítható a pörkölés optimális hőmérséklete a kiválasztott alapanyagokra.

Az energiasűrűség-növelési kísérleteket egy a HŐKER Kft. által gyártott HK-AL 10/10-es típusú kemencében végeztem el, melyet a Metallurgiai és Öntészeti Intézet bocsátott rendelkezésemre. A berendezés belsejébe egy „kapszulát” kellett elhelyezni. A kapszulát vákuumra méreteztük, mert az első lépés vákuumszivattyús inertizálás volt. A vákuumozás után a képződő gázok nyomásnövekedést okoznak, mely növekedést légköri nyomáson korlátozom, folyamatos gázelvétellel. A méréseket a 1. ábrán látható berendezésben valósítottam meg.



1. ábra: A mérés kapcsolási vázlata

A berendezés vákuumkamrájába, az 1. ábrán látható acél (P265GH) tégelybe (7) helyeztem ismert tömegű, nedvességtartalmú, előaprított mezőgazdasági mellékterméket. A hőmérséklet (belső tér és a kapszula fal) mérésére egy-egy K típusú hőelemet

használtam (3). A vákuumozást és a pirogáz elvételét a gázelvételi csonkon (5) keresztül oldottam meg.

A berendezés része még egy nyomásmérő óra (4), valamint egy hőmérséklet-szabályzó (6) és vezérlő egység (8), mely a fűtőfelületen (1) bevitt hőmennyiséget szabályozza a hőmérséklet-szabályzó által adott jel alapján. A tégelyt elektromosan elszigeteltem a kemence hőmérséklet-szabályzójától.

A kísérletek során gondoskodni kell arról, hogy a kis sűrűségű szalmát a vákuum ne szívja el. Ennek megakadályozására alkalmaztunk egy belső fedelet.

A rendszer légtelenítése után (0,1 bar<sub>a</sub>), a kemence felfűtése következett, 12 °C/perc fűtési sebességgel, 24 perc alatt 280 °C-ra. A hevítési szakaszt különböző időtartamú hűntartási idő követte, melyet a lehűtési szakasz zár. A hőkezelések során a kemencetéri hőmérsékletet (állandó hőmérséklet), az acél kapszula fal és a belső tér hőmérsékletét mértem.

A hőkezeléseket 20, 50, 150, 225, 300, 900 és 1800 másodperces hűntartási időkre végeztem el. A hőkezelés kezdeti (minden esetben 50 g) és a hőkezelés utáni tömeget regisztráltam. A végtermékek égéshőjét a Miskolci Egyetem Tüzeléstani és Hőenergia Intézeti Tanszékének laborjában határoztam meg.

Mivel egy új tüzelőanyagot előállítására történt, és a fűtőérték növekedése ismert a hűntartási idők függvényében, a tüzelőanyag más fontos tüzeléstani vizsgálatait volt érdemes elvégezni, hogy egy teljesebb képet kapjunk a fűtőanyag tulajdonságairól. Jelen esetben a méréseket a Hőenergia és Tüzeléstani Intézeti Tanszéken található SYLAB IF2000G típusú készülékkel végeztük és határoztuk meg a tüzelőanyagok lágyulási hőmérsékletét. A készülék szenek és biomassza hamuk lágyulási tulajdonságainak vizsgálatára szolgál.

Továbbá elvégeztem a visszanedvesedési vizsgálatot úgy, hogy egy zárható edény aljára folyadékot (víz) és átnedvesített szövetet helyeztem. A szövet feletti rácsra tettem az ismert tömegű és nedvességtartalmú mintát. Kiindulási állapotban, majd 24 óra és 30 nappal elteltével vizsgáltam a minták tömegét és nedvességét. A vizsgálat alapján elmondható, hogy a pörkölt szalma nedvesség felvevő képessége alacsonyabb, mint az alapanyagé. Tapasztalható, hogy nedves környezetben az alapanyag bomlása is megindult 30 nap után, míg ez nem volt megfigyelhető a pörkölt anyag esetén.

A tüzelőanyagok életútja az előállítástól a végfelhasználásig különböző technológiai fázisokra bontható (pl.: szállítás, tárolás, mozgatás, pelletálás, brikettálás, szűrés, porelszívás, szétválasztás, aprítás stb...). Ezen műveletek során elkerülhetetlen, hogy az

alapanyag különböző porkoncentrációban, szemcseeloszlásban legyen jelen a technológiában, amely porrobbanási kockázatot jelent.

Elvégeztem az Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Vegyipari Gépészeti Intézeti tanszék laborjában megtalálható KSEP 7.0 (Kühner AG) 20 liter űrtartalmú berendezéssel a három pörkölt anyag viselkedését porrobbanás alatt. Ezzel a berendezéssel automatizált és reprodukálható körülmények között a szabványi előírások szerint lehet robbanási tulajdonságokat ( $p_{\max}$ ,  $K_{\max}$ , LEL, LOC, robbanóképesség) mérni porok, gázok, gőzök, és hibrid keverék közegekre.

## 4. Tézisek, tudományos eredmények

T1. Vákuumos pörkölési eljárást dolgoztam ki mezőgazdasági melléktermékek energiasűrítésére és meghatároztam az eljárás technológiai paramétereit (hőkezelési hőmérséklet, hőntartási idő). Kísérletekkel bizonyítottam, hogy a nyers biomasszának vákuumos pörkölés hatására, különböző hőntartási időktől függően megemelkedik a fűtőértéke [P5][P10], illetve megnő az energiasűrűsége. Numerikus módszert alkalmaztam a mérési eredmények közelítésére, amely alapján felírtam a fűtőérték meghatározására vonatkozó függvényt és meghatároztam a pörkölési együtthatókat a vizsgált alapanyagokra:

$$H = a + b \cdot \arctg(c_1 \cdot t) + c_2 \cdot e^{d \cdot t}$$

ahol,

a, b,  $c_1$ ,  $c_2$ , d pörkölési együtthatók,

t: hőntartási idő [min].

T2. Kísérletekkel igazoltam, hogy a kidolgozott hőkezelési eljárás végrehajtása során a klór, a nátrium és a kálium, mint szennyező feldúsul a mezőgazdasági hulladékokban és melléktermékekben. [P12]

T3. Kísérletekkel igazoltam, hogy a kidolgozott hőkezelési eljárás végrehajtása során az elégetett pörkölt tüzelőanyag hamujának lágyulási hőmérséklete lecsökken az eredeti biomasszához képest.

T4. Kísérletekkel igazoltam, hogy a kidolgozott hőkezelési eljárás végrehajtása során a pörkölt biomassza porrobbanási veszélyessége megnő az alapanyagéhoz viszonyítva.

## 5. A kutatási témában megjelent publikációk

P1. Szamosi Zoltán, Dr. Lakatos Károly: Is the agripellet renewable or not?, Acta Metallurgica Slovaca, Vol. 2. 2011, No. 1., pp. 207-212., Kosice, Slovakia, ISSN: 1335-1532

P2. Szamosi Zoltán: Mezőgazdasági hulladékok vizsgálata, Miskolci Egyetem, Doktoranduszok Fóruma, Gépészmérnöki és Informatikai Kar Szekciókiadványa pp. 108-113., Miskolc, 2011. november 8.

P3. Szamosi Zoltán, Dr. Lakatos Károly, Dr. Siménfalvi Zoltán: Az agripellet, mint megújuló energiaforrás vizsgálata, GÉP Folyóirat, 2012. 06. ISSN: 0016-8572

P4. Szamosi Zoltán, Dr. Lakatos Károly, Dr. Siménfalvi Zoltán: Manufacturing of the agripellet: is it sustainable?, XXVI. MicroCAD Nemzetközi Tudományos Konferencia, Miskolci Egyetem, 2012. március 29-30. ISBN:978-963-661-773-8

P5. Szamosi Zoltán: Thermal and thermochemical treatments of agricultural residues, PhD hallgatók VIII. Nemzetközi Konferenciája, Miskolci Egyetem, 2012. augusztus 5-11. ISBN:978-963-661-994-7

P6. Szamosi Zoltán, Dr. Lakatos Károly, Bereczkei Sándor: Repair of Kaplan turbine shaft sealing based on evaluation of hydraulic conditions, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Volume 15, Part 7.  
doi: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/15/7/072016>

P7. Szamosi Zoltán: The torrefaction, GÉP Folyóirat, 2012. 10. pp. 45-48 ISSN: 0016-8572

P8. Szamosi Zoltán, Dr. Siménfalvi Zoltán: Mezőgazdasági hulladékot feldolgozó pelletáló üzem létesítésének feltételei, Multidiszciplináris tudományok, 2. kötet (2012) 1 sz. pp. 115-120. ISSN 2062-9737

P9. Szamosi Zoltán, Dr. Siménfalvi Zoltán: Mezőgazdasági hulladékok pörkölésére alkalmas berendezések és üzemi paraméterei, GÉP Folyóirat, 2013. 01.

P10. Szamosi Zoltán, Dr. Harcsik Béla, Ferenczi Tibor: Búzaszalma pörkölése vákuumindukciós kemencében, GÉP Folyóirat, 2013. 09. ISSN: 0016-8572

P11. Szamosi Zoltán, Dr. Siménfalvi Zoltán: Torrefaction of the wheat straw, International Scientific Conference on advances in mechanical engineering, ISCAME, 10-11. 10. 2013 pp. 175-181. ISBN 978-963-473-751-3

P12. Szamosi Zoltán, Dr. Siménfalvi Zoltán: Torrefaction of the wheat straw, XXVIII. MicroCAD Nemzetközi Tudományos Konferencia, Miskolci Egyetem, 2014. április 9-11. ISBN 978-963-358-051-6

P13. Szamosi Zoltán, Dr. Martí Rosas-Casals: Sustainability study of the torrefaction technology, International Scientific Conference on advances in mechanical engineering, 09-10. 10. 2014. ISBN 978-963-473-751-3

## 6. Irodalomjegyzék

- [1] P. Benkő, Hamuból műtrágya - Kálium-szulfát műtrágya és talajjavító szer hulladékhasznosításból, *Gazdasági Tükörcék Mag.* 10. (2010) 23.
- [2] M.J. Bell, F. Worrall, Charcoal addition to soils in NE England: A carbon sink with environmental co-benefits?, *Sci. Total Environ.* 409 (2011) 1704–1714. doi:10.1016/j.scitotenv.2011.01.031.
- [3] T.P. Dr. Fenyvesi L., Ferencz Á., *A tűzipellet*, Cser kiadó, Budapest, 2008.
- [4] A.V. Bridgwater, Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading, *Biomass and Bioenergy.* 38 (2012) 68–94. doi:10.1016/j.biombioe.2011.01.048.
- [5] P.C.A. Bergman, Combined torrefaction and pelletisation The TOP process, (2005).
- [6] M.J. Prins, Thermodynamic analysis of biomass gasification and torrefaction, Technische Universiteit Eindhoven, 2005.
- [7] A. Uslu, Pretreatment technologies and their effects on the international bioenergy supply chain, (2005).
- [8] P. Basu, *Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction*, Elsevier, Oxford, 2010.
- [9] C. Wilèn, P. Jukola, T. Järvinen, K. Sipilä, F. Verhoeff, J. Kiel, *Wood torrefaction – pilot tests and utilisation*, 2013.
- [10] F. Verhoeff, a. Adell i Arnuelos, a. R. Boersma, J.R. Pels, J. Lensselink, J.H. a. Kiel, et al., *Torrefaction Technology for the production of solid bioenergy carriers from biomass and waste*, (2011) 82.
- [11] J.J. Chew, V. Doshi, Recent advances in biomass pretreatment - Torrefaction fundamentals and technology, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 15 (2011) 4212–4222.
- [12] Z. Liu, G. Han, Production of solid fuel biochar from waste biomass by low temperature pyrolysis, *Fuel.* 158 (2015) 159–165. doi:10.1016/j.fuel.2015.05.032.
- [13] Isemin R, Kuzmin S, Konyakhin V, Milovanov O, Mikhalev A, Nikolopoulos N, et al., Development and testing of a pilot reactor for low-temperature pyrolysis (torrefaction) of straw pellets, (n.d.).
- [14] D.T. Ferro, V. Vigouroux, A. Grimm, R. Zanzi, *Torrefaction of agricultural and forest residues, Cuba.* 2004. (2004). [http://www.techtp.com/recentpapers/Torrefaction of Ag & Forestry Residues.pdf](http://www.techtp.com/recentpapers/Torrefaction%20of%20Ag%20&%20Forestry%20Residues.pdf).
- [15] X. Wei, U. Schnell, K. Hein, Behaviour of gaseous chlorine and alkali metals during biomass thermal utilisation, *Fuel.* 84 (2005) 841–848. doi:10.1016/j.fuel.2004.11.022.
- [16] J.M. Jones, L.I. Darvell, T.G. Bridgeman, M. Pourkashanian, a. Williams, An investigation of the thermal and catalytic behaviour of potassium in biomass combustion, *Proc. Combust. Inst.* 31 (2007) 1955–1963. doi:10.1016/j.proci.2006.07.093.
- [17] H.P. Nielsen, F.J. Frandsen, K. Dam-Johansen, L.L. Baxter, The implications of chlorine-associated corrosion on the operation of biomass-fired boilers, *Prog. Energy Combust. Sci.* 26 (2000) 283–298. doi:10.1016/S0360-1285(00)00003-4.
- [18] Nagy Károly, Dr. Tóth Kálmán, Dr. Somogyi Antal, Deák Mihály, Barna László, Albert Péter, et al., *Szilikátipari laboratóriumi vizsgálatok*, Műszaki Könyvkiadó, 1970.