

BÚZASZALMA PÖRKÖLÉSE VÁKUUMINDUKCIÓS KEMENCÉBEN

TORREFACTION OF THE WHEAT STRAW IN VACUUM INDUCTION FURNACE

Szamosi Zoltán^{*}, Ferenczi Tibor^{**}, Dr. Harcsik Béla^{***}

ABSTRACT

This paper's goal is to present possibilities of torrefaction in vacuum. In that first researching step we would like to ensure ourselves this technology is a working technology and we can increase the heating value of the agricultural residues. The torrefaction is a three stepped heat treating process, we use vacuum because the generating pyrolysis gases easily usable if we do not need to clean or separate from the other inert gases. The first results are: the heating value of the biomass can increase, and the torrefied wheat straw is incineratable well.

1. BEVEZETÉS

Magyarországon a mezőgazdasági termelés során sok olyan anyag keletkezik, mely a mezőgazdaság számára kevésbé értékes, alig hasznosítható a keletkező formájában. Gondoljunk a búza szalmájára, mely egy része aratás, illetve bálázás után, alomként hasznosul, de a keletkező szalma mennyiségnek csupán harmadát hasznosítják állattartáshoz. A szalma fennmaradó részét, mivel a szántó melletti elégetése szigorúan törvényileg szabályozott, ezért a gazdák aratás közben szecskázzák, majd lebontó baktériumokkal és nagy mennyiségű nitrogén alapú műtrágyával együtt beszántják a földbe [1].

A mezőgazdasági hulladékok, és általában a biomassza használatának egyik akadálya az energiasűrűség kicsiny volta. Az energiasűrűség egységnyi tömegre vagy térfogatra vonatkoztatott energiatartalom, mely növelésével gazdaságossá illetve gazdaságosabbá tehető a biomassza szállítása és felhasználása.

A kutatás célja megvizsgálni, hogy a mezőgazdasági hulladékok és melléktermékek fűtőértékének növelése lehetséges-e vákuumban történő pörköléssel.

Irodalomkutatás során találtunk olyan technológiai leírásokat, melyeket már alkalmaznak a tüzelőanyagok fűtőértékének növelésére a pörkölést. Inert gázokkal (mint hőközlő közeg) fűrészporra, faforgácsra [2], illetve már alkalmazzák az eljárást búzaszalmára is

[3]. A kezelés során, mint minden száraz leparlásnál, keletkeznek éghető gázok, mivel az illó gázok távozása megindul 200 °C-nál. Ezek az illó gázok többnyire szénhidrogének, melyek éghetők. Ezért a vákuumos technológia előnyösebb, mert a képződő, gyúlékony gázokat is hasznosítani lehet, ami a gyártási folyamat energetikai mérlegét kedvezően befolyásolja.

A szakirodalmi kutatás során a megvizsgált eljárások során [4] a hemi-cellulóz tartalmú anyagok térfogatát/tömegét csökkentik, és fűtőértékét növelik, így az energiasűrűség akár 20%-kal is megnő.

A vizsgálatok során az 1. táblázatban összefoglalt technológiai paramétereket kívántuk megvalósítani:

1. táblázat:

A pörkölési technológia paraméterei

Paraméter	Érték
Pörkölési hőmérséklet	290 – 300 °C
Pörkölőtéri nyomás	0,1 mbar
Tartózkodási idő	5 min

A Miskolci Egyetem Metallurgiai és Öntészeti Intézetében rendelkezésre álló vákuumindukciós kemence szabad kapacitását kihasználva lehetőségünk adódott kipróbálni a technológia működését. Arra kerestük a választ, hogy a búzaszalma pörkölése vákuumban növeli-e a tüzelőanyag fűtőértékét.

2. DIFFERENCIÁL TERMOGRAVIMETRIAI ELEMZÉS

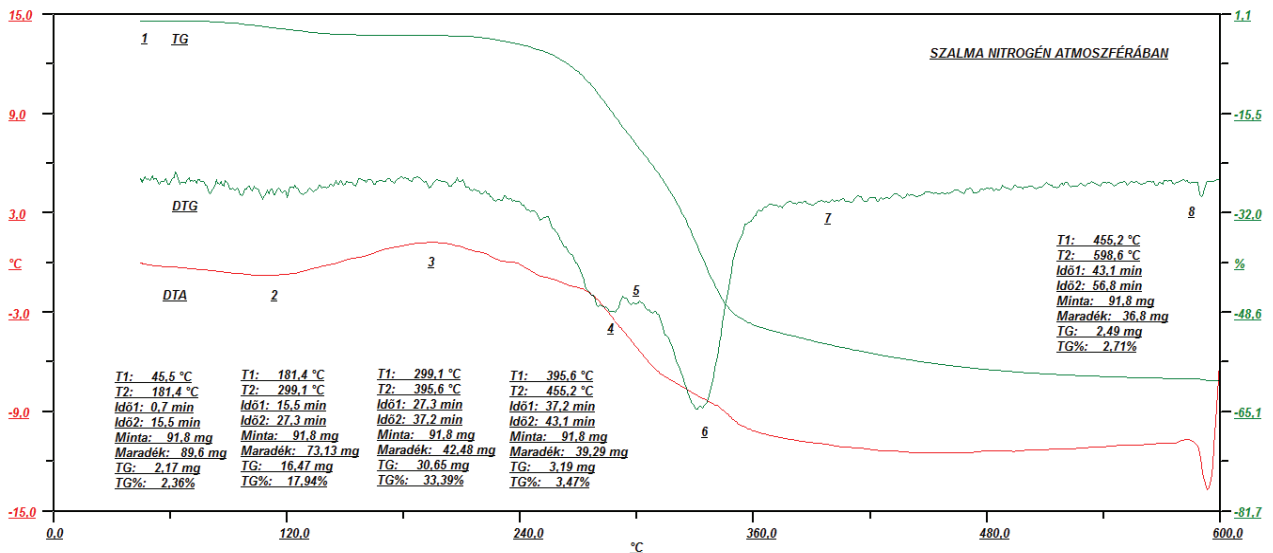
A derivatográfia a termikus elemzések közé tartozik. A termikus elemzések a vegyületekben, illetve többkomponensű rendszerek esetében a vegyületek között hő hatására végbemenő kémiai reakciók vagy fizikai átalakulások vizsgálatára szolgálnak [6].

A derivatográfus vizsgálatot elvégeztük nitrogén atmoszférában (1. ábra), melynek eredménye három görbe. A három görbe, TG (Termogravimetria), DTG (Differenciál Termogravimetria) és a DTA (Differenciál-Termikus Analízis). A TG görbe a tömegváltozást mutatja a hőmérséklet emelés hatására. A DTG a TG görbe deriváltja tulajdonképpen, az ún. differenciál termogravimetrikus görbéje. Ahol a TG

* Doktorandusz, Miskolci Egyetem, Vegyipari Gépek Tanszéke

** Mérnök tanár, Miskolci Egyetem, Metallurgiai és Öntészeti Intézet

*** Tudományos segédmunkatárs, Miskolci Egyetem, Metallurgiai és Öntészeti Intézet



görbének inflexiós pontja van ott a DTG-nek csúcsa. A DTA görbe pedig azt a hőmennyiséget mutatja meg, amely a minta felmelegítése illetve hevítése esetén a hőtartalom változással járó fizikai és kémiai változások miatt felszabadul, illetve elnyelődik a vizsgálati rendszerben. A kapott görbe a minimuma felé, endoterm míg a maximuma felé haladva, exoterm folyamatokra utal [7].

A derivatogram görbéit kiértékelve nyert adatokat a 2. táblázatban foglaltuk össze:

	Hőmérséklet T, °C	Tömegváltozás TG, %	Hőmérséklet különbség DTA, °C	Tömegváltozás sebessége DTG
1	45	-0,03	-0,037	-0,014
2	112	-1,13	-0,762	-0,276
3	195	-2,45	+1,223	-0,009
4	286	-14,91	-3,184	-3,971
5	294	-18,34	-4,323	-3,572
6	331	-37,49	-8,039	-6,912
7	395	-53,73	-10,940	-0,640
8	600	-59,64	-10,788	-0,073

2. Táblázat:

A minta derivatogramjának jellemző pontjaihoz tartozó értékek

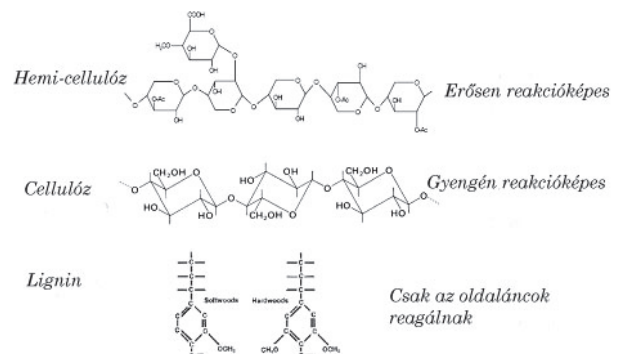
Az ábráról megállapítható legfontosabb jellemzők:

1. a legintenzívebb nedvesség eltávozásának hőmérséklete: 112 °C,
2. a száradás befejeződésének hőmérséklete: 195 °C,
3. az illók kiválásának kezdőhőmérséklete: 195 °C,
4. az illók leggyorsabb kiválásának hőmérséklete: 331 °C,
5. az illók kiválásának véghőmérséklete: 420 °C,
6. a hőkezelés véghőmérséklete: 600 °C.

3. A FŰTŐÉRTÉK NÖVEKEDÉSÉNEK MAGYARÁZATA

A növények sejtfalát felépítő poliszaharidok a lignin, a cellulóz és a hemi-cellulóz (1. ábra). Az összes növény különböző arányban tartalmazza a felsorolt alkotókat.

A pörkölés egy háromlépcsős hőkezelési technológia, mely egy hevítési, egy hőntartási és egy lehűlési fázisból áll.



1. ábra:

A növényi sejtfalat alkotó poliszaharidok

A reaktor belsejében a hevítési fázisban először a minta nedvessége párolog el, majd a kötött víz is eltávozik. Amikor a hőntartási fázist elérjük és a rendszer 280 °C-t eléri, a hemi-cellulóz depolimerizálódik, azaz a hemi-cellulóz polimer monomerré visszaalakul, lebomlik, megváltozik az anyag C/O aránya. Továbbá dehidratációs folyamat is megindul, mint minden polimer esetén, aminek következtében a lignin oldalláncain található „OH” csoportok lebomlanak, amely a kezelés utáni víztaszító tulajdonságért felel. [2]

A 3. táblázatban bemutatjuk a technológia során keletkező termékeket.

Gáz fázis	Folyadék fázis	Szilárd fázis
H ₂ , CH ₄ , CO, CO ₂ , C _x H _y , aromások	Savak, ketonok, furanok, alkoholok, terpének, kátrány, fenolok, víz	Elszenesedett növényi részek, új szerkezetű cukrok és polimerek, hamu

3. Táblázat:

A hőkezelés során a következő fázisok, illetve anyagok képződnek [5]

A fent leírt pörkölési technológiát egy vákuumindukciós kemencében próbáltuk ki, a vizsgálatokat és annak eredményeit az alábbiakban mutatunk be.

4. A BERENDEZÉS LEÍRÁSA

A vákuumindukciós kemence, Leybold-Heraeus gyártmány (3. ábra), alapvetően öntészeti célú fémötvözetek olvasztására, kezelésére fejlesztették ki. Számos igen előnyös tulajdonsággal rendelkezik, amik nemesfém olvasztására, illetve nagy homogenitást igénylő anyagok előállítására is alkalmassá teszik. A tervezett vizsgálattal arra keressük a választ, hogy – kiszélesítve a vákuumkemence felhasználhatóságát – alkalmassá tehető-e biomasszák pörkölésére. [8]

A kemence legfontosabb tulajdonságát tekintve vákuumozható, és az idő-hőmérséklet szabályozása nagy pontosságú.

A kemencéhez két induktor tekercs tartozik, ezért lehetőség van a cserére. Olvasztási céllal, az egyik magnezittel van kidöngölve, a másikban pedig felváltva használható kerámia és grafittegely. Az utóbbinak köszönhetően ellenállású fűtésű kemenceként is használható a berendezés, így van lehetőség a búzaszalma pörkölésének kipróbálására.



2. ábra: A hőkezelő kemence

5. A VÁKUUMOS TECHNOLÓGIA ALKALMAZÁSÁNAK ELŐNYEI ÉS HÁTRÁNYAI

Ahogy a Bevezetésben írtuk azért került a vákuumos technológiára a választás, mert így jól szabályozott körülmények között vizsgálhatók a lejátszódó folyamatok.

A vákuumkemence lehetőséget ad oxigén mentes atmoszférában történő hőkezelésre, így a búzaszalma pörkölésére is.

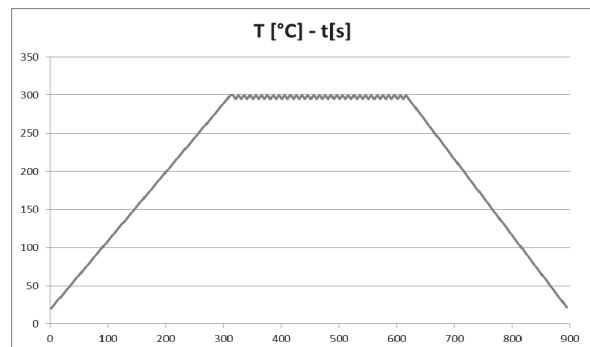
A hőátadás itt, mivel nincs hőátadó közeg, csak sugárzással és hővezetéssel valósul meg.

6. A KÍSÉRLET LEFOLYTATÁSA

A berendezés vákuumkamrájába, a képen látható belső hűtésű réz induktortekercsbe, egy grafittegelybe helyeztünk ismert tömegű, előaprított búzaszalmát. A hőmérséklet mérésére egy PT-300K köpenyhőelemet használtunk, melyet a 3. ábrán látható alsó csonton keresztül vezetünk a kemencetérbe. A grafittegely elektromosan elszigeteltük az induktortekercstől.

Mivel a kemence fémek vákuum alatti kezelésére szolgál eredendően, gondoskodni kellett arról, hogy a kis sűrűségű szalmát a vákuum ne szívja el. Ennek megakadályozására egy fedelet készítettünk.

A rendszer légtelenítése után (0,1 mbar), felfűtöttük a kemencét, 60 °C/perc fűtési sebességgel, öt perc alatt 300 °C-ra. Az öt perc hevítési szakaszt egy 5 perces hűtési idő követte, melyet a lehűtési szakasz zár (4. ábra).



3. ábra: Az elvi hőmérséklet-lefutás



4. ábra: A kísérlet eredménye és végterméke

A végtermék égéshőjének meghatározását a Miskolci Egyetem Tüzeléstan Tanszékén végeztük el egy Parr 6200 típusú kaloriméterben. A fűtőérték meghatározásához ismernünk kell az adott anyagok nedvességtartalmát, illetve a hidrogéntartalmát. Ezek felhasználásával kapjuk meg a számított fűtőértéket. Az égéshő meghatározásának folyamata a következő, egy ún. kaloriméter bombába helyezük az ismert tömegű, 500 µm alatti vizsgálandó szemcséket, és tiszta oxigénben elégetjük. Az égés hatására a bombát körülvevő folyadék, melynek ismerjük a hőkapacitását (közönséges hálózati víz) felmelegszik, és a számítógép a felmelegedéséhez szükséges energiából számítja az anyag ún. égéshőt. Az égéshőből lehet kiszámítani a tüzelőanyag fűtőértékét a következő összefüggéssel [9]:

$$H_u = H_a - 24,42 \cdot (8,94 \cdot H + W) \quad (1)$$

H_u fűtőérték [J/g]
 24,42 1% nedvességnek megfelelő korrekciós tényező 25°C mérési hőmérsékleten
 H_a égéshő [J/g]
 H az elemzési minta hidrogéntartalma [m/m %]
 8,94 a hidrogén átszámítási tényezője vízre
 W az elemzési minta nedvességtartalma [m/m %]

4. táblázat:

Az alapanyag és a pörkölt szalma hidrogén és nedvességtartalma

	Hidrogén-tartalom [m/m%]	Nedvesség-tartalom [m/m%]
Búzaszalma	5,69	8,12
Pörkölt búzaszalma	4,33	3,46

A fűtőérték meghatározása ismeretében összehasonlíthatjuk a kezdeti és pörkölés utáni állapotot (5. táblázat).

5. Táblázat:

Az alapanyag és a kezelt szalma fűtőértéke

	Égésmegleg [MJ/kg]	Fűtőérték [MJ/kg]
Búzaszalma	15,74	14,30
Pörkölt búzaszalma	18,86	17,83

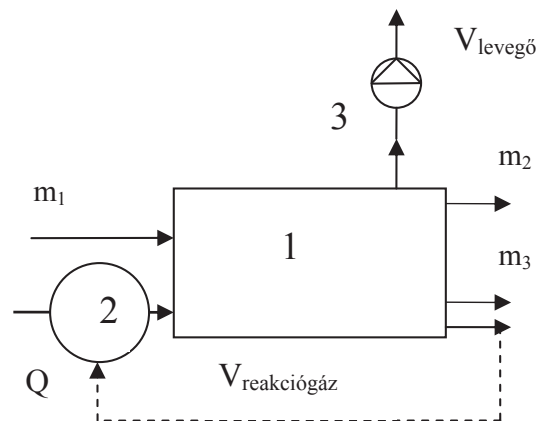
Megállapítottuk, hogy az alkalmazott technológiával a mezőgazdasági hulladékok, illetve a búzaszalma fűtőértéke biztosan növelhető.

Megállapíthatjuk, hogy 24% fűtőérték növekedést okoz a hőkezelés:

$$\frac{17,83}{14,30} \cdot 100 = 124\% \quad (1)$$

Ez a kísérlet csak a vákuumos technológia alkalmazhatóságát próbálta bizonyítani.

Jelölés	Megnevezés
1	Kemencebetét
2	Hőközlő berendezés
3	Vákuumszivattyú
Q	Szükséges hőmennyiség
m_1	Alapanyag mennyiség
m_2	Végtermék mennyiség
$V_{\text{levegő}}$	Az elszívott levegő mennyisége
$V_{\text{reakciógáz}}$	A keletkezett reakciógáz
m_3	Kondenzálódott és visszamaradt folyékony anyag tömege



5. ábra: A tervezett technológia elvi-folyamatábrája

Mivel a vákuumindukciós kemencét csak erre a kísérletre használhattuk, szükség lesz egy olyan eszközre, mely segítségével, a várhatóan nagyszámú kísérletsorozatot elvégezhetünk. A berendezés két részből áll: egy vákuumozható kemence betétből és egy fűtőfelületből áll. A kemence szintén a Metallurgiai és Öntészeti Intézet egyik berendezése, ehhez kellett egy hengeres kemencebetétet gyártani a megfelelő csonkozással. Mivel vákuumos technológiáról van szó, fontos, hogy a kemencebetét negatív nyomásra legyen méretezve. Fontos továbbá, hogy az edény anyaga 300 °C-on is kellően szilárd legyen csökkent folyáshatár mellett is [10]. Az kemencebetét anyag végül P265GH lett, ennek az anyagnak a folyáshatára 300 °C-on is megfelel az

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Bizonyítottuk, hogy a vákuumos technológiával a búzaszalma fűtőértéke növelhető, de ahhoz, hogy megfelelő következtetést tudjunk levonni a technológiáról, több tényezőt is figyelembe kell még venni. Ugyan önmagában a fűtőérték növekedése ígéretesnek tűnik, de, ahogy a cikk elején említettük, a kezelt mezőgazdasági hulladék tömege csökken, mert illó gázok és víz távoznak. A tömegcsökkenés

nagyságának, illetve a távozó gázok összetételének vizsgálata a pörkölési idő és a hőmérséklet függvényében további elemzést igényel. Optimalizálásuk után meghatározható a kezeléshez minimálisan szükséges energia bevitel nagysága is és vizsgálható, milyen arányban és milyen módon lehet ehhez felhasználni a pörkölés során keletkezett gázokat.

Előzetesen úgy gondoljuk, hogy a reakció paraméterei (hőmérséklet, tartózkodási idő) és a végbemenetele (a végtermék minősége) függ a sejtfalet alkotók arányától, ezért tervezzük különböző típusú anyagok (venyige, törek, stb.) esetében is vizsgálatok elvégzését.

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú *Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program* című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

"A kutató munka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Alkalmazott Anyagtudomány és Nanotechnológia Kiválósági Központ keretében valósult meg."

„A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0008 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

9. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] SZAMOSI Z., LAKATOS K.: Is the agripellet renewable or not?, Acta Metallurgica Slovaca Conference, Vol. 2. 2011, No. 1., pp. 207-212., Kosice, Slovakia, ISSN-1338-1660
- [2] P. C. A. BERGMAN: Combined torrefaction and pelletisation, The TOP process, The Netherlands, 2005
- [3] ISEMIN R., KUZMIN S., KONYAKHIN V., MILOVANOV O., MIKHALEV A.: Development and testing of a pilot reactor for low-temperature pyrolysis (torrefaction) of straw pellets, European Pellet Conference, Wels, Austria 2013.
- [4] SZAMOSI Z., SIMÉNFALVI Z.: Mezőgazdasági hulladékok pörkölésére alkalmas berendezések és üzemi paraméterei, GÉP Folyóirat, 2013. 01.SZAMOSI Z.: The torrefaction, GÉP LXIII. évfolyam, 2012. 10. szám pp. 45-48.
- [5] SZAMOSI Z.: The torrefaction, GÉP LXIII. évfolyam, 2012. 10. szám pp. 45-48.
- [6] TAMÁS F.: Szilikátipari laboratóriumi vizsgálatok, Műszaki Könyvkiadó, 1970, pp. 296-302.
- [7] FERENCZI T., HARCSIK B., SÁRVÁRI I.: A ME Metallurgiai és Öntészeti Intézet vákuumindukciós kemencéjé-nek korszerűsítő felújítása, BKL Bányászati és Kohászati Lapok, 2013. megjelenés alatt
- [8] FÁY Á.: Hősugárzás, Miskolci Egyetemi Kiadó, 1996.
- [9] MSZ 24000-5 szabvány a Szenek laboratóriumi vizsgálatáról. Az égéshő meghatározása és a fűtőérték kiszámítása, 2. kiadás, 2003. szeptember
- [10] ANTAL B. J.: Szilikát- és vegyipari kemencék III. Tankönyvkiadó Budapest, 1971.