



AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

**TELEPÜLÉSI HULLADÉKOK SZILÁRD PIROLÍZIS TERMÉKÉNEK
ENERGETIKAI HASZNOSÍTÁSA**

The Energy Utilization of Solid Product From Municipal Waste's Pyrolysis

KERESZTESI GÁBOR – KARÁCSONY ZOLTÁN – NAGY PÉTER TAMÁS

Összefoglalás

A téma jelentőségét az adja, hogy a brikettel való fűtés egyre népszerűbb. Néhány településen mezőgazdasági melléktermékekből, papírhulladékból is készítenek brikettet egyszerű eszközökkel. Kutatásaink során relatív jó fűtőértékű, de magas hamutartalmú melléktermékek képződtek. Ezek felhasználására célszerű volt megoldást találni. Megoldásként annak lehetőségét vizsgáltuk, hogy a keletkezett ipari mellékterméket lakossági és/vagy mezőgazdasági hulladékkal keverve, egyszerű módszerrel brikettáljuk. Majd a különböző keverési arányú briketteket fizikai, kémiai és tüzeléstechnikai szempontok alapján jellemezzük. Eljárást dolgoztunk ki biomasszával kevert pirolízis koks alapú fűtőtégla (brikett) előállítására.

Laboratóriumi vizsgálatokkal meghatároztuk a kapott biomassza-koks brikettek legfontosabb tüzeléstechnikai és környezetvédelmi szempontból releváns mutatóit. A kapott adatok alapján megállapítható, hogy az általunk kialakított biomassza-koks alapú brikettek a legegyszerűbb felépítésű vegyes tüzelésű kazánokban is jól hasznosíthatók.

Kulcsszavak: ipari melléktermék, faipari melléktermék, brikettálás, több komponensű brikett,

Abstract

The significance of the topic comes from the increasing popularity of heating with briquette. In some town, briquette is made of agricultural byproduct, scrap paper. In the course of our researches byproducts were formed with relative calorific value, but with high ash-content. It was expedient to find a solution for the utilization of these products. We have examined the possibility to make briquette from the issued industrial byproduct mixed with residential and/or agricultural waste (in a simple way). We typified the different mixtures of briquette by physical, chemical and firing aspects. We have worked out a process for producing coke based briquette.

With laboratory tests we have determined the relevant indicators of the biomass-coke briquette from the point of firing and environmental protection. Based on our data the created biomass-coke briquette can be utilized even in the most simple furnaces.

Keywords: industrial byproduct, timber-industrial byproduct, make to briquette, briquette with more component

Jel Kód: Q42

Bevezetés

Napjainkban a világ népességének folyamatos növekedése és az általuk generált növekvő energiaigény kielégítése egyre nagyobb problémát okoz. Jelenleg a fennálló energia szükségletek kielégítése elsődlegesen a fosszilis energiahordozók felhasználása által történik, azonban a jelenleg gazdaságosan kitermelhető készletek hosszú távon nem képesek kielégíteni a folyamatosan növekvő igényeket. [FODOR 2013]

Hazánkban a megújuló energiaforrások részesedése az energiatermelésben a 2012-es évben 9,6% volt, azonban az Európai Unió kötelezettségeinek megfelelően ezt az arányt 2020-ra kötelező jelleggel 13%-ra kell növelni, ami még így is jelentősen elmarad az előírányzott 20%-os részaránytól. [MNECST 2011]

Magyarország elsődleges potenciálja a megújuló energiaforrások tekintetében főként a biomasszában rejlik, legfőképpen a mezőgazdasági, erdészeti/faipari melléktermékek felhasználásában. A biomassza energetikai hasznosításának szemszögéből egyre nagyobb hangsúlyt kapnak az energetikai tömörítvények, ennek oka, hogy a gazdaságilag hatékony felhasználást nagyban befolyásolják az alábbi tényezők [LUKÁCS 2010]:

- tárolási helyigény,
- szállítási és rakodási feltételek,
- fajlagos energiasűrűség,
- nedvességtartalom.

A biomassza felhasználás egyik lehetősége a brikettálás, amely lehetővé teszi ipari vagy akár önkormányzati/lakossági szinten is a fás és lágyszárú hulladékok komfortos és szabályozott energetikai hasznosítását. Előnye, hogy technológiai szempontból egyszerű, illetve a felhasználható alapanyagok köre igen nagy. Hátránya, hogy a felhasznált alapanyagok előkészítése sok esetben energiaigényes, illetve maga a brikettálás folyamata is energia befektetést igényel.

A biomassza, brikettálás általi hasznosításának aktualitását az is alátámasztja, hogy a lakossági fűtőanyaggyártás egyre elterjedtebb (erre utalnak az önkormányzatok által benyújtott pályázatok brikettáló berendezések vásárlására), a háztartásokban megtalálható biomassza alapanyagok, illetve a brikett elkészítéséhez szükséges házi brikettáló gépek is egyre jobban elterjedtek. Ennek okai, a fűtőanyagok magas ára, illetve a környezettudatos szemléletmód folyamatos kialakulása.

Mindezek ellenére sajnos hazánkban a hulladékként keletkező anyagok (biomassza, települési hulladékok, ipari hulladékok) további, például energetikai célú felhasználása még mindig gyermekcipőben jár, annak ellenére, hogy több tanulmány kifejezetten preferálja az ilyen irányú előrelépést. A különböző ipari zöldhulladékok energetikai hasznosítása még nem számottevő, azonban a korszerű tüzeléstechnikai eszközöknek köszönhetően a lehetőség adott az elterjedésükre. Az ipari melléktermékek, mint pirolitikus hulladékhasznosítás melléktermékeként keletkező pirolízis kokszt felhasználására vannak lehetőségek, azonban energetikai célú hasznosítása (pl: brikettálás) nem jellemző [POWELL 1996; PORTEOUS 2001; YAMAN 2004; HELLWEG et al., 2005; BUAH et al., 2007].

Természetesen a fejlesztéseket visszaveti az energetikai célú folyamatok során képződő káros anyagok kezelésének nehézségei illetve a hulladékok szelektív gyűjtésének és szállításának költségei [WILLIAMS 2005; NAGANO et al., 2000]. Az utóbbi bő egy évtizedben ennek ellenére határozottan megnövekedett az igény a hulladékként keletkező biomassza illetve települési szilárd hulladékok (főképp műanyag alapú) hasznosíthatóságára [BRIDGWATER et al., 1999; SORUM et al., 2001; HEIKKINEN et al. 2004]. Ennek következményeként az utóbbi évtizedekben egyre gyakrabban lehet találkozni olyan fűtőtechnikai megoldással, hogy alapanyagként a nagy mennyiségben keletkező papír alapú hulladékot biomassza eredetű hulladékkal (fűrészpor, darált nyesedék, szármagadvány stb.) vagy az égéshőt emelő komponenssel (szénpor, lignitőrlemény stb.) keverik, préselik [YAMAN 2004] és alternatív tüzelőanyagként (fűtőtégla) értékesítik esetleg szociális alapú juttatásként biztosítják a rászorulóknak számára.

Ezen elképzelés mentén a települési hulladékokból pirolízis termékként képződő pirolízis kokszt (elszenesedett, magas széntartalmú szilárd maradék) hasznosíthatóságát vizsgáltuk, amit az is indokol, hogy ennek a komponensnek a fűtőértéke nagy, hőbomlása pedig a biomassza eredetű anyagokéval azonos hőmérséklet tartományban van [COZZANI et al., 1995; SORUM et al., 2001; HEIKKINEN et al. 2004].

Anyag és módszer

A vizsgálatok elsődleges célja a különböző keverék arányú brikettek előállítása egyszerű gépi keverési és kézi préselési eljárással, majd az így előállított fűtőanyag tüzeléstechnikai szempontból fontosabb paramétereinek meghatározása volt.

Az eljárás kialakítása során elsődleges szempontként jelent meg, a brikettálás folyamatának a lehető legegyszerűbb kivitelezése, illetve hogy olyan növények is felhasználásra kerüljenek, amelyek nagy mennyiségű biomasszát képeznek, azonban energetikai célú hasznosításuk eddig nem elterjedt.

A cél tehát egy olyan brikettálási eljárás kifejlesztése és vizsgálata, amely egyszerűségéből, felhasznált alapanyagaiból és produktivitásából adódóan a lakosság számára házi fűtőanyag gyártás szempontjából alternatívaként jelenhet meg. Mindezek mellett pedig olyan ipari mellékterméket is tartalmazhat negatív következmény nélkül, amely hasznosítása napjainkban nem teljesen megoldott.

Brikettálás során felhasznált anyagok

Az alábbi alapanyagok kerültek felhasználásra a brikettálás során:

- 0,2 és 5 mm közötti vegyes szemcseméretű nyárfa illetve fenyőfa fűrészpor,
- 0,4 mm alatti szemcseméretű pirolízis kokszt,
- 5 mm alatti szemcseméretű papírdarálék (irodai vegyes papírhulladék),
- 5 mm alatti szemcseátmérőjű csicsóka szár darálék,
- liszt (csak kötőanyagként, kis mennyiségben alkalmaztuk),
- cellulózipari melléktermék (kötőanyagként alkalmazva).

A brikettek elkészítéséhez felhasznált pirolízis kokszt alapanyaga vegyes települési szilárd hulladék volt, amely pirolízisen esett át. A felhasznált hulladék az eljárás előtt válogatásra és dobostálásra került, ezzel is csökkentve a hulladék inert anyag tartalmát.

Brikettálás folyamatának általános metodikája

500 g szárazanyag tartalmú alapanyagot, 2 liter „áztató” vízbe való bekeverése után (amely visszaforgatható a folyamatba), kézi, kis teljesítményű présformába helyeztük, majd rövid préselési időt alkalmazva (10 perc) a formából kivettük.

Szobahőmérsékleten súlyállandóságig szárítottuk. A termék egy 4-7 cm magas (tömörödéstől függően) és 20-21 cm széles torta formájú brikettet eredményezett. A préselésnek köszönhetően a 2 liter áztató vízből átlagosan 1,7 liter víz visszanyerhető volt.

Az alapanyagok bekeverésére egy 10 literes műanyag vödör került felhasználásra, amelybe az alapanyagok bemérése mellett szakaszosan került beadagolásra a 2 liter áztató víz. Amikor valamennyi összetevő és áztató víz bemérésre került, kezdetét vette a 2 perces kézi keverés.

A brikettek elkészítése során használt kézi, tárcsás présgép által 70 kg/cm²-es préselési nyomást alkalmaztunk. Ezzel szemben egy ipari présgép 800 kg/cm² nagyságú nyomást meghaladó préselési erőt kifejtve készíti a briketteket. Az általunk használt kézi présgép előnye, hogy jelentősen kisebb energia befektetést igényel, azonban jelentősen rosszabb a produktivitása az ipari brikettáló berendezésekhez képest.

A brikettálás módszere ipari gyakorlatba teljes mértékben átültethető, azonban a felhasználni kívánt biomassza mennyiség szállítása és a nagy teljesítményű brikettáló berendezés jelentősen rontja az eljárás gazdaságossági mutatóját.

A különböző arányú anyagkeverékek alkalmazásánál az alábbi fő szempontokat vettük figyelembe:

- Másodnyersanyagként nem használható anyagot minél nagyobb arányban tartalmazzon. (pl.: pirolízis kokszt)
- Kötőanyagot lehető legkisebb arányban kelljen alkalmazni. (kötőanyag hiányában a kettőnél több komponenst tartalmazó brikettek szétesésének valószínűsége nő)
- A gyártáshoz a nagy tömegű biomassza könnyen elérhető legyen.
- A különböző keverékek egyszerű kivitelezés mellett is hatékonyan elkészíthetők legyenek.

Ezen szempontok alapján kiválasztásra került a fűrészpor, kokszt, papír, csicsóka darálék. A brikettálás során kettő, három és négykomponensű terméket is készítettünk, utóbbinál figyelembe véve azt is, hogy a fűrészpor aránya a lehető legkevesebb legyen. (lágyszárú arányának növelése)

Elkészítésre került brikettek anyagösszetétele

Az alábbi táblázatban feltüntetett keverékarányokat készítettük el, és jellemeztük. A keverékarányok kiválasztásánál fontos nézőpontot jelentett, hogy az egyes arányok között lépcsőzetesség legyen megfigyelhető, ezzel is elősegítve a legideálisabb arányösszetétel kiválasztását (1. táblázat).

1. táblázat: Különböző brikettek alapanyag összetételének megoszlása

Minta	Fűrészpor (%)	Kokszt (%)	Papír (%)	Csicsóka (%)	Liszt (%)	Cellulózipari melléktermék (%)
1. NY	95	5	-	-	-	-
2. NY	90	10	-	-	-	-
3. NY	85	15	-	-	-	-
4. NY	80	20	-	-	-	-
5. NY	75	25	-	-	-	-
6. NY	70	20	10	-	-	-
7. NY	60	25	15	-	-	-
8. NY	40	20	40	-	-	-
9. NY	35	30	35	-	-	-
10. NY	36	18	-	36	10	-
11. NY	40	20	6	30	4	-
12. NY	20	30	-	47	3	-
13. NY	35	30	-	35	-	-
14. NY	40	25	5	30	-	-
15. NY	40	20	10	30	-	-
16. NY	40	20	-	30	-	10
17. F	40	20	10	30	-	-
18. NY	45	30	25	-	-	-

(NY: Nyárfa fűrészpor, F: Fenyő fűrészpor)

(Forrás: Saját szerkesztés)

A különböző összetételű brikettek azonos eljárással készültek, törekedve az elkészült termékek kivitelezhetőségi vizsgálatának megkönnyítésére. (1. ábra)



1. ábra: Fűrészpor-kokszt brikett

(Forrás: Saját szerkesztés)

Elvégzett vizsgálatok

A vizsgálatokat módszer szerint két részre bonthatjuk, fizikai és kémiai paraméterek ellenőrzésére. A fizikai paraméterek közül kiemelkedik a brikett térfogat tömeg vizsgálata, amely tapasztalataink szerint a legtöbb esetben összefüggésbe hozható a brikett szilárdságával.

Az elkészített brikettek az alábbi szempontok szerint kerültek vizsgálatra:

- térfogat tömeg (egyszerű méréssel, tömeg és térfogat mérése alapján);
- vizuális vizsgálat (repedezettség, kopásállóság);
- áztató víz szárazanyagtartalmának vizsgálata;
- szárazanyag-tartalom vizsgálat;
- a szárazanyag vizsgálat szárítószekrényben történt, 105°C-on, súlyállandóságig szárítva;
- hevítési vizsgálatok;
- A fűtőtéglából megközelítőleg 0,5-0,5 g-ot analitikai mérlegen kimértünk, majd izzító tégelybe helyeztük és 100°C-onként 600°C-ig emelve a hőmérsékletet elektromos fűtésű kemencében hő programnak vetettük alá. A felfűtés sebessége 2 °C/perc volt, míg a hőtartási periódus 60 perc.
- C-,N-,S-elemzés;
- A fűtőtéglából 5-5 g mennyiséget vettünk ki majd homogenizálás után közvetlenül kimértük belőlük mintegy 250 mg-ot nagy pontosságú analitikai mérlegen a szén-, nitrogén- és kén-tartalom meghatározására. A meghatározást közvetlenül szilárd mintabemérésből égetéssel elven működő Vario Max Cube CNS analizátorral végeztük el.
- fűtőérték meghatározás;
- A fűtőtéglából kivett minták fűtőértékét CAL2K E2K típusú száraz köpenyes izotermikus bomba kaloriméterrel határoztuk meg, mely megfelel az érvényben lévő nemzetközi szabványelírásoknak (ASTM D5865-04).
- A kaloriméter a mért értéket MJ/Kg értékben határozza meg. A mérések értékeit három párhuzamos eredmény átlagolásával adtuk meg.
- toxikus fémtartalom vizsgálat.
- (MARS 6 típusú mikrohullámú roncsolóban történő feltárás (salétromsav/hidrogén-peroxid 1:3 elegyben), Perkin Elmer 800-as típusú F-AAS készülékkel acetilén-levegő lángban.)

Eredmények

Fizikai paraméter vizsgálatok eredményei

Először a brikettek fizikai és vizuális paraméterek mérése illetve vizsgálata történt, a kapott adatok az alábbi táblázatban találhatóak (2. táblázat):

2. táblázat: Brikettek térfogat/tömeg és vizuális vizsgálata

Minta	Térfogat tömeg (g/cm ³)	Vizuális vizsgálat (szubjektív skála)
		Megjegyzés
1. NY	1,45	Erősen repedezett
2. NY	1,52	Repedezett
3. NY	1,47	Repedezett
4. NY	1,51	Jó
5. NY	1,36	Repedezett
6. NY	1,24	Jó
7. NY	1,50	Jó
8. NY	1,46	Jó
9. NY	1,38	Jó
10. NY	1,62	Jó
11. NY	1,67	Minimális repedezettség
12. NY	1,24	Repedezett
13. NY	1,26	Repedezett
14. NY	1,54	Jó
15. NY	1,34	Jó
16. NY	1,47	Jó
17. F	1,53	Jó
18. NY	1,31	Jó

(Forrás: Saját szerkesztés) (F: Fenyő fűrészpor, Ny: Nyárfa fűrészpor)

Az elkészített brikettek többsége jónak mondható, azonban ezen megállapítás nem általánosítható mindre. A vizuális és térfogat tömeg eredmények között erőteljes összefüggés tapasztalható. (2. táblázat)

A brikettálás során használt áztató víz által kimosott szárazanyag mennyisége is vizsgálatra került, tömegméréssel. A kapott adatok alapján megállapítható, hogy az áztató víz által történő kimosódás a bevitt koksztól képest 1% alatti (jelentősebb koksztól kimosódásra számítottunk).

Repedezettség tapasztalható azokban az esetekben ahol:

- a brikett csak két komponensből áll (fűrészpor és kokszt), illetve a fűrészpor aránya 75% vagy az feletti;
- a 3 vagy 4 komponensű brikett csicsóka szár aránya 30% vagy azt meghaladó.

A fent említett csicsóka komponens tartalmú brikettek térfogattömege alacsony, ami okozhatja a repedezettséget, mivel a csicsóka nem viselkedik kötőanyagként nagyobb részarány esetén a brikettben, sőt szálak struktúrájából adódóan repeszteti azt. A magas fűrészport tartalmazó brikettek esetében is a fent említett jelenség tapasztalható. Az alkalmazott technika mellett nem képes kellően tömörödni, illetve a száradás szakaszában, ahogy veszt nedvességtartalmából, jelentősen csökken a brikettben betöltött összetartó képessége.

Szárazanyagra és hamutartalomra vonatkozó vizsgálatok eredményei

A szárazanyagra és hamutartalomra vonatkozó vizsgálatok során a következő adatokat kaptuk (3. táblázat; 2. ábra):

3. táblázat: Brikettek szárazanyag és hamutartalom (I%) vizsgálata

Minta	Szárazanyag %	I% 300°C	I% 400°C	I% 500°C	I% 600°C
1. NY	97,26	14,17	5,27	4,68	4,31
2. NY	96,63	13,35	7,65	7,46	7,03
3. NY	96,11	20,87	12,98	11,44	11,05
4. NY	97,79	19,09	13,19	12,56	12,21
5. NY	99,79	21,03	15,26	13,84	13,44
6. NY	98,61	20,81	13,33	12,54	11,73
7. NY	98,12	31,16	25,93	24,18	16,92
8. NY	98,31	24,03	19,18	17,37	14,29
9. NY	98,81	32,86	25,89	23,55	16,23
10. NY	86,50	16,83	11,78	10,73	10,32
11. NY	93,34	24,87	17,61	16,55	15,91
12. NY	99,90	25,83	20,01	19,22	14,53
13. NY	99,90	23,83	17,58	16,36	15,84
14. NY	91,48	27,68	18,70	17,77	15,15
15. NY	94,20	18,20	12,24	11,56	11,05
16. NY	99,64	23,58	15,96	15,60	12,05
17. F	87,40	20,27	14,69	12,93	12,01
18. NY	98,11	35,45	24,02	22,77	16,69
Nyárfa fűrészpor	98,88	13,98	5,24	4,52	4,27
Fenyő fűrészpor	95,22	15,12	6,23	5,02	4,67

(Forrás: Saját szerkesztés)



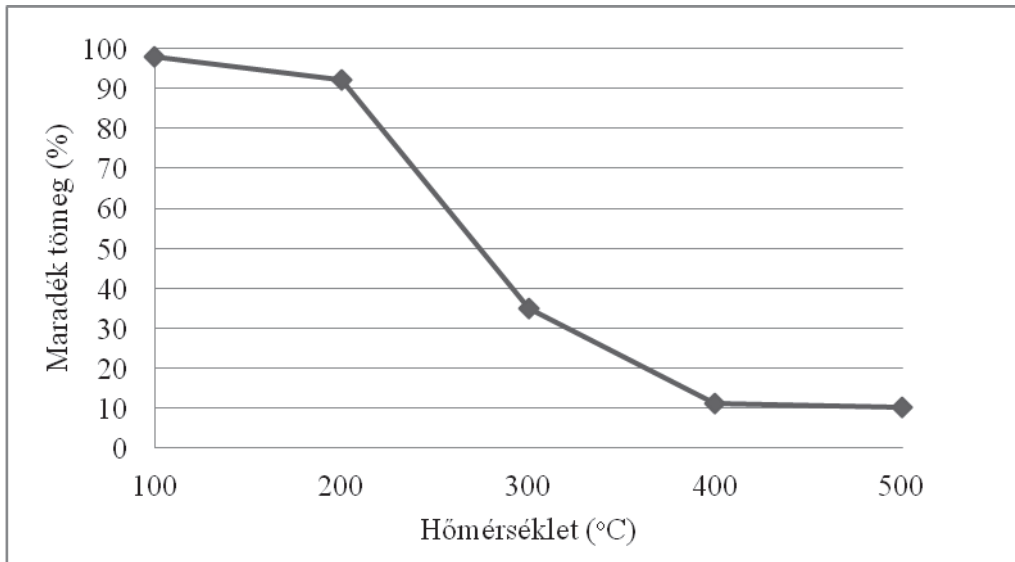
2. ábra: Szárazanyag és hamutartalom vizsgálat

(Forrás: Saját szerkesztés)

A légszáraz brikettek szárazanyag tartalma meghaladta 87% feletti értéket. Ez igazolja, hogy az elkészítés során alkalmazott eljárás és a természetes szárítás hatékonyan alkalmazható a receptúrákban. Magasabb arányú vízmegkötés csak a fenyő fűrészpor alkalmazása esetén figyelhető meg (12,6%).

Mérési eredményeink rámutatnak, hogy a brikettek tömegvesztése 200 °C felett válik igazán jelentőssé és a tömegvesztés döntően a 200-400 °C hőmérséklettartományban történik (3. ábra). 400 °C felett érdemi tömegvesztés nem jelentkezett. Adataink összhangban vannak korábbi vizsgálati eredményekkel, melyek termo-gravimetrikus (DTG)

vizsgálatok alapján megállapították, hogy a biomassza és műanyag alapú anyagok égetése során elsősorban a 250-400 °C közötti hőmérséklettartományban lépnek fel tömegvesztési folyamatok [GAUR et al. 1998; SORUM et al. 2001; HEIKKINEN et al. 2004]. A DTG görbék csúcserőértéke 370-380 °C körülnek adódott [HEIKKINEN et al. 2004].



3. ábra: Biomassza-pirolízis kokszt brikett általános tömegvesztési görbéje (Forrás: NAGY et al., 2015)

Hamutartalom tekintetében három komponens befolyásoló szerepe figyelhető meg: kocsz, csicsóka szár és papír tartalom. A kapott értékek alapján tehát megállapítható, hogy azok a brikettek ahol magas a kocsz, csicsóka szár, vagy papír komponensek aránya, ott a felsorolt összetevők magas hamutartalmat eredményeznek.

Fűtőérték meghatározás eredményei

A fűtőérték vizsgálatok (4. ábra) során a homogenizált mintákkal elvégzett 3 párhuzamos mérés alapján a következőképpen alakult az egyes brikettek fűtőérték vizsgálata (4. táblázat):



4. ábra: CAL2K E2K típusú száraz köpenyes izotermikus bomba kaloriméter (Forrás: Saját szerkesztés)

4. táblázat: Brikettek fűtőérték vizsgálata (MJ/kg)

Minta	MJ/kg
1. NY	16,73
2. NY	16,27
3. NY	15,69
4. NY	14,72
5. NY	16,51
6. NY	16,90
7. NY	14,25
8. NY	15,24
9. NY	13,66
10. NY	13,32
11. NY	15,06
12. NY	12,50
13. NY	13,90
14. NY	13,28
15. NY	14,04
16. NY	15,66
17. F	14,14
18. NY	14,09
Csicsóka szár	14,90
Barnaszén	17,00
Lignit	12,57
Faapríték	13,00
Földgáz (m ³) (FGSZ,2013)	36,00
Papír	14,00
Pirolízis koksz	13,22

(Forrás: Saját szerkesztés)

A kapott adatokat elemezve megállapítható, hogy az előállított brikettek fűtőértéke 12,5 és 16,73 MJ/kg között változott. Összehasonlításképpen a legkisebb értéket produkáló brikett fűtőértéke is elérte a lignit általunk mért fűtőértékét. A kapott legkisebb értéket valószínűleg nagyban befolyásolta az adott brikett magas koksz tartalma. Ennek oka, a pirolízis koksz nagyobb ásványi anyag tartalma a többi felhasználásra került komponenshez képest. A legjobb brikettek eredményei közel azonosak voltak a barnaszén általunk mért fűtőértékével, ami mindenképpen figyelemre méltónak tekinthető.

Azonos keverési arányok esetében a kötőanyagként alkalmazott cellulóz ipari melléktermék fűtőértéke 1,5 MJ/kg-al magasabb, mint papír vagy liszt kötőanyag esetében.

Érdeemes megjegyezni, hogy 1m³ földgázt 2,13 illetve 2,88 kg brikettel helyettesíthetünk legjobb és legrosszabb esetben.

Egy átlagos 70 m²-es családi ház, amely 20 KW teljesítményű kazánnal van felszerelve, 1650 m³ földgázt éget el, ezzel átlagosan 59400 MJ energiát megtermelve. Amennyiben ezt az energiát briketből állítjuk elő, abban az esetben 3960 kg (~4 tonna, átlagos térfogattömeget figyelembe véve 3 m³ mennyiséget jelent) tüzelőanyagra lenne szükségünk. Egy 100m²-es lakás esetében ez a mennyiség ~5,7 tonna, amely térfogat tekintetében 4,3 m³-t jelent. Ezen mennyiség a szigetelés javítása által tovább csökkenthető, illetve egyéb alternatív energiaforrás (napelem, napkollektor) rendszerek beiktatása tovább csökkentheti ezt a mennyiséget.

Az eddig elvégzett vizsgálatok eredményét figyelembe véve 6 féle kedvezőtlen paraméterűnek ítélt brikettet nem vizsgáltunk a továbbiakban.

Brikettek elemanalízisének eredményei

A toxikus fémtartalom a képződő hamu elhelyezése szempontjából kulcsfontosságú. Mivel a pirolízis során felhasznált műanyag hulladékok tartalmazhatnak toxikus fémeket, amelyek a folyamat végén a pirolízis koksiban akkumulálódhatnak. A mért adatok között nem található kiugróan nagy érték. Azokban a mintákban, amelyeknél nagyobb különbség volt tapasztalható, feltehetően a pirolízis koks magasabb fémtartalma jelent meg. Mivel a pirolízálás során felhasznált alapanyagok nem homogének, ezért a koksoként visszamaradó melléktermék is változó paraméterekkel bír (5. táblázat).

5. táblázat: Brikettek elemanalízise

Minta	Toxikus fémtartalom					N/C/S tartalom (m/m%)		
	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	N	C	S
4. NY	312	249	43,5	1,14	25,4	0,224	46,671	0,126
5. NY	189	518	33,2	1,2	9,3	0,258	46,63	0,151
6. NY	264	190	24,4	0,89	30,1	0,329	46,08	0,151
7. NY	192	452	38,1	1,28	27,8	0,347	41,902	0,287
8. NY	235	169	23,5	0,84	<	0,372	42,091	0,25
9. NY	308	362	42,5	1,71	7,71	0,429	40,009	0,202
10. NY	216	214	27,8	<	12,8	0,526	41,266	0,172
11. NY	220	357	39,1	0,45	14	0,444	41,784	0,221
14. NY	208	441	43,2	0,25	16,4	0,373	40,327	0,199
15. NY	185	139	42,5	<	15,4	0,347	42,77	0,146
16. NY	236	179	32	<	13,4	0,291	46,664	0,186
17. F	277	186	31,4	<	19	0,346	40,398	0,166
Nyárfa fűrészpor	50,9	5,17	2	0,53	0,7	0,131	46,712	0,041
Csicsóka	27,3	7,01	2,1	0,09	<	0,428	44,974	0,082
Papír h.	41,7	10,7	7,05	1,36	<	0,311	38,112	0,287
P. koks	312	391	40,8	<2	22,2	0,557	39,773	0,239
Barnaszén	34,9	16	24,7	0,2	0,07	0,312	52,1	0,48

(Forrás: Saját szerkesztés)

A N,C,S vizsgálatok (5. ábra) eredményeiből megállapítható, hogy az elkészített brikettek 40-46 m/m% közötti széntartalommal rendelkeznek, ennek oka a fűrészpor nagyobb aránya. A kén és nitrogén értékek között jelentős különbség nem tapasztalható. A magasabb nitrogén arányok feltételezhető oka a növekvő csicsóka szár részaránya. A csicsóka mint biomassa az alapanyagok közül a legnagyobb nitrogén tartalommal bír és a felvett tápanyag egy részét vegetatív részeiben raktározza.

Toxikus fémtartalom tekintetében az alapanyagokból és a kész brikettekből mért adatok sem mutattak ki veszélyt jelentően magas fémtartalmat. Az egyes mintákban mért értékek szórásának oka a minták heterogenitása (az egyes pirolízis koksok különböző összetételű települési szilárd hulladékok kezeléséből keletkeztek), illetve a mintavétel problémája, amit az eltérő hatásfokú keveredés eredményezett.



5. ábra: Max Cube CNS analízátor

(Forrás: Saját szerkesztés)

Következtetések

Az elkészített több komponensű brikettek fizikai és kémiai vizsgálata során több összefüggés is megállapítható:

A brikettek készítése során tapasztalható koksztartalom kimosódása 1% alatti volt.

A fizikai paraméterek tekintetében jelentős befolyásoló szerepe van a felhasznált alapanyagok vízfelvevő és víztartó képességének, illetve szerkezetüknek. Megállapítható, hogy 75% feletti fűrészpor, illetve a 30% feletti csicsóka szár tartalmú brikettek az általunk alkalmazott egyszerű préseléses előállítási módon nem adtak kezelhető terméket.

A vizsgált légszáraz minták szárazanyag tartalma minden esetben 87% feletti volt. Azonban néhány mintánál közelítette a 99%-ot ami a préselés és szárítás hatékonyságára utal.

A mért hamu vizsgálati eredményekből megállapítható, hogy a növekvő koksztartalom (>20%), csicsóka szár (>35%), papír (>10%) tartalmú minták hamutartalma növekvő tendenciát mutat a részarányok növekedésével. Ennek elkerülése érdekében érdemes ezen komponensek arányát a fenti értékek alatt alkalmazni.

A mért brikett fűtőértékek tekintetében 12,5 és 16,73 MJ/kg közötti eredmények tapasztalhatóak. Összehasonlításképpen kiderült, hogy a legrosszabb értéket produkáló brikett fűtőérték vizsgálata is elérte a lignit fűtőértékét, a legjobb eredmények pedig a barnaköszén eredményeivel egyenértékűek. A mért leggyengébb értéket valószínűleg nagyban befolyásolta az adott brikett magas koksztartalma (inhomogén).

A kötőanyagként használt papír, liszt, illetve cellulóz ipari melléktermékének összehasonlításából kiderül, hogy az utóbbi számottevően jobb fűtőértéket eredményez.

Megállapításra került, hogy egy átlagos családi ház energia igényét 4 tonna (3 m³) közepes minőségű brikett segítségével teljes mértékben ki lehet elégíteni, más energiahordozó bevonása nélkül.

Elemanalízis tekintetében kiugró eredmények nem kerültek lemérésre. A C,N,S mérések eredményei magas szén részarányt mutattak, aminek elsődleges oka a fűrészpor és csicsóka komponensek összetétele. Kén és nitrogén tekintetében kiugró értékek nem adódtak, az enyhén magasabb nitrogén részarány a csicsóka szár felhasználásával készült brikettekénél jelentkezett, ennek oka a növény nagyobb nitrogéntartalma.

Az összes vizsgálat tekintetében az általunk legjobbnak ítélt receptúra a következő: fűrészpor 40%, koksztartalom 20%, csicsóka 30%, cellulózipari melléktermék 10%.

Az összetevő kombináció előnyei:

- jó térfogat tömeg, 1,46 g/cm³,
- kis hamutartalom,
- nagy fűtőérték, 15,66 MJ/kg,
- alacsony toxikus elem tartalom,
- magas széntartalom, 46,66%,
- nem tartalmaz papírt.

Összességében tehát elmondható, hogy egy olyan technológia által, ami jelentős anyagi befektetést nem igényel, sikeresen folytatható brikettálás. A különböző részarányú komponenseket tartalmazó brikettek vizsgálata során kiderült, hogy: ipari és mezőgazdasági melléktermék sikeresen felhasználható az eljárásban.

Szakirodalmi kutatásunk során a csicsókaszár, mint lehetséges brikett alapanyag többször is említésre került, de konkrét megvalósításról irodalmi forrást nem találtunk [MAKAI 2009]. Brikettálási vizsgálatunk során bizonyításra került, hogy egyszerű préseles technológia alkalmazásával és az optimális részarányok betartásával felhasználható. Mivel nagy mennyiségű biomassza tömeggel rendelkezik, így a brikettálásban való felhasználása indokoltá válik.

Az ipari melléktermékek (pirolízis koks, cellulóz ipari melléktermék) mint tovább nem vagy csak nehezen hasznosítható anyagok brikettálás általi felhasználásának lehetősége is bizonyítást nyert, miszerint egyszerű feltételek és alacsony környezeti terhelés mellett sikeresen felhasználhatóak komponensként.

Optimális részarányok betartása mellett olyan termék készíthető el, amely fűtőértékét tekintve a lignitet meghaladja, a barnaköszent pedig megközelíti. A toxikus elemek és hamutartalom tekintetében nem jelent veszélyforrást, és ez mellett magas szén aránnyal rendelkezik. Elkészítése gyors és egyszerű, ezek mellett pedig tárolása és szárítása is egyszerűen megoldható.

Egy D energiasztályú 70m²-es lakás éves energiaszükséglete 3 m³ brikettel kielégíthető (passzív energiahatékonyság javításával illetve egyéb megújuló energiaforrások használata mellett ez az érték tovább csökkenthető). Illetve a legjobb kombináció esetében a brikett fűtőértéke megközelíti a barnaköszén fűtőértékét, viszont kéntartalma alacsonyabb hozzá képest (alacsonyabb környezeti terhelés).

Az általunk vizsgált egyszerű, több komponenst felhasználó brikettálás társadalmi előnyei sem elhanyagolhatóak, melyek a következők:

- munkahely teremtő képesség,
- nagyrészt a vidéki régiókban az alapanyagok helyben vagy igen közel fellelhetőek,
- hátrányos szociális helyzetben élő lakosság számára megoldást jelenthet fűtőanyag szükségletük kielégítésére,
- olcsó előállíthatóság.

Összefoglalva tehát az általunk vizsgált egyszerű préseles technológiát használó brikettálási eljárásban alapanyagként számos biomassza és ipari melléktermék felhasználható, környezeti terhelés szempontjából veszélyforrást nem jelentenek, illetve számos társadalmi előnnyel rendelkeznek.

Köszönetnyilvánítás

Kutatásainkat a GOP—1.1-1-11-2012-0058 számú „Hazai nyárfafajokra alapozott bioetanol gyártás kifejlesztése” című pályázat, illetve A cikk megjelenését A TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0010 számú – „Távérzékelési és zöldenergia témájú célzott komplex alapkutatási programok előkészítése, hálózatosodás és felkészülés nemzetközi programokban és kezdeményezésekben való részvételre” című projekt támogatta.

Készült a TÁMOP-4.2.2.D-15/1/KONV-2015-0010 projekt támogatásával.

Irodalomjegyzék

- BRIDGWATER, A.V. - D. MEIER - D. RADLEIN [1999]: An overview of fast pyrolysis of biomass. *Organic Geochemistry*, 30, p. 1479–1493.
- BUAH, W.K. - A.M. CUNLIFFE - P.T. WILLIAMS [2007]: Characterization of Products from the Pyrolysis of Municipal Solid Waste. *Process Safety and Environmental Protection* 85 (5), p. 450–457.
- COZZANI, V - L. PETARCA - L. TOGNOTTI [1995]: Devolatilization and pyrolysis of refuse derived fuels: characterization and kinetic modelling by a thermogravimetric and calorimetric approach. 74 (6), p. 903-912.
- FODOR B. [2013]: Kihívások és lehetőségek a hazai megújulóenergetikai-szektorban, *Vezetéstudomány folyóirat*, XLIV évf. 9. szám, p. 48-61
- FÖLDGÁZSZÁLLÍTÓ (FGSZ) Zrt. Éves Kiadvány [2013]: Éves jelentés 2013. p. 33.
- GAUR, S. - T.B. REED [1998]: *Thermal Data for Natural and Synthetic Fuels*, Dekker, New York, 1998, p. 56–99.
- HEIKKINEN, J.M. - J.C HORDIJK - W DE JONG - H SPLIETHOFF [2004]: Thermogravimetry as a tool to classify waste components to be used for energy generation. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* Vol. 71, Issue 2, p. 883–900.
- HELLWEG, S. - G. DOKA - G. FINNVEDEN - K. HUNGERBUHLER [2005]: Assessing the eco-efficiency of end-of-pipe technologies with the environmental cost efficiency indicator—a case study of solid waste management. *Journal of Industrial Ecology*, 9 (4) p. 189–203
- LUKÁCS G. S. [2010]: *Megújuló energiák könyve*, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 53-73.
- MAGYARORSZÁG II. NEMZETI ENERGIAHATÉKONYSÁGI CSELEKVÉSI TERVE (MNECsT, 2016-ig, kitekintéssel 2020-ra)
- MAKAI S. [2009]: Új lágyszárú energianövények a gyakorlatban, *Östermelő- Gazdálkodók lapja*, 2009/3.
- NAGANO, S. - H. TAMON - T. ADZUMI - K. NAKAGAWA - T. SUZUKI [2000]: Activated carbon from municipal waste. *Carbon*, 38. (6) p. 915
- NAGY, P.T. - GYÖNGYÖSI, B. - KECSKÉS, K. - ROZINAI, R. - KERESZTESI G. [2015]: Biomassza és települési szilárd hulladékok pirolízis kokszának keverésével előállított

brikett vizsgálata energia kinyerési célból. Journal of Central European Green Innovation 3 (2) pp. 113-122

PORTEOUS, A. [2001]: Energy from waste incineration – a state of the art emissions review with emphasis on public acceptability. Applied Energy, 70. p. 157–167

POWELL, J.C. [1996]: The evaluation of waste management options. Waste Management and Research, 14 (6) p. 515–526

SORUM, L. - M.G GRONLI, - J.E HUSTAD [2001]: Pyrolysis characteristics and kinetics of municipal solid wastes. Fuel, Vol. 80, Issue 9, p. 1217–1227.

WILLIAMSS, P. T. [2005] Waste Incineration, in Waste Treatment and Disposal, Second edition, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. doi: 10.1002/0470012668.ch5

YAMAN, S. [2004]: Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks. Energy Conversion and Management, 45 p. 651–671

Szerzők:

KERESZTESI Gábor

Fiatalkutató/kutatási asszisztens
Károly Róbert Főiskola
Oktató-kutató laboratórium
3200 Gyöngyös, Mátrai út 36.
keresztesig@karolyrobert.hu

KARÁCSONY Zoltán

PhD hallgató
Károly Róbert Főiskola
Szőlészeti és Borászati Kutatóintézet
3200 Gyöngyös, Mátrai út 36.
zkaracsony@szbki-eger.hu

Dr. Habil NAGY Péter Tamás

Egyetemi docens
Károly Róbert Főiskola
Oktató-kutató laboratórium
3200 Gyöngyös, Mátrai út 36.
nagypt@karolyrobert.hu

