

**NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM
KÖRNYEZETI ERŐFORRÁS-GAZDÁLKODÁSI ÉS VÉDELMI
KOOPERÁCIÓS KUTATÁSI KÖZPONT
ÖKOENERGETIKAI KUTATÁSI FŐIRÁNY**

**BIOMASSZA TÜZELŐANYAGOK TERMIKUS KEZELÉSÉNEK
LABORATÓRIUMI MODELLEZÉSE**

készítette:

TÓVÁRI PÉTER

PROF. DR. MAROSVÖLGYI BÉLA

SOPRON

2011.

Bevezetés

Visszatekintve Európa 60-70 éves múltjába megfigyelhető a technológiai fejlesztések és az iparosítás hatásaként olyan környezeti és gazdasági változások, melyek kiemelt aktualitást adnak napjaink energiagazdálkodási kérdéseinek. A fejlett országok gazdasági stabilitása és nem utolsósorban környezeti állapota tehát erősen függ az energiaellátás rendszerétől, ezért szükséges mind környezetvédelmi, mind gazdasági szempontból minél nagyobb mértékben kiváltani a fosszilis energiahordozókat megújuló energiaforrásból származó energiával.

A felsorolt szempontokat felismerve Nyugat-Európában már elindultak olyan fejlesztési munkák, melyek a specifikus anyagokat, melléktermékeket és hulladékokat magas hatásfokkal, alacsony környezetterheléssel ártalmatlanítják, hasznosítják. Az egyik ilyen fejlesztési irány a gázosítástechnológia, amely flexibilis, így széleskörű alapanyagot képes feldolgozni.

A közép kelet-európai piacok fejlődésével a mezőgazdasági melléktermékek és lágyszárú energianövények egyre erősödő piaci részesedéssel bírnak. A lágyszárú tüzelőanyagok egyik, s talán legnagyobb alkalmazási korlátját az alacsony hamuolvadási hőmérséklet okozza. A feldolgozott irodalom is igazolja, hogy a faalapú tüzelőanyagok olvadási és salakosodási hőmérséklete ezer fok felett, 1200 °C körül található, ezzel szemben a lágyszárú anyagok hamuja már 650 és 800 °C körül megolvad. Ennek meghatározására külön mérés-technikai felkészültség és laboratóriumi eszközök kellenek. Sikeres laboratóriumi fejlesztés eredményeként a VM Mezőgazdasági Gépesítési Intézete is kialakított egy ilyen, biomassza tüzelőanyag vizsgálatokra akkreditált mérőrendszert, mellyel átfogóan sikerült elemezni magyarországi tüzelőanyagokat, azok energetikai és tüzeléstechnikai jellemzőit.

Anyag és módszer

Az égetés és gázosítás reakció folyamataiban igen sok hasonlóság van, hiszen mindkét folyamat a szén és az oxigén egyesüléséből tevődik össze, melyeket másodlagos reakciók kísérnek. Természetesen a folyamatokban eltérések vannak, ilyen különbség például az alkalmazott tüzelőanyag kémiai energiájának felhasználása. Az égetés során a tüzelőanyag teljes kémiai energiája az égéstermékek hőenergiájává alakul át, míg a gázosítás során a teljes kémiai energia az éghető gázok kémiai energiájává alakul.

A szakirodalomban [POKOL, 1998. ; ENERGI, 2009. ;HENRIKSENA ET AL. 2006., BOON, 1989.] számos kísérleti eszközt lehet találni, melyekkel a pirolízis vizsgálatokat félüzemi, vagy üzemi szinten elvégezték, azonban ezek a technológiai megoldások igen költségesek. Tekintettel arra, hogy a lágyszárú tüzelőanyagok alkalmazására kevés irodalmi forrás áll rendelkezésre, valamint a hamuolvadási hőmérséklet miatt bekövetkező salakosodás nagyfokú kockázatot jelent a berendezés élettartamára [GRONLI ET AL., 2002.], kísérleti modellrendszer építése szükséges.

A biomassza, mint komplex rendszer bomlását a legjobban az anyag tömegcsökkenésének mérésével, valamint a lejátszódó folyamatok hőeffektusának meghatározásával lehet értékelni. Ezeknek rendkívül kiterjedt elméleti és műszerfejlesztési célú kutatási programjai vannak, s a termokémia tudományterülete még számos megoldatlan feladatot rejt. [BLASI ET AL., 2000. ; LAVROV, 1965.]

Az általunk áttekintett irodalmi források alapján két különböző, a faaprítékok pirolízis idejét vizsgáló mérőberendezést működését, mérési tapasztalatait és eredményeit vizsgáltuk meg. Az egyik megoldás egy 100 kW-os kísérleti berendezésben végzett méréssorozat, melyben száraz és nedves faaprítékot juttattak be különböző hőmérsékletű faszén ágyra. A mérés technikai hibák miatt a mérési eredmények nagyfokú szórást mutattak, ezért a vizsgálati módszer adaptálását nem tartottuk megfelelőnek.

A vizsgálatok elvégzésére kidolgozott másik megoldás egy egyedileg épített Macro TGA elnevezésű, speciális kialakítású makro termikus mérleg, melyben pontosabb vizsgálatokat lehetett elvégezni, azonban megvalósítása nagyon költségesnek bizonyult.

Mindezek figyelembevételével egy saját mérőeszköz fejlesztése mellett döntöttünk, melyet a következő fejezetben ismertetünk részletesen.

Laboratóriumi mérőkör fejlesztés

Az áttekintett irodalmak [ALTENER, 2007. ; ANTAL, 1985, ; PENGMEI ET AL., 2007.] és mérési eredmények ismeretében a tapasztalt mérési bizonytalanságok csökkentésének érdekében egy mérőkör fejlesztés valósítottunk meg.

Céljaink:

- szabályozható reaktorfűtés,
- nagy stabilitású mérleg alkalmazása,
- kalibrált hőmérséklet és tömegmérés,
- kismintás (20-30g) mérések,
- a folyamatos mérés érdekében
 - a tüzelőanyag adagolása és a maradékanyag kivétele biztosított legyen,
 - a mérleg mérési tartománya biztosítsa a 2-3 ismétlést a kemence szétszedése nélkül,
- költséghatékony mérőkör.

Irodalmi adatokból ismertek [ERLICH ET AL. 2006. ; DiBLASI, 2001. ; BRIDGWATER ET AL., 1999.] a gázosító berendezésben fellépő hőmérséklet értékek, így egy széles hőmérséklet tartományú, szakaszosan is állítható, de automatán szabályozható berendezésre volt szükség.

További szempont volt a tervezés során, hogy a „reaktortérbe” inert környezetet hozunk létre, azaz nitrogén közegben történhessen a reakció, ezért a gázbevezetést biztosítani kellett. A megbízhatóság és az egyenletes gázeloszlás érdekében kettős bevezetést alakítottunk ki, amely az adagolás helyénél és a gázosodás helyénél is biztosítja a megfelelő nitrogén mennyiséget. Ezzel párhuzamosan a „reaktortér” megfelelő tömítését is meg kellett valósítani, azaz a környezeti levegő kizárását.

Nélkülözhetetlen jellemző a mérés során a tüzelőanyag fogyás meghatározása, így a berendezésbe, illetve berendezéshez egy mérleget is be kellett tervezni, amely a hőhatás ellenére folyamatosan rögzíti az adatokat.

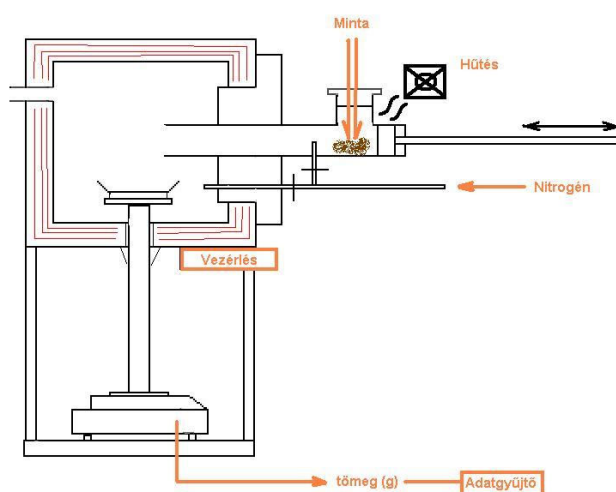
Végül, de nem utolsó sorban a megbízható mérés érdekében a tüzelőanyag gyors és egyszerre történő bejuttatását kellett biztosítani.

A mérőkör segítségével a célokban megfogalmazott szempontokat maradéktalanul sikerült megvalósítani, mert:

- a kemence gyári, kalibrált digitális hőmérséklet szabályzóval van ellátva,

- a tömegmérésre alkalmazott mérleg szintén kalibrált eszköz, valamint a kemencén kívül van elhelyezve, így a hőmérsékleti hatásoknak nincs kitéve, valamint kialakításánál fogva nem függesztett, így stabilabb működést biztosít.
- a kemence optimális térfogata (9 L) lehetővé tette mind a hőmérséklet, mind a nitrogén homogén eloszlását, valamint a kismintás mérést.
- a kemence ajtajának átalakításával biztosítottá vált a minták folyamatos, légmentes és balesetmentes bejuttatása, valamint a kialakított hűtővel elkerülhetővé vált a minták mérés előtti kigázosodása.

A mérőkör kialakítását az 1. ábra mutatja.



1. ábra

Laboratóriumi mérőkör

A kialakított mérési terv arra irányult, hogy az irodalmi áttekintésben ismertetett szempontok figyelembevételével egy átfogó alapanyag szortimentet szükséges megvizsgálni, annak érdekében, hogy az eredmények alapján a gázosíthatóságra és az energetikai hatásokra vonatkozó következtetéseket tudjunk levonni.

A vizsgált alapanyagokat a hazai alapanyag potenciál és lehetőségek figyelembevételével úgy válogattuk ki, hogy egyaránt megtalálható legyen közöttük fás- és lágyszárú tüzelőanyag. Ennek megfelelően az alábbiakat vizsgáltuk:

- vegyes „útszéli” faapríték
- fenyőfa apríték
- kukoricaszár pellet (továbbiakban kukorica pellet)
- szalma pellet
- agripellet
- fenyőpellet

A vizsgálati terv készítésénél az alábbi szempontokat vettük figyelembe:

- legyen faapríték, mert ez a legelterjedtebb alapanyag a nemzetközi gázosítási technológiáknál, így az összehasonlítás egyik alapját képezi,

- legyen pellet, mert ez egy homogén, alacsony nedvességtartalmú alapanyag, amely jól adagolható és nagy sűrűségénél fogva alkalmazása gazdaságos lehet.
- a vegyes faapríték összetétele, valamint frakció eloszlása változó, így minőségénél fogva egy jó kontroll anyagnak tekinthető a fenyő aprítékkal szemben,
- a fenyő apríték egy jó minőségű, referencia alapanyagnak számít, mert számos nemzetközi vizsgálatnál és az üzemi gyakorlatban is alkalmazzák,
- vizsgálni kell a kukorica és szalma alapanyagokat, mivel hazánkban potenciális tüzelőanyagok számítanak, ezért tüzeléstechnikai jellemzőik kiemelt jelentőségűek.
- a fenyőpellet vizsgálatba vonása kontroll mintaként indokolt, mert ezen keresztül összehasonlíthatóvá válik az alapanyag és a nemesített változat közti különbség.
- fontos szempont volt továbbá, hogy a hazai alapanyag potenciált figyelembe véve legyen egy mezőgazdasági melléktermékekből összeállított, általánosan elfogadott energetikai jellemzőkkel bíró tüzelőanyag minta, melynek elnevezése agripellet.

Méréseink megalapozó vizsgálatként az alábbi laboratóriumi vizsgálatokat végeztük el:

- nedvességtartalom mérés,
- hamutartalom mérés,
- CHNSOX analízis,
- fűtőérték mérés,
- sűrűség mérés,
- hamuolvadáspont mérés.

Ezek ismeretében tudtuk értékelni a gázosítás során kapott értékeket.

A laboratóriumi mérőkörön a mérési sorozatokat 3 hőmérsékleten, 400, 600 és 900 °C-os értékeken végeztük el minimum 2 ismétlésben.

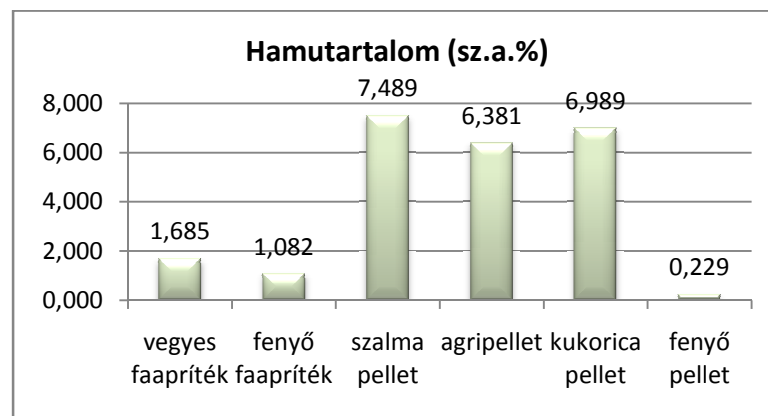
A hőmérséklet választás azért esett erre a három értékre, mert a megismert irodalmi adatok, valamint a technológiai paraméterek ezeket a tartományokat jelölték meg optimumként. A 400 °C érték az első hőmérsékleti tartomány középpértéke, ahol a száradás már befejeződött, s az illóanyag tartalom nagy százalékban eltávozik az anyagból. A 600 °C-os érték egy energetikai optimum pont, azaz az illóanyagok szintén eltávoznak ezen a hőmérsékleten, valamint amely már elegendő hőmérsékletet feltételez a termokémiai folyamatok teljes körű lefolyásához. Ezzel a teljes gázosító rendszer energiaigényét tudjuk csökkenteni, amely az üzemeltetés gazdaságosságát javíthatja. A 900 °C-os értéket az irodalmi forrásokból eredően vizsgáltuk, mert a termokémiai reakciók, valamint a gázösszetétel ezen a hőmérsékleten eredményezte a legjobb eredményeket, értékeket.

A sorozat vizsgálat további célja annak megállapítása, hogy az egyfázisú, vagy a többfázisú berendezések alkalmazásával biztosítható-e a lágyszárú tüzelőanyagok hasznosítása pirolízis céljára.

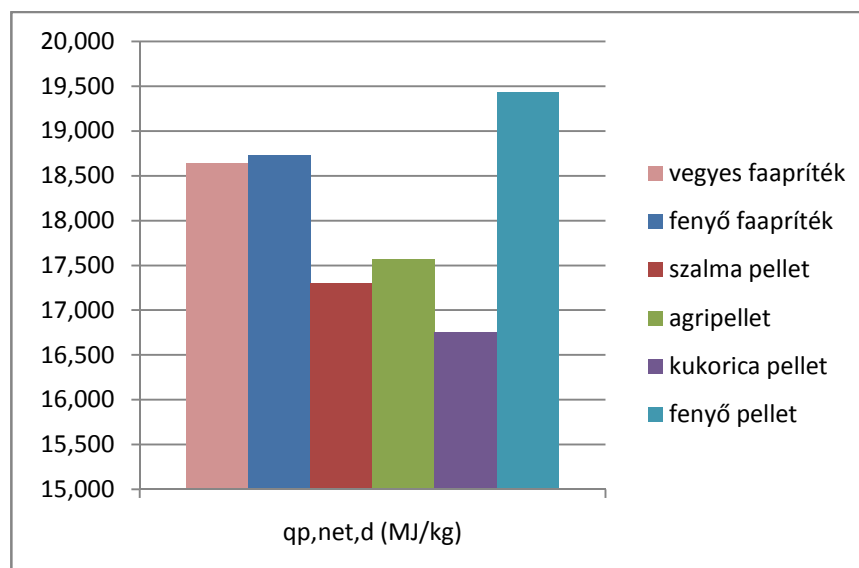
Eredmények

A megalapozó laboratóriumi mérések eredményeiből az alábbiak állapíthatók meg:

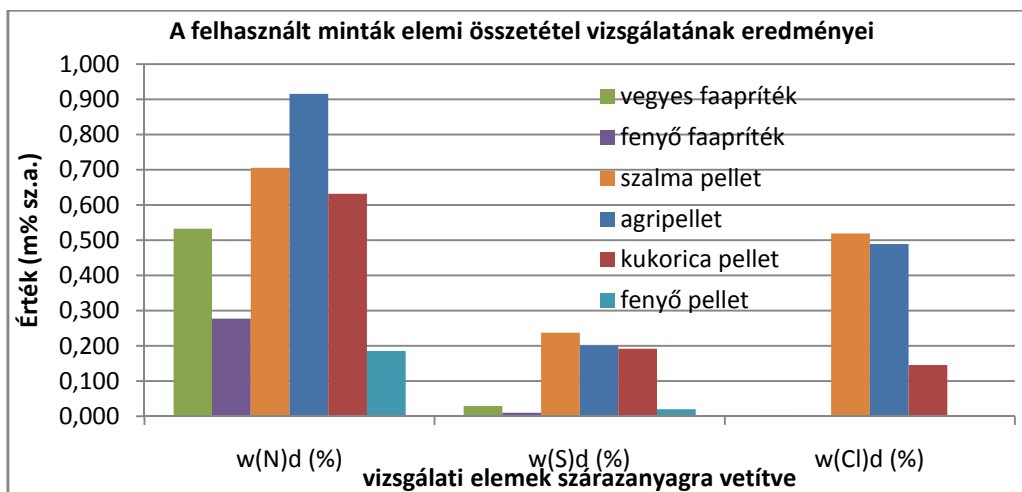
- az első kiemelkedő különbség a hamutartalomban mutatkozik. (1. diagram) A legalacsonyabb hamutartalma a fenyőpelletnek, a legmagasabb a szalma pelletnek van. Kijelenthető, hogy nagyságrendi hamutartalom különbség adódik a fászszerű és lágyszárú alapanyagok között.
- A fűtőértékben legmagasabb érték szintén a fenyőpelletnél adódik, amely a széntartalmában is megmutatkozik. Ezt a faaprítékok követik. A lágyszárú alapanyagból készített pelletek fűtőértéke csupán 16,7 és 17,5 MJ/kg között szóródik, ami több mint 1 MJ/kg értékkel kevesebb a fászszerű anyagokhoz képest. (2. diagram)
- a CHNSOX analízis eredményeiből látható (3. diagram), hogy a környezeti elemek közül a kén és klór értékek jelentősen magasabbak a lágyszárú anyagok esetében, amely korlátozhatja tüzeléstechnikai felhasználhatóságukat. A szalma pellet és az agripellet esetében mért 0,5 %-os klór tartalom kiemelkedően magas az MSZ EN 14961:2010 szabvány alapján.



1. diagram: Vizsgálati minták hamutartalom mérésének összefoglaló eredményei



2. diagram: Vizsgálati minták fűtőérték mérésének összefoglaló diagramja



3. diagram: Tüzelőanyagok elemi összetétel elemzésének összefoglaló diagramja

A pirolízis vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy a hőmérsékletek emelkedésével a maradékanyag tartalom csökken, azaz a minták egyre jobban „kiégnek”. Az alacsony hőmérsékleten legmagasabb maradékanyagot a vegyes faapríték adta, amely valószínűsíthetően annak eredménye, hogy a kéreg tartalommal rendelkező minta jelentős szennyező anyagot tartalmaz, melyek 400 °C-on nem égnék el.

További magyarázat lehet az irodalom feldolgozásban szereplő lignocellulózok bomlásának hőmérséklet tartományai, azaz hogy a lignin hőbomlása 400 – 500°C-on intenzív. A 900 °C-on végzett vizsgálatok esetében adódott eredmények azt mutatják, hogy a legmagasabb hamutartalommal rendelkező tüzelőanyag, nevezetesen a szalma pellet adja a nagyobb maradékanyag értéket.

I. táblázat

Maradékanyag és pirolízis idő korreláció analízisének alapadatai

Agripellet						
Vizsgálati hőmérséklet (°C)	400		600		900	
ismétlések	1x	2x	1x	2x	1x	2x
hamumentes maradékanyag (g)	27,15	26,96	20,3	21,5	17,45	17,19
Pirolízis idő (sec)	245	220	108	116	69	60
Szalma pellet						
Vizsgálati hőmérséklet (°C)	400		600		900	
ismétlések	1x	2x	1x	2x	1x	2x
hamumentes maradékanyag (g)	27,15	29,06	20,3	20,1	17,45	17,11
Pirolízis idő (sec)	245	245	108	96	69	69
Kukorica pellet						
Vizsgálati hőmérséklet (°C)	400		600		900	
ismétlések	1x	2x	1x	2x	1x	2x
hamumentes	27,05	25,68	20,2	19	14,63	14,79

maradékanyag (g)						
Pirolízis idő (sec)	228	240	112	115	82	81
Fenyő apríték						
Vizsgálati hőmérséklet (°C)	400		600		900	
ismétlések	1x	2x	1x	2x	1x	2x
hamumentes maradékanyag (g)	26,91	26,93	18,2	18,8	13,19	13,18
Pirolízis idő (sec)	331	333	147	159	88	88
Vegyes faapríték						
Vizsgálati hőmérséklet (°C)	400		600		900	
ismétlések	1x	2x	1x	2x	1x	2x
hamumentes maradékanyag (g)	28,1	28,16	17	17,5	15,05	13,4
Pirolízis idő (sec)	325	313	140	140	74	74

Gázosítás melléktermékeinek elemzése

A laboratóriumi pirolízis kísérletek során keletkezett bioszeneken, mint melléktermékeken teljes körű energetikai vizsgálatokat végeztünk el.

A mérések során meghatároztuk a bioszenek fajta és pirolízis hőmérséklet szerinti C-H-N-S összetételét, a hamutartalmát, valamint a fűtőértékeket.

A részletes eredményeket az I. táblázatII. táblázat tartalmazza.

A táblázat eredményeiből az alábbi megállapítások tehetők:

- a bioszenek széntartalma 60 – 90 % között változik a tüzelőanyag és a hőmérséklet függvényében. Az eredeti tüzelőanyagok között a fásszárú alapanyagoknak 5 %-kal volt magasabb a széntartalma, amely a bioszén összetételében is igazolódik.
- megfigyelhető továbbá, hogy a magasabb hőmérsékleten pirolizált tüzelőanyagok maradékanyag tartalma alacsonyabb, azaz magasabb hőmérsékleten a tüzelőanyagok jobban kiégték. Ennek megfelelően a bioszénben, mint melléktermékben a magasabb hőmérsékleten pirolizált minták esetében fajlagosan magasabb széntartalom volt mérhető.
- a bioszén mért hamutartalmának a kiindulási alapanyagra vetített eredményeit a II. táblázatII. táblázat „A_{rel}” jelölésű oszlopa tartalmazza. Az eredményekből látható, - figyelembe véve a szenesítés mérési bizonytalanságát - hogy a kiindulási alapanyag hamutartalma és a bioszén hamutartalma a lágyszárú tüzelőanyagok esetében közel azonos. A szenesítés során a legnagyobb mérési bizonytalanságot okozó dolog a forró minta kemencéből történő kivétele és desszikatorba történő behelyezése során kiküszöbölhetetlen környezeti levegő oxidációs hatása.
- megfigyelhető továbbá, hogy a fásszárú minták bioszeneinek hamutartalma jelentősen alacsonyabb – közel a fele – az eredeti anyagban mért hamutartalomhoz képest.
- a bioszén minták fűtőérték mérési eredményei a fajlagosan megnövekedett széntartalom hatására az eredeti minták fűtőértékeihez képest a lágyszárú minták esetében átlagosan 30-40 %-kal növekedtek, míg a fásszárú minták esetében a növekedés 60%-os.

II. táblázat

Száranyagra vonatkoztatott bioszén energetikai jellemzői

Mintaszám	w(C) _d (%)	w(H) _d (%)	w(N) _d (%)	w(S) _d (%)	w(O) _d (%)	w(Cl) _d (%)	A _d (%)	A _{rel} (%)	M (%)	q _{p,net,d} (MJ/kg)
agri bioszén 400	65,326	2,930	1,517	0,304	11,601	0,000	18,324	5,86	0,000	24,912
agri bioszén 600	66,785	2,102	1,264	0,279	7,081	0,000	22,490	6,095	0,000	24,779
agri bioszén 900	66,331	0,893	1,035	0,280	6,241	0,000	25,221	5,750	0,000	23,697
szalma bioszén 400	60,643	3,099	1,112	0,250	12,745	0,000	22,152	7,507	0,000	23,249
szalma bioszén 600	64,190	1,818	0,832	0,388	6,516	0,000	26,257	7,089	0,000	24,076
szalma bioszén 900	63,841	0,704	0,763	0,395	3,872	0,000	30,424	7,302	0,000	22,865
kukorica bioszén 400	60,346	2,940	1,250	0,273	10,677	0,000	24,514	8,188	0,000	23,453
kukorica bioszén 600	63,008	1,995	0,942	0,254	6,374	0,000	27,426	7,268	0,000	23,800
kukorica bioszén 900	62,436	0,938	0,695	0,253	5,651	0,000	30,027	6,300	0,000	22,611
vegyesfa bioszén 400	75,860	3,082	0,294	0,033	16,827	0,000	3,903	1,147	0,000	27,369
vegyesfa bioszén 600	86,369	2,779	0,349	0,030	6,041	0,000	4,432	0,809	0,000	31,631
vegyesfa bioszén 900	86,303	1,226	0,463	0,066	7,987	0,000	3,955	0,647	0,000	31,165
fenyő bioszén 400	77,161	3,224	0,335	0,029	17,202	0,000	2,050	0,572	0,000	27,610
fenyő bioszén 600	86,010	2,755	0,353	0,031	8,211	0,000	2,641	0,507	0,000	32,040
fenyő bioszén 900	88,103	1,011	0,431	0,029	4,904	0,000	5,522	0,783	0,000	31,069

M – Nedvességtartalom

A_d – Száraz hamutartalom

A_{rel} – Bioszén hamutartalma a kiinduló anyagra vetítve

q_{v,gr} – Mért nedves égéshő

q_{p,net,d} – Számított száraz fűtőérték

Összefoglalás

A kifejlesztett mérőkör felhasználásával megállapítottuk, hogy modellezve a gázosító berendezésben a pirolízis zóna hőmérsékletét, annak hatása van a gázosodási időre és a kigázosodás mértékére, s ezzel szabályozni lehet a többfázisú berendezések alkalmazása esetén a lágyszárú tüzelőanyagok pirolízis zónában történő „kiégetését”, s ezzel biztosítani azt, hogy a hamu nem olvad meg.

A laboratóriumi mérőkörrel elvégzett pirolízis vizsgálatok, valamint a fűtőérték mérés eredményei alapján megállapítottuk, hogy az energetikailag rosszabb minőségű tüzelőanyagok szenesítéssel magasabb energetikai szintű tüzelőanyaggá konvertálhatók, s ezáltal a közvetlen és közvetett tüzeléstechnikai alkalmazásuk is megoldható. A mérési eredmények közül a fűtőértékeket érdemelnek kiemelt figyelmet. Az összes vizsgálati minta szárazanyagra vonatkoztatott fűtőértéke 22 MJ/kg feletti, szemben az eredeti állapotban mért fűtőértékükkel, amely 16,5 és 19,5 MJ/kg között szóródott. A legmagasabb fűtőértéke a 600 °C-on pirolizált fenyő bioszén-nek volt, amely 32 MJ/kg. A mérési sorozatokból azt is megállapítható, hogy az összes vizsgált bioszén esetében a 600 °C-on pirolizált minták széntartalma és fűtőértéke a legmagasabb. Ez azt jelenti, illetve jelentheti, hogy az energetikai célú torrefikációs pellet gyártás optimális hőmérséklete 600 °C körül javasolt, azonban erre vonatkozólag a modell mérőkörön kívül, további technológiai vizsgálatok szükségesek.

Az összetétel elemzés eredményei azt igazolják, hogy a torrefikációs „agripellet” tüzeléstechnikai alkalmazása a hagyományos pellet tüzelőberendezésekben lehetséges, hiszen energetikai tartalma magas, s a hamuk szintereződési hőmérséklete nem okoz gondot.

Munkánk további célja, hogy a laboratóriumi szintű elemzések és modellezések eredményeit félüzemi szinten is folytassuk, azaz olyan technológiai fejlesztéseket hajtsunk végre, valamint együttműködések alakítsunk ki, melyek a hazai mezőgazdasági eredetű fő-, illetve melléktermékek magas hatásfokú és korszerű energetikai hasznosítását biztosíthatják a jövőben.

Irodalomjegyzék:

1. **Antal M.J. Jr.:** Biomass pyrolysis: a review of the literature. Part2 – lignocellulose pyrolysis in, *Advances in solar energy* (Eds. K.W. Böer, J.A. Duffie), Plenum Publishing Co., New York, 1985., pp. 175 – 253.
2. **Boon J.J.:** An introduction to pyrolysis mass spectrometry of lignocellulosic materials: case studies on barley straw, corn stem and agropyron in A. Chesson, E.R. Ørskov (Eds.), *Physico-chemical characterization of plant residues for industrial and feed use*, Elsevier, London and New York, 1989., pp. 25 – 49.
3. **Bridgwater A.V. , [et al.]:** An overview of fast pyrolysis of biomass, *Org. Geochem.*, 30 (1999) 1479 – 1493.
4. **Di Blasi C.,** Pyrolytic behavior of some wood properties, *Combust. Flame*, 124 (2001) 165 – 177.
5. **Erlich C. [et al.]:** Pyrolysis and gasification of pellets from sugar cane bagasse and wood, *Fuel* 85 (2006) 1535–1540
6. **Grønli M.G. [et al.]:** Thermogravimetric analysis and devolatilization kinetics of wood, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 41 (17) (2002) 4201 – 4208.
7. **Henriksena U., [et al.]:** The design, construction and operation of a 75 kW two-stage gasifier, *Energy* 31 (2006) 1542–1553
8. **Lavrov N.V. , Surügin A.P. :** Az égés- és gázosításelmélet alapjai, Műszaki könyvkiadó, Bp., 1965
9. **Pengmei Lva, [et al.]:** Hydrogen-rich gas production from biomass air and oxygen/steam gasification in a downdraft gasifier, *Renewable Energy* 32 (2007) 2173–2185
10. **Pokol Gy.:** Modern irányzatok a termikus analízisben, *Magyar Kémikusok Lapja*, 53 (1998) K38 – 44.
11. Demonstration of the vortex process for biomass gasifiers – ENERGI – Denmark, 2009.
12. Biomass gasification – State of the art description – ALTENER – IEE project, 2007