

Energia növények és növényi eredetű hulladék anyagok anaerob lebontásának javítása előkezeléssel

Oláh József* – Rása Gábor* – Szilágyi Mihály* – Bezsényi Anikó*
* – Fővárosi Csatornázási Művek Zrt.

1. Bevezetés és célkitűzés

A cellulóz tartalmú hulladékok (mezőgazdasági hulladékok, energia-fű, szilfium, ágyesedék stb.) nehezen bonthatók, közvetlen anaerob rothasztásuk csak igen hosszú tartózkodási idővel valósítható meg gazdaságosan. A kísérletek célja, hogy a cellulóz tartalmú növényi hulladékok, energia növények anaerob bonthatóságát és a biogáz kihozatalát növeljük.

A Fővárosi Csatornázási Művek Zrt. (FCSM Zrt.) munkatársai a növényi hulladékok anaerob lebontásának javítása céljából egy új feltárási módszert fejlesztettek ki. Az alábbi cikkben ismertetésre kerülő gombás feltárási technológia védelmére az FCSM Zrt. 2010.07.22. bejelentési dátummal szabadalmi védeltséget kért. (Cím: „Eljárás lignocellulóz-tartalmú hulladék-anyag feldolgozására”. A bejelentés alapszáma: P1000389)

2. A növényi eredetű anyagok összetételének jellemzése

A cellulóz vízben oldhatatlan, rendkívül ellenálló poliszacharid. A mezőgazdaságból származó hulladékok túlnyomó részét a növényi eredetű melléktermékek és hulladékok teszik ki, ezek az anyagok cellulózban gazdagok. A cellulóz a legnagyobb mennyiségben rendelkezésre álló megújítható biopolimer Földünkön.

A cellulóz nem elágazó, lineáris, D-glükóz molekulákból álló polimer (D-glükóz monomerek β -1,4-glükozidos kötésű lánc). A polimerizáltság mértéke igen változó, néhány száz glükóz egységtől 20 000 egységig terjedhet, a polimer hosszúsága körülbelül $7\mu\text{m}$. A hidrogén hidakkal kapcsolt struktúra lúgokkal és ásványi savakkal fellazítható, ami a cellulóz szálak duzzadását eredményezi. Képlete $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$.

A fa és fűfélék vázanyagát három fő kémiai alkotóelem építi fel: cellulóz, hemicellulóz, lignin, amelyek egy komplex struktúrát alkotnak. A cellulóz rostokat hidrogén és Van der Waals kötések kialakításával hemicellulóz és lignin burok veszi körül. A cellulóz mechanikailag erős, ezt a tulajdonságát komplex és rendezett szerkezete biztosítja.

A hemicellulóz heterogén, nem lineáris poliszacharid. Az elágazó szerkezetének köszönhetően könnyebben bontható. A lignin aromás molekula, háromdimenziós fenil-propán polimer építi fel. A fenil-propán egységek között éter és szén-szén kötések találhatók. A lignin szorosan kapcsolódik a cellulózhoz, ez okozza a növényi szövetek stabilitását. A lignint nehéz hidrolizálni, ráadásul megakadályozza az enzimek hozzáférését a cellulózhoz. Adszorbeálja az enzimeket, ezáltal inaktívvá teszi őket.

A lignocellulóz származékok anaerob úton nehezen bonthatók, azonban elő-hidrolízis alkalmazásával jelentősen fel lehet gyorsítani a folyamatot. A cellulóz származékok elő-hidrolízisének az ipari celluláz enzim készítményeket alkalmaznak. A másik lehetőség a mikroorganizmusok által végzett elő-hidrolízis. Cellulóz-bontó gombák által végzett elő-hidrolízissel a mezőgazdasági hulladékok anaerob lebontása jelentősen felgyorsítható.

A cellulóz tömény sávvá főzve először *cellobiózra*, majd a cellobióz szőlőcukorra bomlik. A tömény sósavon kívül csak gombák és baktériumok tudják lebontani. A kérődző állatok emésztőrendszere jellemzően tartalmaz olyan mikroorganizmust, mely lebontja a cellulózt. A *termőtalajban* is léteznek cellulózbontó baktériumok és gombák, melyek a cellulózt *humusszá* alakítják. Az *Ascomyceta* fonalgombák közül a *Trichoderma* nemzetség fajainak van kiemelkedő cellulolitikus aktivitása (*T. viride*, *T. reesei*), az ipari cellulázok előállítása is nagyrészt ezekkel történik (*Malherbe et al.*, 2002).

3. Néhány energia növény és növényi hulladék összetételének ismertetése

Néhány energia növény és növényi hulladék összetételét az 1/a és az 1/b. táblázatok mutatják be. Az egyes növényeknél és hulladékoknál a TOC összetételben nem mutatkozik nagy különbség. A foszfor és nitrogén összetételben jelentős eltérések jelentkeznek. A hemicellulóz a szilfium, energiafű és falomb hulladék esetében 25 % fölött van, ez egyúttal a jobb biológiai bonthatóságot is jelenti. Általában azok a növények kezelhetők könnyen anaerob úton, amelyeknél kicsiny a lignin és nagy a hemicellulóz tartalom (*Oláh et al.*, 2012).

A természetesen a gombás elő-kezelés nem csak a táblázatban feltüntetett növényi hulladékok esetében, hanem valamennyi természetes körülmények között termelt növényenél vagy növényi maradékoknál is elvégezhető. A gombás feltárásnak a rothasztásra kifejtett hatását részletesebben az energiafűnél (Szarvas-1) vizsgáltuk.

1/a. táblázat Különböző eredetű növényi eredetű anyagok összetétele

Minta megnevezése	TOC	TN	TP	Száraz anyag	Szerves anyag
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	g/kg	%
Szilfium (<i>Silphium perfoliatum</i> L.)	377 961	11 600	2 095	860,5	86,4
Energiafű (<i>Agropyron elongatum</i>)	417 499	6 890	839	917,7	90,4
Zöld hulladék (Csomád)	307 466	14 070	1 819	928,0	56,5
Vegyes falomb-hulladék	429 019	21 040	1 682	908,6	89,3
Arundó donax	451 552	9 000	2 183	913,9	92,9
Avar (vegyes eredetű) falevél	411 871	14 370	1 530	931,0	76,8
Kukoricaszár (csó nélkül)	440 051	13 070	3 959	896,0	90,9
Fűzfa (levél + vékony gally)	480 089	24 050	1 553	926,2	91,8

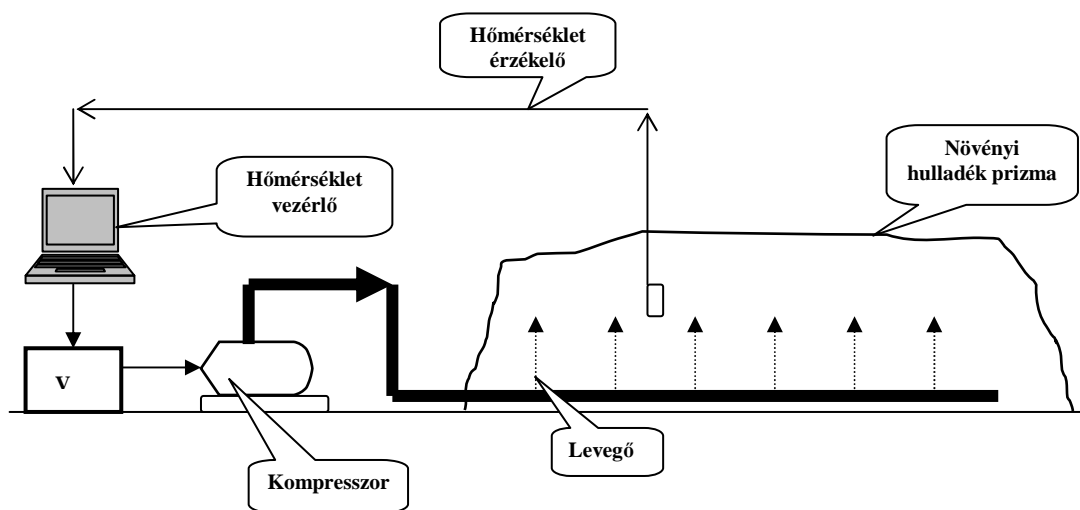
Megjegyzés: zöld hulladék (Csomád) összetétele: 50 % vegyes falevél + 50 % vegyes ágnyesedék;
 vegyes lomb hulladék összetétele: akác, juhar, madár-cseresznye, hárs és nyárfa vékony leveles gallyak (< 10 mm) szárazanyagra vonatkoztatott egyenlő arányú keveréke; avar levél – juhar; platán, nyárfa, akác – egyenlő arányú keveréke;

1/b.táblázat Különböző eredetű növényi eredetű anyagok összetétele

Minta megnevezése	Hidrolizálható szénhidrát, mint glükóz	Lignin	Alfa-cellulóz	Hemi-cellulóz	Égéshő
	mg/kg				
Szilfium (Silphium perfoliatum L.)	70 400	17,4	34,9	37,2	17,0
Energiafű (Agropyron elongatum)	164 300	19,7	51,6	26,2	18,4
Zöld hulladék (Csomád)	57 700	32,1	29,6	24,6	13,0
Vegyes falomb-hulladék	65 300	26,1	38,1	28,9	18,9
Arundo donax (olasz nád)	87 750	24,7	42,6	24,9	18,2
Avar (vegyes eredetű) falevél	62 000	24,3	43,5	12,3	16,4
Kukoricaszár (cső nélkül)	119 100	20,1	44,1	28,6	21,6
Fűzfa (levél + vékony gally)	79 200	26,9	37,1	28,5	20,1

4. Kísérleti elő-kezelő berendezés ismertetése

Az 1.ábra szemlélteti a ligno-cellulóz tartalmú anyagok gombás feltárásának technológiai eljárását. SiloKing aprítógéppel a mezőgazdasági (kukorica-szár, napraforgó-szár, energia-fű, egyéb fűfélék, zöldség hulladék anyagok stb.) hulladékokat megaprítjuk (15 – 25 cm). Az elő-aprított mezőgazdasági hulladékot prizmába rakjuk (50 – 60 cm magas). A bekeverésnél a prizma alapanyagához, ha szükséges tápanyag kiegészítés (N és P) adunk. A keverék nedvességét 60 % körüli értékre állítjuk. A prizma hőmérsékletét ventilátoros vagy kompresszoros levegőztetéssel 30 – 40°C között tartjuk. A hőmérséklet-méréssel szabályozzuk a befűjt levegő mennyiségét.



1. ábra Gombás előkezelő berendezés elvi vázlata

A feltárás ideje 4 – 5 nap között változik. A feltárás mértékét vizuálisan (kialakul a szürke színű penész-gomba) is nyomon kísérhetjük. A feltárt cellulóz hulladékot a rothasztó berendezés kialakításának megfelelően 3 – 5 cm méretre aprítjuk. Az aprított anyagot a rothasztóba tápláljuk és egyéb nagy nitrogén tartalmú hulladékokkal együtt rothasztjuk. A rothasztóba a cellulóz hulladék mellé a ko-szubsztrát elvnek megfelelően szennyvíziszapot, szerves trágyát, kommunális hulladék szerves frakcióját, vagy más hulladékokat adagolhatunk. A nagy cellulóz tartalom (> 20 %) miatt a rothasztó tartózkodási idejét minimum 30 napra kell beállítani.

5. Fél-üzemi kísérleti, rothasztó berendezés ismertetése

A fél-üzemi kísérleti berendezés lehetővé teszi, hogy a szubsztrátra jellemző egyensúlyi viszonyokat (pH, illósav, lúgosság), az optimális fajlagos szerves-anyag terhelést (tartózkodási idő), lebontás hatásfokát folyamatos üzemi viszonyok mellett kimérjük. É-pesti szennyvíztisztító telepen felállított 2 db fél-üzemi kísérleti berendezés ($V = 6 \text{ m}^3$) a gyógyszeriparban jól ismert fermentor típusal azonos. Az aerob fermentációnál a kisebb tömítetlenség nem okoz gondot, viszont az anaerob rendszernél az oxigén teljes kizárását biztosítani kell, ezt belső keverő beépítése biztosítja. A belső keverők beépítése azért vált szükségessé, mert az aprított növényi hulladékok az ejektoros keverőt is gyakran eltömítették és ennek következtében az üzemelés lehetetlenné vált. A fél-üzemi rothasztókat a *1.kép* mutatja be.



1.kép É-pesti fél-üzemi ($2 \times 6 \text{ m}^3$) rothasztó berendezések

6. Mérési módszerek ismertetése

A szakaszos és a fél-folyamatos anaerob kísérleteknél a rothasztók ellenőrzésére a gyakorlatból jól ismert alapvizsgálatokat (pH; lúgosság; illósav, szárazanyag; szerves-anyag) alkalmaztuk. Az anaerob ellenőrzési módszerek jól ismertek, részletes ismertetésére nem térünk ki.

Az alapvizsgálatokat kiegészíti a speciális növényi szubsztrátok lebontásának nyomon követésére alkalmas celluláz enzim aktivitás mérése. A celluláz enzimaktivitás mérésénél régóta ismert módszert használtunk, melynek lényege, hogy a puffertolt CMC (karboxi metil cellulóz) oldathoz iszap mintát adunk, majd 30 °-on végzett inkubációt követően centrifugáljuk és celluláz enzim hatására képződött glükózt dinitro-szalícilsav reagens hozzáadása után fotometrikan mérjük. A celluláz enzim aktivitását mg glükóz/g_{iszap} nap formában fejezzük ki (Thiel és Hattingh, 1967).

A hidrolizálható szénhidrátokat fenol-kénsavas módszerrel határoztuk meg. A módszer lényege, hogy a hexózzal a fenol szín-reakcióba lép és ezt követően fotometrikan a szénhidrátok mérhetőek (Liu et al., 1973).

A cellulóz vizsgálatokat a Papíripari Kutatóintézet végezte. A cellulóz összetételnél vizsgálták a hollocellulóz, alfa-cellulóz, hemi-cellulóz és lignin tartalmat (Hernádi, 1980).

A mikroszkóppal vizsgálható és határozható gombafajokat sporulálásig termosztáltuk 37°C-on és 45°C-on, az eredeti környezeti feltételek fenntartásával, komposztkeveréken (táptalajos izolálás nélkül) (Tsuneo Watanabe, 2002; Bánhegyi et al., 1985- 87).

7. Kísérleti eredmények értékelése

7.1. Elő-kezelés

A gombás elő-kezelésnél minden esetben energiafüvet használtunk. A laboratóriumi tenyésztésnél 37°-os termosztálás esetén szinte másnapra megjelent a *Coprinus sp.* (tintagomba) a szálakon. Finom gombaillatúvá vált a komposzt. 45°-on ez a folyamat egy kicsit tovább tartott, de a végeredmény ugyanez lett. A gombás előkezelés előtti és utáni állapotot az 2. és a 3. kép mutatja. Előkezelés ideje 3 – 4 nap, ezt követően a laza szalma struktúra összeesett és a szál szerkezet pusztulását lehetett megfigyelni. A szálszerkezetet a gombák megtámadták és részben lebontották (*Thermomyces lanuginosus*, vagy *Humicola*).

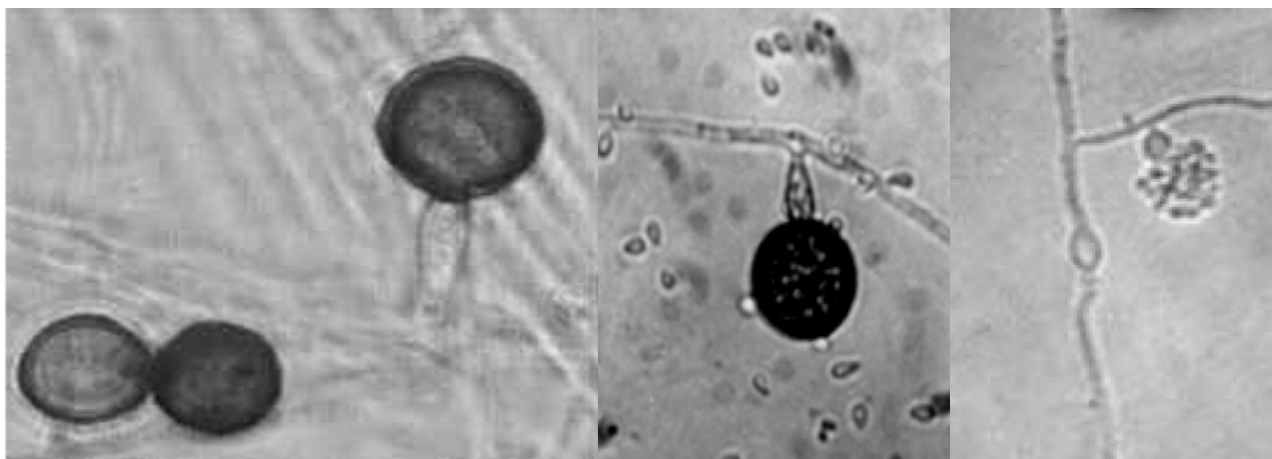
A komposzton termő gombafajok részletes megismerése és szakszerű rendszertani meghatározása – a méretükből adódóan - csak mikroszkópos technika alkalmazásával lehetséges. A meghatározás általában táptalajos izolálás után, a kifejlődött telep jellemzői, majd az ezt követő mikroszkópos vizsgálat során a megjelenő szaporítóképletek (spórák, konídiumok) alapján történik. A 4. képen a vizsgált *Thermomyces* faj szaporítóképleteit láthatjuk, amelyek alapján a faj beazonosítható. A képsorozaton (balról-jobbra) a gomba két, egymás után megjelenő szaporítóképlet típusát láthatjuk, az aleuriokonídiumokat és a nagy tömegben megjelenő fialokonídiumokat.



2. kép Elő-aprított kezeletlen energiafű



3. kép Elő-aprított gombás-kezelt energiafű



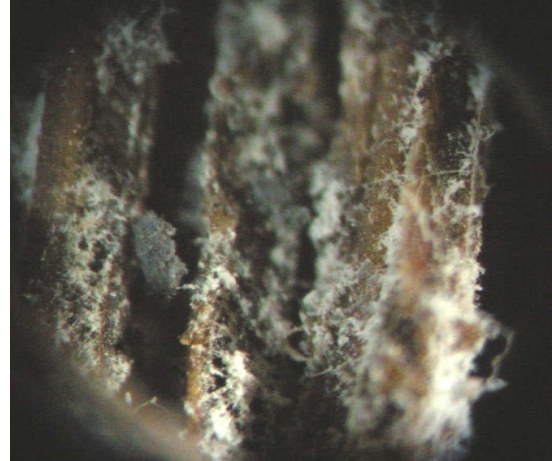
4. kép *Thermomyces* sp. fénymikroszkópos fotói. A bal oldalon és középen: aleuriokonídiumok, amelyek érett állapotban barnák és a faluk ornamentált. Jobb oldalon: az aleurokonídiumokon formálódó fialokonídiumok. (Az eredeti nagyítás 500x-os)

A szaporítóképletek alapján *Thermomyces* sp. (azaz *Humicola* sp.), valószínűleg *Thermomyces lanuginosus*, amely gyakori komposzt faj. *H. lanuginosus* 30 és 52 – 55°C közötti hőmérsékleten növekszik. Közöséges előfordulású a komposztban, a madarak fészkeiben és a napsütötte talajokban. A komposztban a csúcshőmérséklet elérése után jelenik meg és a magas hőmérsékletű (termofil) fázisban végig megmarad. A kihűlési szakaszban már nincs jelen.

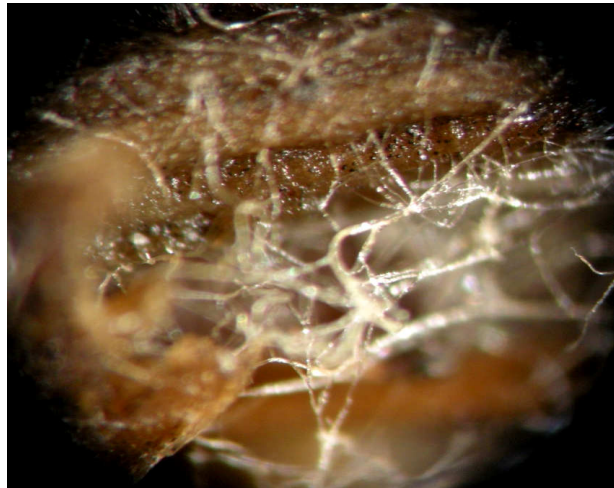
A növényi cellulóz anyagok feltárását alapvetően a komposztálási folyamat kezdő fázisában (~30-55°C) a *H. lanuginosus* és *Chaetomium*-fajok koegzisztálva, majd alacsonyabb hőmérsékleten (~15-45°C) a *Coprinus* sp. (tintagomba) gombák végzik (5., 6. és a 7.kép).



5.kép Fejlődő *Coprinus* sp. (tintagomba) teleptest (40x-es és 80x-os nagyítás)



6. kép *T. lanuginosus* 80x-szoros nagyításban

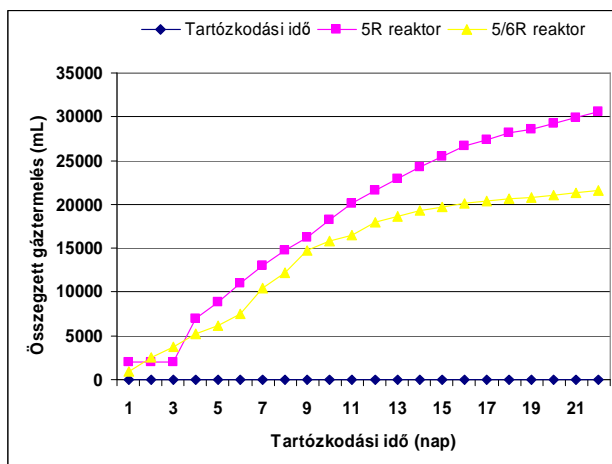


7.kép Fejlődő *Coprinus* sp. (tintagomba) teleptest (80x-os nagyítás)

A *T. lanuginosus* a cellulózt ugyan nem képes bontani, de más, cellulózbontásra képes fajokkal koegzisztálva, a maradékcukrokat felhasználva szaporodik cellulózos közegben. Ilyen egyszerű szénhidrátok nem csak a cellulóz, hanem a hemicellulóz hidrolízise során is képződhetnek. Gyakran koegzisztál a *Chaetomium thermophile* fajjal. Itt meg kell jegyeznünk, hogy *Chaetomium* faj(ok) jellegzetes aszkopóráit és peritéciumtöredékeit szintén megfigyeltük minden vizsgálatnál, ugyan teljes peritéciumot nem láttunk. A cellulózbontásra képtelen gombafajok gyakran hasznosítják szénforrásként a xilánt. A xilán könnyebben hasznosítható növényi sejtfalanyag és a *T. lanuginosus* xilanázenzim előállítására képes, mindemellett glükóz-, xilóz és mannóz egyszerű transzportereket azonosítottak e fajnál, mely egyszerű monomerek a cellulóz és a hemicellulóz hidrolitikus termékei. (Maheshwari et al., 2000, Kamra - Satyanarayana, 2004)

7.2. Szakaszos, laboratóriumi méretű rothasztási kísérletek

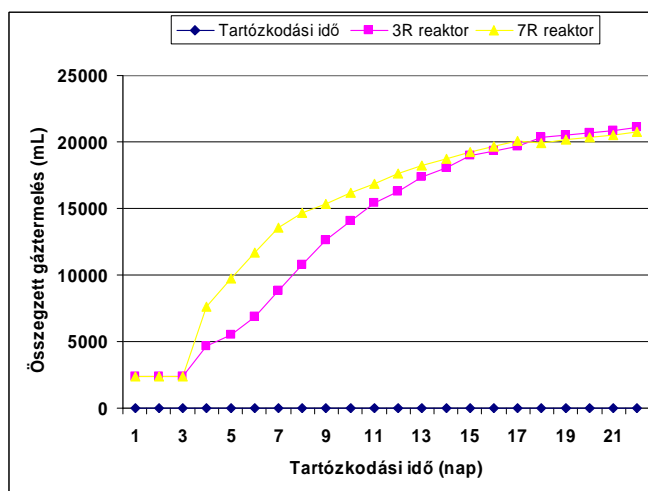
Az energia fű bonthatóságánál a megvizsgáltuk csomádi gombás szuszpenzió oltó hatását is. Összehasonlítottuk a gombás kivonatos oltóval és a nem-adaptált É-pesti oltóiszappal mért gáztermelési értékeket (2.ábra).



2.ábra A 5R (É-pesti iszap nem adaptált + gombás oltó + energiafű) és 5/6R (É-pesti nem adaptált oltóiszap + energiafű) szakaszos reaktorok rothasztási eredményeinek összehasonlítása ($V_{\text{reaktor}} = 7 \text{ L}$)

Az 5R reaktor, melyben gombás oltó volt 22 nap tartózkodási-ide mellett 30,6 liter és kontroll reaktorban (5/6R reaktor) nem-adaptált É-pesti iszap 21,5 liter biogázt termelt. A különbség jelentős, hiszen a gombás oltó esetében 42 %-kal nagyobb gázfejlődést mértünk..

A vegyes falomb hulladék rothasztásánál csomádi gombás turmix oltót is felhasználtuk, ezt hasonlítottuk össze a kecskeméti nagy celluláz aktivitású oltóval. Rothasztásnál a gáztermelés lefutását a 3. ábra mutatja. A közös indulást követően a 4. nappal az elindítás után a kecskeméti oltóval beoltott minta nem jelentősen, de kisebb gáztermelést mutatott, mint a csomádi gombás turmix beoltott mintája. A 12 naptól kezdődően mind kettő oltónál azonos volt a gáztermelés. Ez arra utal, hogy rothasztásnál a csomádi gombás oltó alkalmazásával a nagy aktivitású kecskeméti oltóhoz hasonló gázmennyiség termelést lehetett elérni.



3.ábra A 3R (Kecskeméti oltóiszap + vegyes falomb-hulladék) és 7R (É-pesti nem-adaptált oltóiszap + csomádi gombás oltó + vegyes falomb-hulladék) szakaszos reaktorok rothasztási eredményeinek összehasonlítása ($V_{\text{reaktor}} = 7 \text{ L}$)

A cellulózra adaptált oltó iszapok, vagy a gomba adalék rendszerek celluláz aktivitása lényegesen nagyobb, mint általában a rothasztókból származó iszapok celluláz enzim aktivitása. Néhány oltóanyag és rothasztó rendszer celluláz enzimaktivitás értékeit a 2.táblázat tartalmazza.

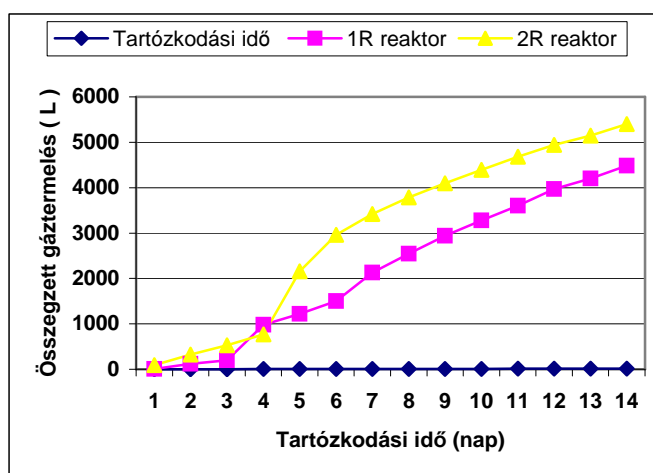
2. táblázat Néhány oltóanyag és rothasztó rendszer celluláz enzimaktivitás értékei

Szubsztrát	Rothasztó oltója	Fajlagos celluláz enzim aktivitás mg glükóz/g _{iszap} nap	
		Rothasztás indítása	Rothasztás befejezése
-	É-pesti oltó iszap	110	-
-	Kecskeméti cellulózra adaptált oltó	286	-
Vegyes falomb	É-pesti oltó + csomádi gombás oltó	310	1125
Vegyes falomb	Kecskeméti cellulózra adaptált oltó	217	835
Energiafű	É-pesti oltó + csomádi gombás oltó	351	736
Csomádi zöld hulladék	É-pesti oltó + M18 gomba oltó	166	382
Energiafű	Fél-üzemi (I. reaktor) É-pesti oltó	95	123
Gombás energiafű	Fél-üzemi (II. reaktor) É-pesti oltó	200	356

7.3. Fél-üzemi rothasztási kísérletek

A fél-üzemi rothasztókban (hasznos tér: $V_{\text{reaktor}} = 4 \text{ m}^3$) a belső keverők beépítésével az aprított növényi anyagok és a szennyvíziszap közös rothasztása jó hatásokkal lehetséges. A rendszerben bármilyen hulladék anyag csak aprítás után (<30 mm) adagolható be. A rothasztókat fél-folyamatos (napi rátáplálás) üzem-módban üzemeltettük.

A fél-üzemi rothasztók közül az egyik berendezésben (1R) a kontroll, kezeletlen, a másikban (2R) az elő-kezelt gombás energia fűvet rothasztottuk. A kirohadást megvárva (15–20 nap) mindegyik rothasztóra azonos időpontban háromszor tápláltuk a megfelelő energiafűvet. Ennek megfelelően mindegyik rothasztó adaptálódott a saját szubsztrátjához. Az első kísérleti sorozat eredményeit 4.ábra szemlélteti.



4. ábra Fél-üzemi kísérlet: 1R (kontroll energiafű) és 2R (gombás energiafű) reaktorok eredményeinek összehasonlítása ($V_{\text{reaktor}} = 4 \text{ m}^3$)

A 14 napos tartózkodási idő mellett a gombás energiafűből a kontrollhoz képest 20 %-kal, a második kísérleti sorozatnál 29 napos tartózkodási idő mellett a gombás energiafűből a kontrollhoz képest 19 %-kal nagyobb biogáz kihozataalt tudunk elérni. Ezeknél a kísérleti sorozatoknál az elő-kezelés ideje 4 – 5 nap volt.

Összefoglalás

Az üzembe helyezett fél-üzemi, gombás elkezelő berendezésnél a termofil aerob baktériumok tevékenységét a hőmérséklet-szabályozással tartjuk kézben és a hőmérsékletet pedig a befűjt levegő mennyiséggel szabályozzuk. A fél-üzemi berendezés kapacitása $\sim 10 \text{ m}^3/6 \text{ nap}$. A tapasztalat szerint üzemi kialakításhoz a fél-üzemi berendezés jó támpontot ad.

A kommunális iszap cellulózbontó képessége (É-pest: 8 000 – 9 000 mg glükóz/L·d) lényegesen elmarad az enzimés vagy az energiafűvel bedolgozott anaerob rendszer aktivitásától, mert a kommunális iszap rothasztásánál a cellulóz származékok nem meghatározó szubsztrátok. Ha cellulózra bedolgozunk egy anaerob rendszert az anaerob iszap cellulóz lebontási képessége (10 000 – 11 000 mg glükóz/L·d) alig marad el az enzim-adagolásnál mért aktivitásától. A cellulózra adaptált oltó iszapok, vagy a gombás adalék rendszerek celluláz aktivitása lényegesen nagyobb, mint a rothasztókból származó iszapok enzim aktivitása.

A növényi cellulóz anyagok feltárást alapvetően a komposztálási folyamat kezdő fázisában a *H. lanuginosus*, *Chaetomium*- és *Coprinus*-fajok (tintagomba) végzik. A cellulóz feltárásában meghatározó szerepet játszanak a természetben mindenütt jelenlévő gomba törzsek (*Ascomyceta* fonalgombák: *Trichoderma* nemzetség fajai, *T. viride*, *T. reesei*, *T. harzianum*, *T. atroviride*). A feltárásban részt vesznek a termofil aerob baktériumok (*Streptomyces* nemzetség, *Actinomycetes* fajok, *Thermobifida cellulolytica*) is. A cellulóz tartalmú anyagok feltárását a természetes körülmények (talaj, cellulóz tartalmú növények: kukorica szár, gabona félek, fű félek, takarmány növények stb.) között jelenlévő gomba és termofil baktérium törzsek elszaporításával végezzük.

A gombás elő-kezeléssel a fél-üzemi anaerob kísérleteknél 14 és 29 napos tartózkodási időnél gáztermelésben a kontrollhoz képest 20 és 22 %-os növekedést értünk el. A gombás elő-kezelés hatására gáztermelésben nem csak növekedést értünk el, hanem kirothadás folyamata (azonos lebontási határfok mellett) a feltárás hatására (4 – 5 nappal) csökken

Irodalom

Bánhegyi J., Tóth S., Ubrizsy G., Vörös J. (1985 – 87): Magyarország mikroszkópikus gombáinak határozókönyve 1 – 3. kötet

Hernádi, S. (1980): Papíripari anyagvizsgálat, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980

- Kamra P, Satyanarayana T. (2004): Xylanase production by the thermophilic mold Humicola lanuginosa in solid-state fermentation. Appl. Biotechnol. 119 (2): 146–57*
- Liu, D., - Wong, P.T.S.,- Dutka, B.J. (1973): Determination of carbohydrate in lake sediment by a modified phenol-sulfuric acid method, Water Research, Vol. 7, 741 – 746*
- Maheshwari, R., – Bharadwaj, G., –Bhat, M. K. (2000): Thermophilic Fungi: Their Physiology and Enzymes. Microbiol. Mol. Biol. Rev. vol. 64, no. 3, 461– 488*
- Malherbe, S., - Cloete, T.E. (2002): Lignocellulose biodegradation: Fundamentals and applications. Reviews in Environmental Science and Biotechnology, Volume 1/2002, 105 – 114*
- Oláh, J., – Palkó, Gy., – Rása, G. (2012): Cellulóztartalmú hulladékok és energianövények rothasztása. Magyar Energetika, XIX. Évfolyam, 3, 38 – 43*
- Thiel, P.G. – Hattingh, W.H.J. (1966): Determination of hydrolytic enzyme activities in anaerobic digesting sludge, Water Research, Vol. 1, 191 – 196*
- Tsuneo Watanabe (2002): Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi - Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species - CRC Press LLC, 2nd ed.*

