

## AMARÁNT ANAEROB BONTHATÓSÁGÁNAK KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA

*Dr. Bokányi Ljudmilla<sup>1</sup>, Varga Terézia<sup>2</sup>, Szaszák Adrienn<sup>3</sup>.*

egyetemi docens, intézeti tanszékvezető<sup>1</sup>, tudományos segédmunkatárs<sup>2</sup>, BSc hallgató<sup>3</sup>

*Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet*

### 1. Bevezetés

Az amaránt növény magja széles körben felhasználásra kerül: pl. az élelmiszeripar, az állattakarmányozás és kozmetika-ipar használja, ugyanakkor a növény levele és szára mezőgazdasági hulladékként jelenik meg. Megvizsgáltuk, hogy az étetéssel történő hasznosítás helyett, alkalmas-e az amaránt növény – a mag eltávolítását követően - biogáz előállítására megfelelő előkezelés után.

A növény szárának szerkezete cellulóz, amelynek mind aerob, mind anaerob biológiai lebontása nehézségekbe ütközik. Ezért a cellulóz-szerkezet roncsolása alapvető előfeltétele a további biodegradációnak. Megvizsgáltuk laboratóriumi körülmények között egyrészt az amaránt minta biogáz termelő képességét statikus berendezésben, másrészt azt, hogy a keverőmalom típusú mechanokémiai reaktorban végzett mechanikai előaktiválás okoz-e a biogáz-képződésben számottevően növelő változást.

### 2. A minta előkészítése és a mechanikai előaktiválás

A minta előkészítése (előaprítása, homogenizálása) a vizsgálatok első lépése. Az aprítás célja a fajlagos felület növelése a mikroorganizmusok jobb hozzáférhetősége érdekében. A Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetbe beérkező száraz amaránt mintát (1. ábra) először függőleges tengelyű vágómalomban (2. ábra) aprítottuk, majd második lépcsőben Retsch vágómalomban (3. ábra) tovább csökkentettük a szemcseméretet 1 mm alá a biogázos elővizsgálathoz, ill. 500µm alá a mechanikai előaktiváláshoz.



1. ábra: A vizsgált amaránt minta



2. ábra: Függőleges tengelyű vágómalom



3. ábra: Retsch vágómalom

A mechanikai előaktiválás célja az amaránt cellulóz, rostos szerkezetének a roncsolása, melynek eredményeként a biogáz hozam fokozható. E mellett a fajlagos felület további növelése is a cél a nagyobb mérvű anyagátbocsátás érdekében.

Az előaktiválást a tanszéki fejlesztésű keverőmalomban végeztük nedves mechanokémiai kezelés útján. A nedves kezelés előnye a száraz eljárással szemben, hogy víz jelenlétében a hőmérséklet emelkedése és a folyamatos mechanikai igénybevétel a szerkezet roncsolását eredményezi hozzájárulva a cellulóz-szerkezet anaerob lebontásának első lépcsőjének, hidrolízisnek megkezdéséhez.

Az Intézet saját fejlesztésű (4. ábra) keverőmalom-reaktor falazata, valamint a tengelyre rögzített tárcsák és őrlőtestek nagy kopásállóságú  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kerámiából készültek. Az őrlés a keverőmalomban egyrészt az őrlőtestek egymáshoz ütődésének következménye, másrészt az őrlőtestek a falnak ütközése következtében lép fel, ehhez a tárcsák és őrlőtestek közötti súrlódás is hozzájárul.

Az őrlés során a súrlódás hatására a hőmérséklet nő, amit opcionálisan csökkenthetünk a köpenybe vezetett vízhűtéssel. Az őrlés a tárcsák és őrlőtestek (őrlőgolyók) hatására fellépő fizikai erők hatására megy végbe, míg a cellulóz-hidrolízis elősegítése a mechanokémiai hatások által valósul meg.

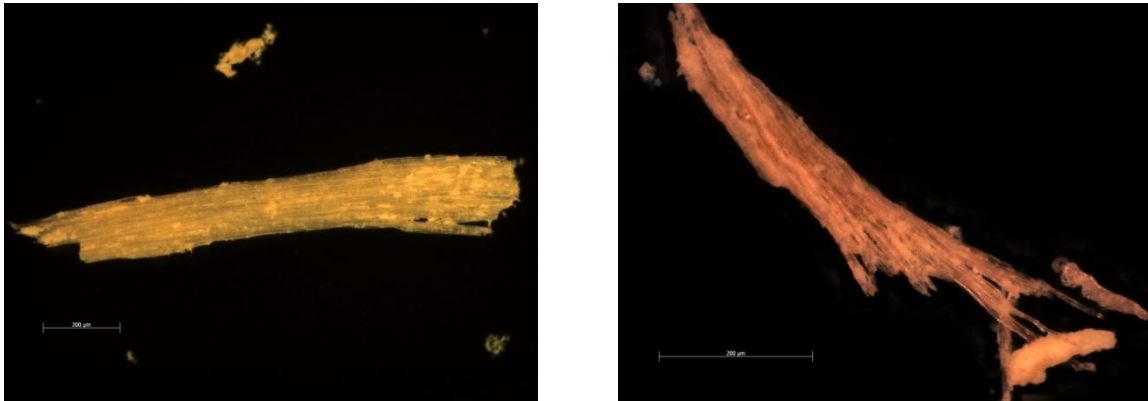


4. ábra: Kerámiabéléses, keverőmalom típusú mechanokémiai reaktor

Az amaránt-szár mechanikai aktiválásához 5 tömeg%-os szuszpenziót állítottunk elő az előaprított mintát felhasználva. Őrlőtestek 1-1,2 mm-es kerámia golyók voltak, melyet 60%-os töltési fokban adtunk be. Az előaktiválást különböző tartózkodási idők (5, 10, 20, 30, 60 perc) mellett végeztük el. A kerületi sebesség 5m/s. A berendezés lehetővé teszi az energiafelvétel mérését, továbbá meghatároztuk a hőmérséklet növekedését is az egyes kísérleteknél. Nem használtuk a malom köpenyhűtését, feltételezve, hogy a magas hőmérséklet szintén elősegíti az amaránt-szár szerkezetének roncsolását.

A különböző tartózkodási időnél végzett előaktiválásokat követően meghatároztuk a szuszpenziók szemcseméret-eloszlását nedves szitálással, valamint a Horiba Practica LA-950 típusú lézeres berendezéssel. Az őrlési idő növelésével csökkent a minták szemcsemérete, azaz nőtt a fajlagos felülete, ami kedvező a mikroorganizmusok által történő anaerob lebontás szempontjából.

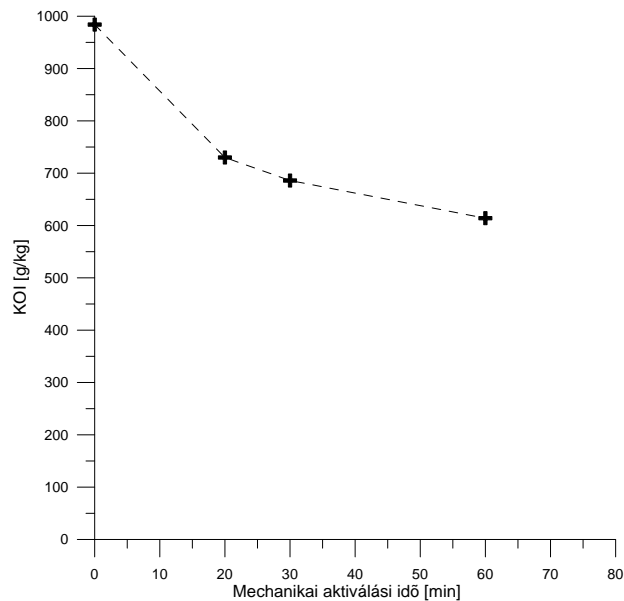
Megvizsgáltuk az előaktivált mintákat optikai mikroszkóppal, annak érdekében, hogy lássuk, hogy történt-e változás az amaránt minta szerkezetében. Az 5. ábrán került összehasonlításra egy 30 perces és egy 60 perces őrlést elszenvedett amaránt-szár részecskéről készített felvétel. Látható, hogy a hosszabb őrlési idő esetében a rostok bizonyos mértékben szétváltak egymástól, számottevően megbomlott a szálak szerkezet integritása.



5. ábra: A 30 perces keverőmalmi őrlés (bal) és 60 perces keverőmalmi őrlés (jobb) utáni szemcse optikai mikroszkópos felvétele (125-250 µm szemcseméret-tartomány)

Megvizsgáltuk továbbá az őrlési idő függvényében a kémiai oxigénigény (KOI) érték változását is (6. ábra). A kémiai oxigén igény kifejezi, hogy mekkora mennyiségű oxigén szükséges a vizsgált anyag kémiai úton való oxidációjához. A KOI-érték csökkent az őrlési idő növelésével. A kiindulási minta (<math><500\mu\text{m}</math>) KOI értéke 984 g/kg volt, 30 perces mechanikai aktiválást követően ez az érték 686 g/kg-ra, míg 60 perces őrlés után 614 g/kg értékre, mintegy 37,6 %-kal lecsökkent.

A mechanikai előaktiválás során fellépő kémiai oxigénigény értékének drasztikus csökkenése azt feltételezteti, hogy az előkezelt amaránt-szár anaerob bonthatósága pozitívan alakul. Az is feltételezhető, hogy az őrlési idő növelésével a minták várhatóan egyre nagyobb gázhozamot fognak eredményezni a biogáz vizsgálatok során a fajlagos felület növekedése és a cellulóz szerkezetben végbement pozitív változások következtében.



6. ábra: Amaránt-szár KOI-értékének változása a keverőmalomban való őrlési idő függvényében

### 3. Biogáz-képződésének vizsgálata

A szerves hulladékok anaerob lebontása energetikailag hasznosítható környezetbarát és megújuló biogázt eredményez. Megvizsgáltuk laboratóriumi körülmények között a mag eltávolítása után hulladékként jelentkező amaránt-szár biogáz leadó képességét, mind az előaprított minta (<1mm), illetve a 10, 20, 30 percig mechanikailag előaktivált minták esetében is. Az anaerob bontási vizsgálatokat laboratóriumi statikus berendezésben végeztük el termofil hőmérsékleten a Nyeranyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet Bioeljárástechnikai Laboratóriumában.

A berendezés egy vízfürdőből, termosztátból, valamint kénsavas telített sóoldatot tartalmazó gázmennyiség mérő egységekből áll, ahogy ezt a 7. ábrán láthatjuk. A megfelelően előkészített mintát Erlenmeyer lombikokba helyeztük, ill. inokulumot adagoltunk. A lombikokat gázbiztosan csatlakoztattuk a gázmennyiség mérő egységekhez, majd a vízfürdőbe helyeztük. A képződő gáz mennyiségét térfogat-kiszorítás útján határoztuk meg.

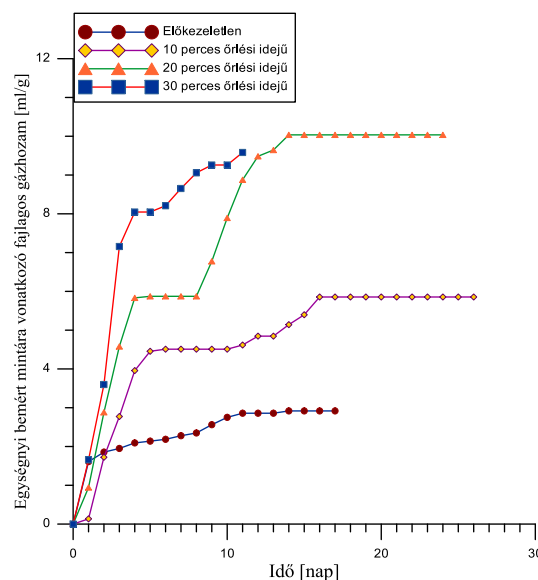
A laboratóriumi statikus biogáz berendezésben megvizsgáltuk az előaprított minta (<1mm) és a keverőmalom-reaktorban mechanikailag előaktivált minták anaerob bonthatóságát. Az első esetben a száraz mintához vizet kevertünk, míg a második esetben a nedves keverőmalmi őrlések utáni szuszpenziókat vizsgáltuk. Minden esetben szarvasmarha trágyát adtunk inokulumként. A lombikokat



7. ábra: Laboratóriumi statikus biogáz berendezés

alufóliával tekertük be a mikroorganizmusok számára szükséges sötét környezet biztosítása érdekében. A gáztermelődést 54 °C-os hőmérséklet mellett határoztuk meg. Párhuzamos méréseket végeztünk, amelyek eredményét a kiértékelésnél átlagoltuk.

Meghatároztuk a biogázos mérések során a gáztermelődés kinetikáját. A görbéről leolvasható a képződő maximális fajlagos gázmennyiség, ugyanakkor a görbe alakja a mechanikai előaktiválás nélküli, ill. előaktivált minták anaerob bonthatóságáról is információt ad.



8. ábra: A nyers- és mechanikailag előaktivált amaránt-szár minták kumulált fajlagos gázhozamai az idő függvényében

A8. ábrán látható az előkezelés nélküli, valamint a 10, 20 és 30 perces őrlést követő minták tömegre vonatkoztatott fajlagos kumulált gázhozamai. Noha az elért biogáz hozamok lemaradnak a nem cellulóz alapú szubsztrátokra jellemzőektől, az ábrán bemutatott kísérleti adatokból egyértelműen látszik, hogy a mechanikai előkezeléssel 2..4 vagy feltételezhetően 6-szorosára nőtt a napi kumulált fajlagos gázhozam.

A maximális gázhozam értéke a nedves őrlési idő növekedésével is nőtt, bár ez utóbbinál a 30 percig őrlött minta hosszabb vizsgálati időt szükségeltetett volna (sajnálatos módon más mintához kellett a berendezés). Ugyanakkor a trend egyértelműen azt mutatja, hogy a 60 perces őrlés utáni minta gázhozama tovább javulna a 30 perceséhez képest.

Az amaránt-szár mechanikailag előkezelt minták biogáz-leadó képességének vizsgálata minden esetben lépcsőzetes, több inflexiós ponttal rendelkező görbéket eredményezett. E közben a nyers mintánál szignifikánsan csak egy inflexiós pont mutatható ki: az a pont, ahol a biogáz képződés intenzitása megnő. A mechanikailag előaktivált mintákra jellemző görbéinek inflexiós pontjai más-más szerves fázisok biogázzá való átalakulását jelzik. Ez azt jelenti, hogy a mechanikai előaktiválás révén több korábban nehezen bontható organikus fázis lebonthatóvá alakult át az anaerob mikroorganizmusok számára.

A görbék platóinak hossza azonban egyre csökkent az őrlési idővel. Ez nem jelenthet mást, mint az egyes szerves fázisok anaerob lebontási sebessége nő az őrlési idő növelésével.

#### **4. Konklúziók**

A biohulladéknak számító amaránt-szár minta biogáz termelő képességének laboratóriumi vizsgálata során, a keverőmalom típusú mechanokémiai reaktorban végzett mechanikai előaktiválás után és anélkül, az alábbiakat állapítottuk meg:

1. A cellulóz-szerkezetű szubsztrátok mechanikai előaktiválása pozitív hatással van az anaerob lebontás mértékére és intenzitására.
2. Noha az elért biogáz hozamok lemaradnak a nem cellulóz alapú szubsztrátokra jellemzőektől, a kísérleti adatokból egyértelműen látszik, hogy a mechanikai előkezeléssel 2..4 vagy feltételezhetően 6-szorosára nőtt a maximális fajlagos gázhozam.
3. A maximális gázhozam értéke a nedves őrlési idő növekedésével nő.
4. Az amaránt-szár mechanikailag előkezelt minták biogáz-leadása lépcsőzetes, több inflexiós ponttal rendelkező görbékkel jellemezhető, miközben a nyers mintánál szignifikánsan csak egy inflexiós pont mutatható ki: az a pont, ahol a biogáz képződés intenzitása megnő.
5. A mechanikailag előaktivált mintákra jellemző görbeinek inflexiós pontjai más-más szerves fázisok biogázzá való átalakulását jelzik, a mechanikai előaktiválás révén több - korábban



nehezen bontható - organikus fázis lebonthatóvá alakult át az anaerob mikroorganizmusok számára.

6. A görbék platóinak hossza egyre csökkent az őrlési idővel, vagyis az egyes szerves fázisok anaerob lebontási sebessége nő az őrlési idő növelésével.
7. Az amaránt-szár tekintetében a még mindig relatíve alacsony gázhozam és a nagy befektetett energia miatt a mechanikai előkezelést követő biogázosítása pillanatnyilag nem nyújthat még iparilag megvalósítható gazdaságos megoldást, ugyanakkor egyértelmű a kapott kísérleti eredmények jelentősége a cellulóz-alapú hulladékok aerob, anaerob és fermentációs biokezelése terén. A megkezdett kutatást feltétlenül folytatni kell!

*A tanulmány és kutató munka a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV -2012-0005 jelű projekt részeként, a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ tevékenységének részeként az Új Széchenyi Terv keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.*

## 5. Felhasznált irodalom

Dr. L. Alexa, Dr. L. Bokányi, Prof. Dr. B. Csőke, T. Varga: A novel complex MSW and biomass processing system with the economical and environmental target to maximize waste-to-energy output, 19th European Biomass Conference, Berlin, ISBN 978-88-89407-55-7, 2011., p.1851-1857

Ráczy Á., Mucsi G., Ultrafinom őrlmények előállítása keverőmalomban, Bányászat és Kohászati Lapok- Bányászat, 145. évfolyam, 5. szám

T. Varga, L. Bokányi: Energetic utilization of municipal sewage sludge and the applicable pre-treatments for the increased biogas yield – 1st Knowbridge Conference on Renewables, (2010), p. 69-75, ISBN 978-963-661-944-2

Üveges, V. – Mucsi G. - Bokányi, L.: EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF LEACH-GRINDING PROCESS FOR THE RECYCLING OF EAF DUST Micro CAD International Scientific Conference (kiadvány), 2008, p. 93-98. ISBN 978-963-661-812-40