

BIOGÁZ-TERMELŐDÉS MATEMATIKAI MODELLEZÉSE

Varga Terézia¹, Dr. Bokányi Ljudmilla²

¹tudományos segédmunkatárs, ²egyetemi docens

Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet

BEVEZETÉS

A biogáz-üzemek száma Európai Unióban egyre nő. Az üzem tervezésének alapja az anaerob fermentációs eljárás alapjelenségeinek kellő mértékű megértése. Akkor tekinthetjük az eljárást biztonságosan tervezhetőnek, ha az alapjelenségeket matematikailag is le tudjuk írni empirikus vagy fenomenológiai modell segítségével. Ebben a tanulmányban beszámolunk néhány kísérleti adatsorunk Gompertz-féle egyenlettel való leírásáról.

MINTAELŐKÉSZÍTÉS ÉS KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA

Az anaerob lebontást négyféle hulladékkal végeztük el, - két zöldhulladék és két szilárd települési hulladék finom szemcseméret frakciójával (<50mm). A zöldhulladék minták fizikai és kémiai paramétereiben nagymértékben nem, viszont összetételükben különböztek egymástól. A Zöld hulladék/I. jelű minta többségében száraz faleveleket tartalmazott és a Zöld hulladék /II. pedig nagyobb arányban faaprítékot. A települési hulladék minták esetében jelentős eltérés adódott a vizsgált paraméterekben a minták minőségi jellege következtében. A TSZH/I. minta a begyűjtött települési hulladék finom frakcióját képezte, míg a TSZ/II. jelű minta valamelyest stabilizált települési hulladék finom frakciója volt.

A laboratóriumi biogáz vizsgálatra való feladás előtt a mintákat homogenizáltuk, mintakisebbítettük, majd függőleges tengelyű vágómalommal aprítottuk 1mm alá.

1. táblázat
Hulladékok fizikai és kémiai paramétere

	Zöld hull./I.	Zöld. hull./II.	TSZH/I.	TSZH/II.
Szárazanyag tart. (%)	66.44	69.02	58.99	56.34
Hamu tart. (%)	34.53	42.2	40.94	56.6
KOI (g/kg sz.a.)	705.90	739.85	600.90	417.85
TOC (g/kg sz.a.)	201.90	207.85	194.00	153.65
össz. N (g/kg sz.a.)	8.98	11	11.05	10.20

*sz.a. – szárazanyagra vonatkoztatott értékek

Alkalmazott berendezés

A biogáz termelés vizsgálatához szakaszos üzemű, statikus laboratóriumi berendezést alkalmaztunk (1. ábra) a ME Bioeljárás-technikai Laboratóriumunkban. Az előkészített hulladék mintákat vízzel keverve, ill. kis mennyiségű inokulum hozzáadásával Erlenmeyer lombikokba helyeztük. A lombikokat gázbiztosan csatlakoztattuk a gázmérő egységhez, illetve a lombikokat alufóliával betekertük a mikroorganizmusok számára szükséges sötét környezet biztosítása érdekében, végezetül pedig a reaktorokat vízfürdőbe helyeztük. A lebontást termofil hőmérsékleti tartományon (~54°C) vizsgáltuk.



1. ábra: Statikus laboratóriumi berendezés
(Bokányi L., Varga T., 2011)

A képződő biogáz mennyiségét térfogat kiszorítás elvét követve naponta meghatároztuk. Minden esetben párhuzamos mérést végeztünk és a kapott értékeket átlagolva meghatároztuk a kumulált biogáz hozamot.

BIOGÁZ-TERMELŐDÉS KINETIKAI MODELLJE

1825-ben egy angol matematikus, Benjamin Gompertz kidolgozott egy modellt bizonyos biológiai rendszerek növekedési folyamataira, melyet tudósok több tudományágban alkalmazhatónak találtak.

A Gompertz-féle egyenlet módosított alakját gyakran alkalmazzák metán, hidrogén vagy biogáz termelődés matematikai leírására [1, 2, 3, 4]. Azt feltételezve, hogy a biogáz termelődési sebesség szakaszos (batch) üzemmódban megfelel a metanogén baktériumok fajlagos növekedési sebességének,

a biogáz termelődés sebessége megbecsülhető az alábbi, módosított Gompertz-féle egyenlet segítségével [5]:

$$y = A \exp \left\{ -\exp \left[\frac{\mu_m e}{A} (\lambda - t) + 1 \right] \right\} \quad (1)$$

ahol,

y – fajlagos kumulált biogáz-mennyiség, amely t idő alatt képződött [L/kg]

A – biogáz termelődési potenciálja [L/kg]

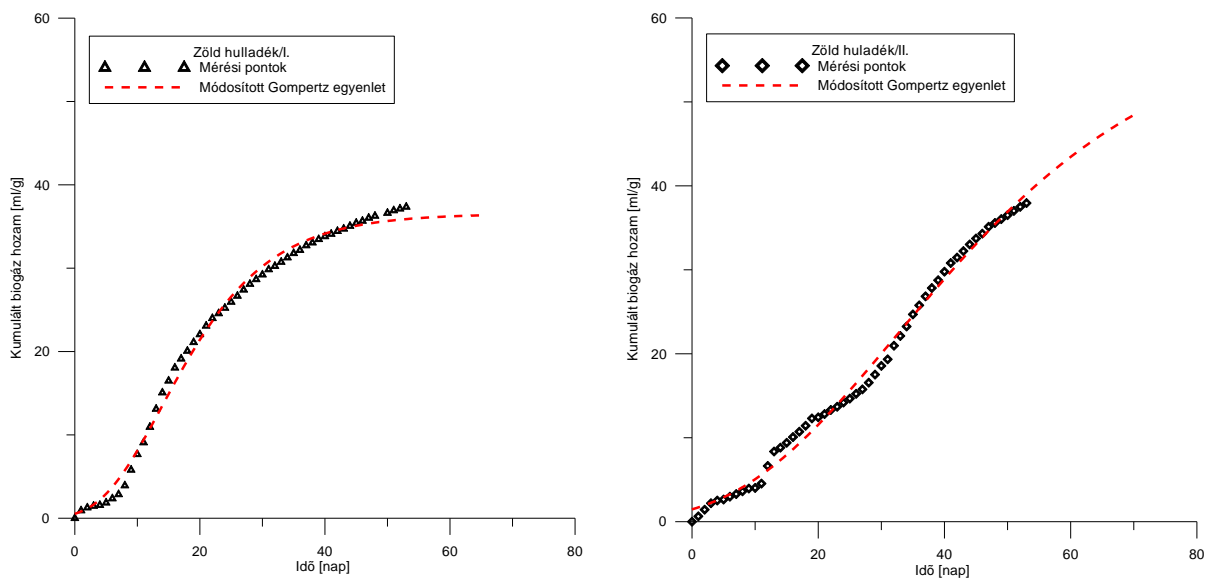
μ_m – maximális fajlagos biogáz termelődési sebesség [$Lkg^{-1}nap^{-1}$]

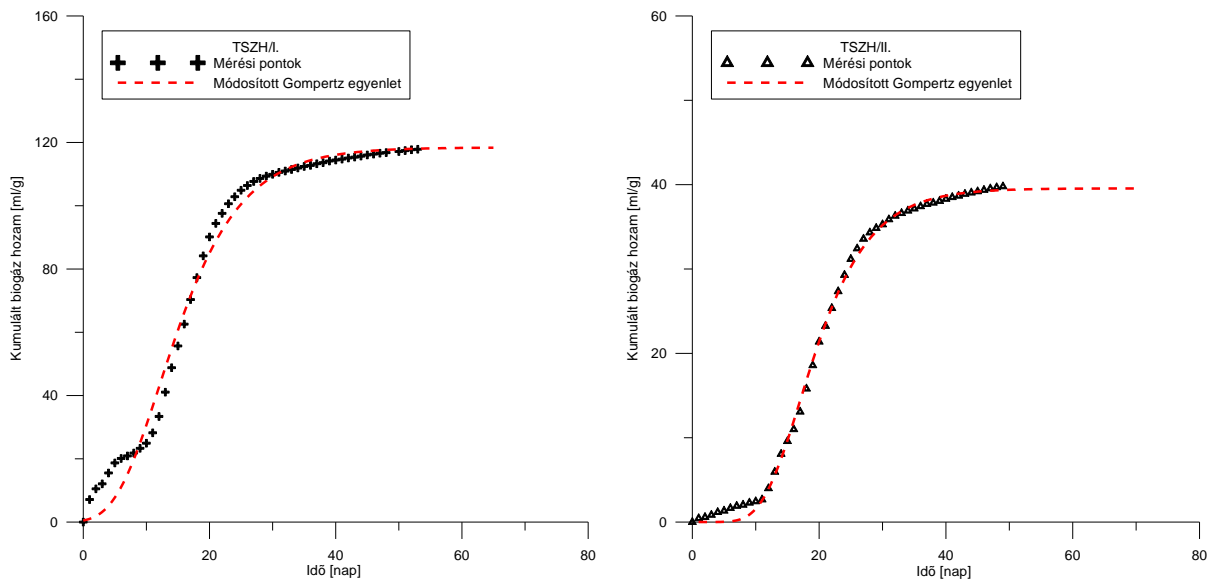
λ – lag fázis (nap) az a minimális idő, ami a biogáz termelődéséhez szükséges, avagy a baktériumoknak a környezethez való alkalmazkodáshoz szükséges idő [nap].

A modellt szemi-fenomenológiaiak lehet tekinteni, mivel pl. a mikrobiológiai aspektuson belül csak a szimbiózisban existáló, négy csoportú mikroorganizmusok közül csupán a metanogénét veszi a górcső alá [6].

EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK

Az alábbi, 2. ábra szemlélteti a különböző hulladékminták statikus laboratóriumi berendezésben, termofil hőmérsékleti tartományban végzett anaerob lebontási vizsgálatából származó kumulált gáztermelődési kinetikáját. A mérési pontokra a fent leírt módosított Gompertz-féle egyenlet-függvényt illesztettünk Grapher 7.0 programmal. Ezeket is a 2. ábrán feltüntettük.





2. ábra: Kumulált fajlagos biogáz hozamok, termofil hőmérsékleten (54°C) végzett anaerob lebontás során és a módosított Gompertz egyenlet alapján illesztett görbék

A módosított Gompertz-féle egyenlet segítségével meghatározhatók a kinetikai paraméterek, amelyeket az 2. táblázat foglalja össze. A táblázatban a paraméterek mellett a korrelációs együttható négyzete is szerepel. Az utóbbi értékeiből jól látható, hogy az illeszkedés elegendően jó. A módosított Gompertz-féle egyenlet tehát jól leírja a statikus körülményekre vonatkozó biogáz képződésének kinetikáját.

2. táblázat: A módosított Gompertz-féle egyenlet kinetikai paramétereit

	A	μ_m	λ	R^2
Zöld hulladék/I.	36,51	1,39	4,30	0,9945
Zöld hulladék/II.	60,18	0,89	7,72	0,9938
TSZH/I.	118,40	6,12	5,03	0,9873
TSZH/II.	39,54	2,41	11,05	0,9979

A gáz-termelődés kinetikai egyenletének paraméter vizsgálatából kitűnik, hogy a kis értékű λ és a maximális fajlagos biogáz termelődési sebesség μ_m magas értéke biztosítja az iparban kívánatos magas biogáz termelődést. Azt is láthatjuk, hogy az azonos vagy hasonló összetételű szubsztrát (TSZH I és TSZH II) eltérő gáz-termelődést is produkálhat. Ez ismét felhívja a figyelmünket a biogáz előállítási eljárás összetettségére. Ezen kutatás folytatni kívánjuk.

ÖSSZEFOGLALÁS

1. Az anaerob fermentáció alapjelenségeinek matematikai leírása empirikus vagy fenomenológiai modell segítségével nagyon fontos a biogáz-üzemek technológiai tervezése szempontjából.
2. A módosított Gompertz-féle egyenlet jól leírja a ME Bioeljárás-technikai Laboratóriumunkban statikus termofil körülmények között kapott kísérleti adatainkat.
3. A modellt szemi-fenomenológiai lehet tekinteni, mivel pl. a mikrobiológiai aspektuson belül csak a szimbiózisban exisztáló, négy csoportú mikroorganizmusok közül csupán a metanogénét veszi a górcső alá.
4. A gáz-termelődés kinetikai egyenletének paraméter vizsgálata alapján megállapítható, hogy a kis értékű λ és a maximális fajlagos biogáz termelődési sebesség μ_m magas értéke biztosítja az iparban kívánatos magas biogáz termelődést.
5. A hasonló összetételű szubsztrát eltérő gáz-termelődést is produkálhat. Ez ismét felhívja a figyelmünket a biogáz előállítási eljárás összetettségére.

A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

IRODALOM

- [1] Y. Mu et al.: Kinetic modeling of batch hydrogen production process by mixed anaerobic cultures, *Bioresource Technology* 97, 2006, p.1302-1307
- [2] S. Ledakowicz et al.: General characteristics and biochemical methane potentials (BMP) of various energy crops grown in Poland, *Proceedings Venice 2010, Third International Symposium on Energy from Biomass and Waste, Italy, 2010*
- [3] M.O.L. Yusuf et al.: Ambient temperature kinetic assessment of biogas production from co-digestion of horse and cow dung, *Res. Arg. Eng.*, Vol 57., 2011., No 3., p.97-104

[4] H.M. Lo et al: Modeling biogas production from organic fraction of MSW co-digested with MSWI ashes in anaerobic bioreactors, *Bioresource Technology* 101, 2010, p.6329–6335

[5] Budiyo, I N. Widiyasa, S. Johari, and Sunarso: The Kinetic of Biogas Production Rate from Cattle Manure in Batch Mode, *International Journal of Chemical and Biological Engineering*, 3:1; 2010, p.39-44.

[6] Bokányi L., Varga T.: Digitális tananyag, *Hulladékgazdálkodás*, 6.3 Biológiai eljárások c fejezet, 6.3.2. Hulladékok kezelése anaerob eljárásokkal c. alfejezet, www.hulladekonline.hu.