

KARAKTERIZACIJA BIOHEMIJSKIH PARAMETARA I SINERGIJSKIH EFEKATA PRIMARNOG MULJA I KODIGESTIJA OSTATAKA OD HRANE

CHARACTERIZING BIOCHEMICAL PARAMETERS AND SYNERGISTIC EFFECT OF PRIMARY SLUDGE AND FOOD WASTE CO-DIGESTION

IVAN BOGDANOVIĆ¹
NIKOLA RAKIĆ²

Originalni naučni rad
DOI: 10.5937/VIK24443B

Rezime: Šaržni eksperimenti koji se fokusiraju na ravnotežu hemijske potrošnje kiseonika izgledaju kao prikladan metod za dokazivanje sinergijskih efekata kodigestije. Odnos mešanja od 1/3 primarnog mulja/otpada od hrane (zapreminska osnova) pokazao je najveći učinak dostižući proizvodnju biogasa od 618,7 mL/g VS. Sinergijski višak je premašio potencijal dobijen u pojedinačnim ispitivanjima i iznosio je 7,1%, 12,8% i 17% ulaznog COD-a za kodigestije 1, 2 i 3, respektivno. Testovima je uočena skoro neutralna pH vrednost. Iako je zapremina dodatog otpada od hrane bila relativno mala, najviše je doprinela ukupnoj proizvodnji biogasa.

Ključne reči: primarni mulj, otpad od hrane, kodigestija, sinergija

Abstract: Batch experiments focusing on COD balance seem to be suitable method to prove synergetic effects of co-digestion. The 1/3 mixing ratio of primary sludge/food waste (volume basis) showed the highest performance reaching the biogas production of 618.7 mL/g VS. Synergy surplus exceeded potential obtained in individual trials and amounted 7.1%, 12.8% and 17% of input COD for co-digestions 1, 2 and 3, respectively. Almost neutral pH value was observed through tests. Even though volume of added FW was relatively low, food waste contributed the most towards total biogas production.

Key words: primary sludge, food waste, co-digestion, synergy

1. Uvod

Anaerobna digestija je predložena kao relativno isplativa tehnologija za proizvodnju obnovljive energije i tretman materijala sa visokim sadržajem vlage i energije.

¹ Ivan Bogdanović, JKP „Vodovod i kanalizacija“, Kralja Aleksandra I Karađorđevića 48, Kragujevac, ivan.bogdanovic72@gmail.com, ORCID: 0009-0006-6581-8673

² Nikola Rakić, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet inženjerskih nauka, Sestre Janjić 6, Kragujevac, nikola.rakic@fink.rs, ORCID: 0000-0001-7755-849X

je [7]. Takođe, anaerobna digestija igra važnu ulogu u tretmanu mulja tako što smanjuje zapreminu, poboljšava stabilnost, uništava patogene i proizvodi biogas, koji se može koristiti kao izvor energije [1]. Istorijski gledano, anaerobna digestija se prvenstveno koristila kao proces za uklanjanje organskog otpada, a ne kao sredstvo za stvaranje biogasa [3]. Danas, postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda sa implementiranim digestivnim procesom igraju ključnu ulogu u zaštiti vodotokova od zagađenja, uglavnom zbog svoje jednostavnosti i visoke efikasnosti u uklanjanju organskih materija iz otpadnih voda [4].

Kada je reč o kodigestiji, ona je izvodljiva metoda za proizvodnju biogasa u laboratorijskim i industrijskim razmerama. Glavni izazovi u proizvodnji biogasa korišćenjem tehnologije kodigestije su evaluacija ograničavajućih faktora i koraka, kalibracija parametara, dinamičko ponašanje mikroorganizama i karakterizacija organskih materijala [6].

Zajednička digestija može rezultirati ne samo većim prinosom biogasa (uzrokovanim većim prinosom biogasa u otpadu od hrane u poređenju sa kanalizacionim muljem), već i ubrzanom proizvodnjom biogasa. Brza hidroliza otpada od hrane u ranoj fazi procesa često rezultira faktorima inhibicije koji utiču na stabilnost i održivost kodigestije. Glavni faktori kočenja su amonijalne i kiseline akumulacije uzrokovane brzim razlaganjem lako svarljivog otpada od hrane do isparljivih masnih kiselina. Ovaj mehanizam dovodi do drastičnog pada pH vrednosti ukoliko nema dovoljno puferskog kapaciteta.

Korišćene tehnike anaerobnog biološkog ispitivanja su relativno brze i precizne metode za procenu potencijala biogasa i ravnoteže hemijske potrošnje kiseonika uzoraka. Štaviše, rezultati se mogu izraziti korisnim inženjerskim terminima koji su pogodni za ocenu performansi procesa. Digestije pojedinačnih supstrata se mogu koristiti za izračunavanje sinergijskog efekta kodigestije kao dodatnog prinosa biogasa u odnosu na izmereni prosek pojedinačnih prinosa. Sinergija nastaje usled pozitivnih efekata mešanja, boljeg snabdevanja makro i elemenata u tragovima i intenzivnije kometaboličke degradacije.

2. Materijali i metode

Za šaržne testove, uzorci inokuluma i primarnog mulja su prikupljeni iz Sistema za prečišćavanje otpadnih voda „Cvetojevac“ JKP „Vodovod i kanalizacija“ Kragujevac. Mešavina mulja se u ovom objektu tretira u mezofilnim uslovima (približno 37°C) sa hidrauličkim vremenom zadržavanja od 21 dan. Efluent digestora je korišćen kao inokulum. Otpad od hrane je dobijen iz doma Studentskog centra Kragujevac. Glavne komponente uključivale su nepojedenu hranu iz kantine i ostatke pripremljene hrane iz kuhinje.

Eksperimenti biohemijskog metanskog potencijala korišćeni su za otkrivanje mogućnosti proizvodnje biogasa različitih smeša. Četiri različite proporcije primarnog mulja i otpada od hrane testirane su u dvostrukim ponavljanjima: 3/1, 1/1, 1/3 i 1/0 (digestija).

Zapreminski uslovi prihrane reaktora za svaki serijski test mogu se videti u tabeli 1. pH vrednost je beležena korišćenjem digitalnog pH analizatora. Hemijska potrošnja kiseonika je ispitivana zatvorenom $K_2Cr_2O_7$ refluks metodom. Biogas koji nastaje tokom anaerobne šaržne reakcije je meren pomoću vlažnog merača protoka gasa.

Tabela 1. Sastav sirovina korišćenih u BMP testu

Table 1. Composition of feedstock used in BMP tests

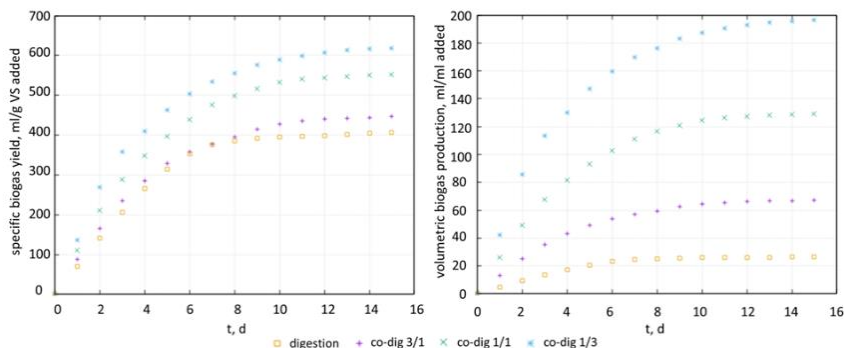
V (l)	V _I	V _{PS}	V _{FW}	% (VS) FW
co-d ₁	3.458	0.407	0.135	23.56
co-d ₂	3.626	0.187	0.187	30.86
co-d ₃	3.715	0.071	0.214	34.35
dig	3.015	0.985	0	n/a
In	3	0	0	n/a

3. Rezultati

Razvoj specifične proizvodnje biogasa digestije primarnog mulja i mešavina za kodigestiju ilustrovan je na Grafiku 1 levo. Serijski testovi su otkrili da je dodavanje otpada od hrane povećalo specifični prinos u poređenju sa digestijom, koja je pokazala najnižu prosečnu kumulativnu proizvodnju biogasa. Veći prinos kodigestivnih smeša je verovatno uzrokovan boljom svarljivošću samog otpada od hrane i komplementarnim karakteristikama digestorskog medijuma.

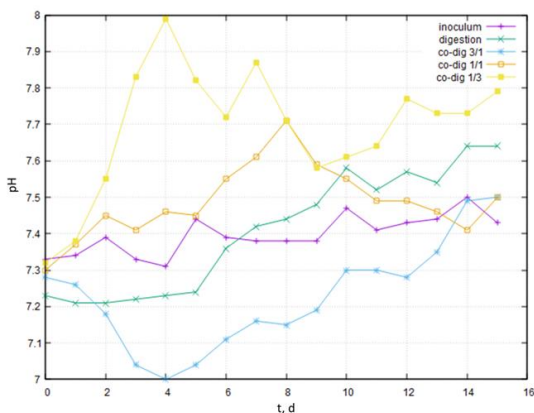
Posle 15 dana digestije, ispitivanje 3/1 (446,9 ml/g VS) pokazalo je prosečan specifični prinos biogasa za 10% veći od samog primarnog mulja (407,0 ml/g VS). Specifična kumulativna proizvodnja biogasa iz 1/1 kodigestijskog odnosa bila je 552,6 ml/g VS. Slika takođe pokazuje da je najizdašnija proporcija smeše bila 1/3, čiji je prosečan prinos biogasa bio 618,7 ml/g VS.

Ovo predstavlja povećanje od 52% i 38% u odnosu na monodigestiju i 3/1 kodigestiju, respektivno. U poređenju sa 1/1 količnikom, specifični prinos biogasa pri kodigestiji 1/3 pokazao je prosečan rast od 12%. Najveće povećanje proizvodnje biogasa uočeno je između kodigestija 3/1 i 1/1, iznosi 24%, i u skladu je sa sadržajem isparljivih čvrstih materija (VS) u smešama [5].



Grafik 1. Normalizovane kumulativne proizvodnje
Graph 1. Normalized cumulative production

pH koncentracija ima važan uticaj u digestijskom sistemu, jer utiče na rastvorljivost organskih materija. Njom se može ispitivati stabilnost procesa i ukazivati na povoljnu atmosferu za mikrobe. Enzimske reakcije mikroorganizama zavise od pH vrednosti [6]. U ovom eksperimentu, blago kiselo stanje supstrata (pH 5,4-6,5) je uravnoteženo finom pH vrednošću inokuluma (7,45). pH vrednosti kodigestije nisu varirale u odnosu na monodigestiju takoreći uopšte (slika 1). Otpor na promenu pH u reaktoru zavisi od puferskog kapaciteta. Isto tako, kanalizacioni mulj i procedne vode obogaćeni su raznim solima; stoga se odgovarajući odnos primarnog mulja u otpadnoj hrani i alkalija generisanih iz aktivnog mulja može koristiti za puferovanje isparljivih masnih kiselina i održavanje optimalnog pH [2]. Čak i bez dodavanja pufera, pH je ostao praktično neutralan tokom testova u svim tretmanima imajući statistički beznačajne fluktuacije, osim kod 1/3 kodigestije.

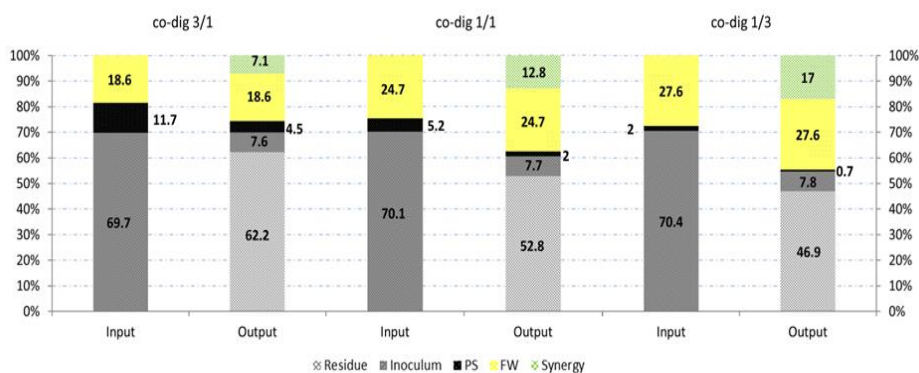


Slika 1. pH vrednosti u reaktorima
Figure 1. pH values in reactors

Bilans hemijske potrošnje kiseonika (COD) se može koristiti za kvantifikaciju obima sinergijskih efekata u ovoj studiji. Bilans je izražen jednačinom:

$$COD_{Ino} + COD_{PS} + COD_{FW} = COD_{Bio} + COD_{Res},$$

gde ulazni COD uključuje inokulum, primarni mulj i otpad od hrane, a izlazni COD u produkovanom gasu i digestatu. Tokom kodigestija je uočena dodatna proizvodnja biogasa, što se pripisuje sinergijski efektima usled dodatnog obezbeđivanja hranljivih materija (slika 2). Verovatno je da je sinergijski metabolizam rezultirao obimnijim razlaganjem kao i višim specifičnim prinosom biogasa za mulj, semeni i primarni.



Slika 2. Kodigestivni efekti izraženi kroz COD
Figure 2. Codigestive effects expressed through COD

4. Zaključak

Eksperimenti su pokazali da mali dodatak otpada od hrane u primarni mulj umereno povećava prinos biogasa u poređenju sa samim muljem. Mikrobiološki fluks zahteva optimalan pH. Sinergijski efekat, posmatran kroz test biohemijskog metanskog potencijala i balans COD-a, u velikoj meri se pripisuje većem stepenu degradacije i poboljšanim stopama proizvodnje.

5. Literatura

- [1] Kim D. J, Lee J, Bioprocess Biosyst. Eng. 35, 289–296. <https://doi.org/10.1007/s00449-011-0588-x>, 2012.
- [2] Mehariya S, Patel A.K, Obulisamy P.K, Punniyakotti E, Wong J. W. C, *Bioresour. Technol.* 265, 519–531. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.04.030>, 2018
- [3] Muñoz P, Cordero C, Tapia X, Muñoz L, Candia O, *Clean Technol. Environ. Policy* 22, 725–733. <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01803-z>, 2020.

- [4] Nazari L, Yuan Z, Santoro D, Sarathy S, Ho D, Batstone D, Xu C. C, Ray M. B, *Water Res.* 113, 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.055>, 2017.
- [5] Rakić N, Šušteršič V, Gordić D, Jovičić N, Bošković G, Bogdanović I, *Bioenergy Research*. <https://doi.org/10.1007/s12155-023-10620-8>, 2023
- [6] Siddique M. N. I, Wahid Z. A, *J. Clean. Prod.* 194, 359–371. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.155>, 2018.
- [7] Xu F, Li Y, Wang Z. W, *Prog. Energy Combust. Sci.* 51, 49–66. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2015.09.001>, 2015.