

Projektiranje bioreaktora u ŽCGO Marišćina

Fabio Giacometti i Josip Dedić,
Ekoplus d.o.o.
Marčelji, Pogled 2/4, 51216 Viškovo
ekoplus@ekoplus.hr

Vodice, ožujak 2017. god.

- *Govorimo o bioreaktoru kad na odlagalištu, izvršimo stabilizaciju otpada kontroliranim doziranjem procjednih voda.*
- *Bioreaktor znatno povećava:*
 - *Stupanj razgradnje organskog otpada*
 - *Brzina razgradnje*
 - *Efikasnost razgradnje*
- *...koji se u normalnom odlagalištu odvijaju u daleko dužem periodu”*

Ciljevi koji se mogu postići korištenjem osušenog biološkog materijala

- Logika bioreaktora je maksimalno nadzirati proces biološke razgradnje.
- Pomoću deponiranja **osušenog materijala**, mikrobiološka aktivnost, odnosno proizvodnja bioplina i procjednih voda, je maksimalno usporena i minimizirana dok se vlažnost ne povećava dodatkom vode, **odnosno dok se bioreaktor ne aktivira**:
 - Kad se započinje proces razgradnje
 - A tada se vodi pri maksimalnoj brzini.
- Ubrzanje takvog procesa znači:
 - Poboljšati iskorištenje bioplina (odnosno proizvodnja električne energije)
 - Smanjiti potrebno vrijeme za stabilizaciju deponiranog otpada, odnosno ponovno korištenje tako dobivenog prostora.

- **Aktivirajući anaerobni bioreaktor:**

- Vlažnost otpada se povećava povratom procjednih voda i dodatkom drugih tekućina do optimalne vrijednosti vlage.
- Biodegradacija se provodi bez prisustva kisika (anaerobna) i proizvodi se bioplin.
- Bioplin, prvenstveno CH_4 i CO_2 , mora se sakupljati kako bi se maksimalno smanjio utjecaj stakleničkih plinova te kako bi se proizvodila energija.

- **Aktivirajući *as-built* bioreaktor:**

- Odlagalište koji se od gradnje postavlja kao bioreaktor;
- Komponente bioreaktora se ugrađuju paralelno sa deponiranjem otpada
- Pošto realizacija sustava ide paralelno sa deponiranjem otpada, metode dodavanja vode se mogu preciznije postaviti.

Prednosti aktivirajućeg bioreaktora

- **Recirkulacija procjednih voda**
 - Recirkulacija procjednih voda, povećava vlažnost i istovremeno bitno smanjuje trošak obrade istih voda.
- **Mogućnost zbrinjavanja više otpada**
 - Dokazano je da se tom metodom može dobiti od 15 do 30 % više prostora na odlagalištu na račun veće gustoće tako zbrinutog i stabiliziranog otpada. Ekonomska računica je tako u iskorištavanju novo dobivenog prostora.
- **Brzina proizvodnje bioplina**
 - U aktivirajućem bioreaktoru, brzina proizvodnje bioplina je veća sa prednošću da se može sakupiti veća količina u kraćem vremenu nego na običnom odlagalištu.
- **Utjecaj na okoliš**
 - Bioreaktor bitno smanjuje utjecaj na okoliš pošto se otpad stabilizira u kraćem periodu, odnosno kada je cijeli sustav još u funkciji, kada je odlagalište još pod povećanim nadzorom, a infrastruktura na maksimalnom stupnju korištenja.
- **Nakon zatvaranja odlagališta, održavanje, rizici**
 - Bioreaktori daju mogućnost smanjenja troškova zatvaranja odlagališta, odnosno manji troškovi održavanja nadzora te manjih rizika. Odlagalište se stabilizira u kraćem vremenu od običnog odlagališta tako da se smanjuju troškovi upravljanja i nadzora.

Problemi aktivirajućeg bioreaktora

- **Nadzor bioplina i mirisa**

- Proizvodnja bioplina u bioreaktoru znatno je pojačana u usporedbi s uobičajenim odlagalištima; ukoliko se bioplina ne sakuplja efikasno, problem neugodnih mirisa i drugi problemi koji mogu utjecati na okoliš, mogu biti i veći nego oni iz odlagališta.

- **Požari i eksplozije**

- U uporabi aerobnog reaktora, postoji mogućnost stvaranja džepova bioplina i zraka.
- Granice eksplozivnosti metana se kreću od 5 do 14 % ali to vrijedi isključivo uz prisutnost zraka. Prisutnost drugih plinova, kao na primjer CO₂, smanjuje granice eksplozivnosti, pa time i opasnost od požara i eksplozije;
- Druga opasnost koja može dovesti do požara jest samozapaljenje nižih spojeva u bioplinu čija se temperatura samozapaljenja može postići mikrobom aerobnom razgradnjom otpada.

- **Bioplin** je nusproizvod anaerobne razgradnje otpada;
- Bioplin se uglavno sastoji od
 - metana (CH_4)
 - Ugljičnog dioksida (CO_2).
 - i H_2S , NH_3 , H_2O odnosno drugih hlapljivih komponenata.
- Proizvodnja bioplina koja se može dobiti u kratkom vremenu omogućuje:
 - Veću proizvodnju energije
 - Smanjeni utjecaj na okoliš.
- Sustav koji stvara vakuum u sustavu prihvata plina mora se voditi tako da se ne omogućuje unos zraka u masu otpada. Zrak bi usporio proces smanjivanjem metanogenetske aktivnosti mikroorganizama, a mogla bi uzrokovati i požar.

Kvantitativni aspekti upravljanja bioreaktorom

- Jako je bitno odrediti koliko se plina može proizvesti u bioreaktoru.
 - U fazi projektiranja, kako bi se po kriterijima efikasnosti, ekonomičnosti i uspješnosti izvršilo dimenzioniranje opreme
 - Generator struje koji će koristiti proizvedeni bioplin kao energent
 - Sustavi aspiracije;
 - Sustavi sakupljanja:
 - U fazi korištenja,
 - Radi nadzora kako bi se biološki procesi odvijali u optimalnim uvjetima.
- Procjena moguće proizvodnje po modelu Landgem
- Proizvedeni metan se obračunava po cijelom periodom rada bioreaktora. Jednadžba koja opisuje proces anaerobne razgradnje, odnosno proizvodnja metana ovisno o vremenu opisuje jednadžbu prvog reda:

$$L(t) = BMP * (1 - e^{-kt})$$

gdje:

- $L(t)$ je proizvodnja bioplina u vremenu t
- BMP je kapacitet zaostale biometanizacije kao paramet otpada u trenutku analize
- K je brzina biorazgradnje

- **BMP predstavlja maksimalna mogućnost dobivanja bioplina razgradnjom organske komponente prisutna u analiziranom uzorku i mjeren u laboratorij pod optimalnim uvjetima (pH i vlažnost).**
- Istraživanja eksperimentalnih podataka na nekoliko postrojenja su pokazali da vrijednost k od $0,7 \text{ godina}^{-1}$ dobro opisuje proces.
- **Proizvodnja bioplina u bioreaktoru, u odnosu na odlagalište je:**
 - Veća ali ne značajno,
 - Koncentrirana u kraćem vremenskom periodu (5-6 godina u odnosu na 30 godina)

Procjena proizvodnje električne energije

- Uzimajući u obzir da sastav metana u bioplin iznosi 50%, proizvodnja bioplina se može pretvoriti u električnoj energiji po vremenu (kWh/h), koristeći izraz pretvorbe:

$$1 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 = 3,6 \text{ kWh,}$$

- Te preko njega odrediti snagu generatora.
- U tom procesu dolazi do sagorijevanja bioplina i proizvedena toplina se može **rekuperirati**, naročito iz dimnih plinova i iz grijanja generatora.

Nadzor aktivirajućeg bioreaktora:

- Odnos CH_4 - CO_2
- Količina proizvedenog plina po jedinici vremena može nam pokazati stupanj aktivnosti bioreaktora.
- Količina plina po jedinici vremena pokazuje efikasnost sustava sakupljanja bioplina.
- Bioreaktori s efikasnim sustavom sakupljanja plina pokazuju prisutnost veće količine plina od suhog odlagališta.
- Posebno pažnju treba usmjeriti prema prisutnošću N_2 i O_2 u bioplina koji se sakuplja iz odlagališta (Optimalno bi bilo pratiti sadržaj Ar).

• Procjedne vode i bioplin

- Procjedne vode se stvaraju kontaktom otpada sa vodom i sadrže:
 - Otopljene i suspendirane soli sličnih karakteristika kao i deponiranog otpada,
 - Nusproizvodi kemijskih i bioloških reakcija na odlagalištu.
- Procjedne vode „mladog” odlagališta imaju
 - Visoki sadržaj otopljenih tvari
 - Visoki sadržaj organskih tvari.
- Procjedne vode mogu sadržavati i tragove opasnih tvari koje se nalaze u otpadu: teški metali, organske tvari slabe razgradljivosti, ecc.
- U klasičnom odlagalištu, nakon sakupljanja, procjedne vode se moraju odvoziti, skladištiti, tretirati i zbrinuti.

- **Količina procjednih voda**

- Današnjim metodama pokrova odlagališta, nakon zatvaranja odlagališta, količina recirkuliranih procjednih voda je glavni čimbenik rada.
- Razina proizvodnje procjednih voda se mjenja od **1.1 do 13.5 m³/ha/dan**,
- Procjedne vode u recirkulaciji predstavljaju **40 do 70% ukupno sakupljenih količina**.

- **Proizvodnja i gubitak bioplina**

- Proizvodnja bioplina se jednostavno određuje;
- Teže je odrediti emisiju bioplina iz aktivnih polja.
- Eksperimentalni podaci pokazuju da povećana proizvodnja bioplina uzrokuje i veću vjerojatnost gubitka plina kroz pokrov.

Nadzor aktivirajućeg bioreaktora: razmišljanja o kvaliteti procjednih voda

- **pH** – pokazuje u kojoj je fazi bioreaktor (kiselogeneza/metanogeneza)
- **Alkalinitet** – mogućnost neutralizacije kiselogenetskog poremećaja
- **BPK/KPK** – pokazatelj postignute stabilnosti otpada;
- **Kloridi** – pokazatelj prodora kišnice (kod prodora, smanjuje se količina klorida)

Hidraulična vodljivost

- Treba spriječiti poplavu deponiranog materijala u bioreaktoru, jer, kao što je već rečeno, može negativno utjecati na sakupljanje bioplina i procjednih voda.
- **Poplava se dobiva kada je hidraulička vodljivost manja od brzine infiltracije,**
- Hidraulička vodljivost direktno i striktno ovisi o postignutoj gustoći otpada :
- - **Što se više zgusne gustoća se povećava i hidraulična vodljivost smanjuje.**
- **Hidraulična vodljivost je vezana uz praznih džepove deponiranog otpada koji omogućavaju brzi protok vode odnosno efikasniju protočnost.**

- Hidraulična vodljivost K se procjenjuje pomoću ovisnosti:

$$K = C_1 * \exp (-C_2 \times R)$$

- Gdje je:

- C_1 dimenzionalna konstanta (m/s), obično vrijednosti 0,0124
- C_2 bezdimenzionalna konstanta obično vrijednosti 14,8
- R izračunava se prema ovisnosti:

- $R = (H_0 - H) / H$

- Gdje je :

- H visina deponiranog materijala u trenutku obračuna
- H_0 početna visina.

Postizanje optimalne vlažnosti

- Najvažnija varijabla na kojoj se temelji nadzor rada bioreaktora je količina dodane vode:
- U stvarnosti, kada vlažnost nije dovoljna, procesi anaerobne razgranje se ne razviju, ili ukoliko su već započeti, onda se zaustavljaju.
- Kao dokaz bitnog utjecaja vlažnosti otpada na proizvodnji bioplina, izračunata je ovisnost vlažnosti i brzine proizvodnje bioplina:

$$q_{\text{biogas}} = 0,024 * e (0,15 * w_{\text{att}})$$

- Gdje je:
 - w_{att} uobičajna vlažnost odlagališta
 - q_{biogas} [$\text{cm}^3/(\text{kg}_{\text{otpada}} * \text{d})$] je dnevna proizvodnja plina po kg otpada

Procjena količine vode koja se mora dodati

- Cilj faze aktivacije je povećati vlažnost otpada na vrijednosti od 35-40%.
- Kako bi se postigao ovaj cilj, moramo znati:
 - Vlažnost otpada prime dodavanja vode,
 - Prosječna propusnost deponiranog materijala, obično 40%
 - Sljeganja koja su se dogodila procjenjena odgovarajućim matematičkim modelom
- Moguće je izračunati volumen vode koja će se dodati po toni otpada [m^3/t] jednostavnim izrazom, krećući od prosječne vlažnosti deponiranog materijala:

$$q_{H_2O} = W / M = (w_{ott} - w_{att}) / ((1 - w_{ott}) * \rho_{H_2O})$$

- Gdje je:
 - W ukupni volumen potrebne vode(mc)
 - M masa deponiranog otpada kojeg želimo vlažiti (t)
 - w_{att} postojeća vlaga na odlagalištu,
 - w_{ott} željena vlaga,
 - ρ_{H_2O} gustoća vode (t/mc)

Kapacitet dodavanja vode / brzina penetracije

•Vrijeme kontakta između vode i otpada mora biti takav da voda može prodreti u otpad. Vrijeme kontakta je u ovisnosti o hidrauličnoj vodljivosti.

Dovoljna je brzina prodora od 10^{-6} m/s.

•Hidraulična vodljivost deponiranog materijala K izračunata takvim izrazom je red veličine $10^{-4} - 10^{-5}$ m/s.

•To znači da ako djelujemo na 10^{-6} m/s, osigurali smo:

- Vrijeme kontakta voda/otpad
- Nemogućnost stvaranja zona zadržavanja voda unutar mase otpada

•Maksimalno navodnjavanje Q_{\max} (m^3/s) se izračunava izrazom:

$$Q_{\max} = v * A * \varepsilon$$

•Gdje je:

- v optimalna brzina prodora odnosno 10^{-6} m/s
- A površinu kopju želimo navodnjavati
- ε prosječna protočnost deponiranog materijala

Procjena postignute vlažnosti

- Tijekom iskorištavanja bioreaktora, postignuta vlažnost se procjenjuje preko bilance masa:

$$w_{att} = ((L_o * M) + I + LA - P) / M * 100$$

- Gdje je:
 - w_{att} trenutna karakteristična vlažnost odlagališta
 - L_o vlažnost otpada kod deponiranja
 - M masa otpada kod deponiranja u bioreaktoru
 - I infiltracija kišnice u bioreaktor
 - LA ukupna dodana tekućina (zbroy procjednih voda i drugih dodanih tekućina)
 - P sakupljena procjedna voda

Stabilizacija deponiranog otpada

- Glavni čimbenici razvoja procesa metanogenetske razgradnje su:
 - Vlažnost odlagališta
 - **Kompaktiranje deponiranog otpada definiran kao volumna masa.**
- Ukoliko je volumna masa od 200 do 500 kg/m³, u tom slučaju nema proizvodnje metana.
- **Optimalna vrijednost volumne mase je između 500 i 1000 kg/m³.**
- Veće vrijednosti volumne mase usporavaju proces.

Nadzor procesom pomoću karakterizacije bioplina

- Smanjenje ukupne proizvodnje bioplina i povećanje koncentracije CO_2 , može biti indikator inhibicije procesa razgradnje metanogeneze:
 - acidifikacija procesa
 - Prisutnost inhibirajućih tvari kao na primjer NH_3 .
- Na isti način, bitno smanjenje koncentracije CH_4 može biti pokazatelj loše mikrobiološke razgradnje zbog:
 - Neodgovarajuća vlažnost,
 - procesi di acidifikacije.
- Povećanje koncentracije O_2 može biti pokazatelj prodora zraka u masi otpada.
- Prisutnost CO : vrijednosti ispod 100 ppm pokazuju izraziti anaerobni proces.

Bilanca emisija stakleničkih plinova

- Pošto, ispuštanje u atmosferu bioplina koji se generira na odlagalištima nije u skladu sa Kyotoovskim protokolom, već godinama postoji obveza njegovog sakupljanja i spaljivanja .
- Emisije plina sa odlagališta predstavljaju 3-5 % svjetskih emisija ukupno.
- Glavni dio emisije je takozvani **fugitivni plin**, odnosno onaj dio plina koji se ne uspije sakupljati zbog nedostatka sustava ili zbog ograničenja takvih sustava. Isto tako, to se odnosi i na onaj plin koji se nastavlja proizvoditi i nakon prestanka perioda njegovog sakupljanja.

- Bioplin, pošto se uglavno sastoji od metana i ugljičnog dioksida, bitno i jako utječe na efekt staklenika.
- Čak i sam proces spaljivanja, i bez rekuperacije topline, može biti koristan pošto metan ima GWP (Global Warming Potential) koji je 21 puta jači od ugljičnog dioksida, odnosno puno je bolje ispustiti CO₂ iz spaljivanja metana nego sam CH₄.
- Pošto je metan glavni sastojak bioplina, ukoliko se bioplin spaljuje radi proizvodnje električne energije u generatore, sakupljeni metan se uopće ne ispušta u atmosferu.
- Proizvedena energija bi se inače proizvodila izgaranjem fosilnih goriva, sa dodatnom ispuštanjem stakleničkih plinova.

- Ukoliko od proizvedenog metana i od potrošene energije za preobradu otpada oduzmemo sprječene emisije vezane uz oksidaciju ugljika i eventualno nepotrošeno fosilno gorivo, zbog upotrebe vlastite energije
- **Čista emisija = Emisija proizvedenog CH₄ + Emisija transporta – (Emisija proizvedene energije + Zarobljeni ugljik)**

FOD metoda (First Order Decay)

- Ta metoda izračunava sve količine na godišnjoj razini.
- Zbirna emisija, po cijelom vijeku bioreaktora se stavlja u odnos sa sveukupnim deponiranim otpadom.
- Emisija metana (CH_4 out) se obračunava po sljedećem izrazu

$$CH_4out = (CH_4 gener - R) * (1-OX)$$

- gdje:
 - R je rekuperirani metan (u tonama) tijekom vijeka bioreaktora, izračunat kao 80 % (efikasnost sakupljanja) proizvedenog metana;
 - OX je faktor oksidacije, odnosno udio metana koji se ne rekuperira te oksidira u namom bioreaktoru. Uobičajni iznos u dobro upravljanim odlagalištima (naročito sa stanovišta nadzora pokrova) iznosi 0,1;
 - CH_4 gener je metan proizveden od deponiranog otpada.

POZDRAV S MARIŠČINE

