

PRIMJER ODRŽIVOSTI BIOREAKTORSKOG ODLAGALIŠTA KOMUNALNOG OTPADA

EXAMPLE OF SUSTAINABLE BIOREACTOR LANDFILL FOR MUNICIPAL WASTE

Autor: Marin Herenda, dipl.ing. H-Projekt d.o.o. Zagreb, Horvaćanska cesta 162

Koautor: Kristina Tomašić, dipl.ing.građ. H-Projekt d.o.o. Zagreb, Horvaćanska cesta 162

Sažetak:

Osnovna namjera ovoga članka je da na primjeru jednog prosječnog budućeg županijskog odlagališta u Republici Hrvatskoj, pokuša prikazati bitne karakteristike bioreaktorskog anaerobnog odlagališta otpada. Poseban naglasak se nalazi na činjenicama kojih moraju biti svjesni svi učesnici u planiranju i projektiranju bioreaktorskog odlagališta prethodno obrađenog komunalnog otpada.

Ključne riječi: Bioreaktorsko odlagalište, komunalni otpad

Summary:

The main purpose of this article is to try in the case of an average future County landfill in Croatia, to show the essential characteristic of anaerobic bioreactor landfill. Special emphasis is based on facts which all the participants should be aware off in the planning and designing of a bioreactor landfill with pre-treated municipal waste.

Key words: Bioreactor landfill, municipal waste

1. Uvod

Bioreaktorska odlagališta komunalnog otpada su odlagališta koja moraju biti zamišljena, projektirana, izgrađena, održavana, vođena i korištena na način kojim se osigurava ubrzani proces razgradnje organskih tvari u odloženom otpadu.

Osnovni razlozi zbog kojih se grade ovakva odlagališta su očekivana povećana produkcija odlagališnog plina, brža stabilizacija i inertizacija odloženog otpada te ušteda odlagališnog prostora.

Svjetska iskustva upućuju na činjenicu da ne postoje standardizirana rješenja za odlagališta na koja se odlaže prethodno obrađeni komunalni otpada te da je primjena bioreaktorskih odlagališta na koja se odlaže prethodno obrađeni komunalni otpad još uvijek u fazi razvoja i proučavanja.

Zbog toga će se na primjeru jednog prosječnog budućeg županijskog odlagališta u Republici Hrvatskoj, u vrlo općenitim crtama, pokušati približiti činjenice kojih moraju biti svjesni svi učesnici u planiranju i projektiranju bioreaktorskog odlagališta prethodno obrađenog komunalnog otpada, a koje se temelje na:

- Zakonskoj regulativi Republike Hrvatske i smjericama zemalja EU koje imaju relevantna iskustva s bioreaktorskim odlagalištima;
- Specifičnim procesima koji nastaju unutar bioreaktorskog odlagališta prije i tijekom njegove eksploatacije te;
- Eventualnoj financijskoj koristi.

2. Zakonska regulative

Prema zakonskoj regulativi Republike Hrvatske predviđeno je slijedeće:

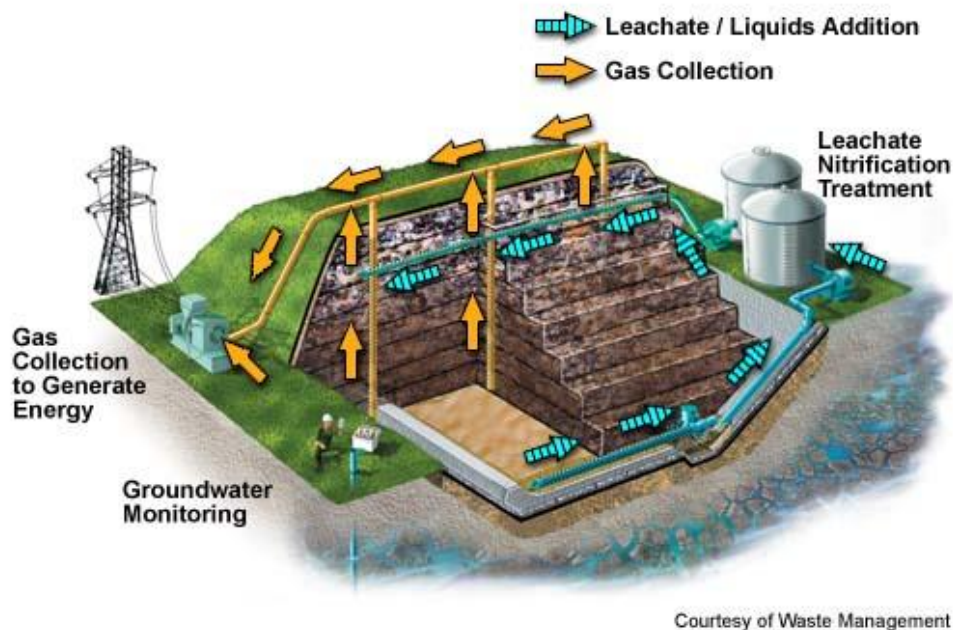
- Otpad, čija se vrijedna svojstva mogu iskoristiti, mora se oporabiti, osim u iznimnim slučajevima;

- Otpad predviđen za odlaganje, mora se prethodno obraditi tehnološkim postupkom odabranim na temelju analize isplativosti, uz uvažavanje mjera gospodarenja otpadom prema najboljoj dostupnoj tehnologiji koja ne zahtijeva previsoke troškove;
- U Centrima za gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj je zabranjeno odlaganje komunalnog otpada ukoliko mu masa biorazgradive komponente premašuje 35% od ukupne mase;
- Odlagališni plin potrebno je sakupiti, obraditi i koristiti, a ako se sakupljeni odlagališni plin ne može upotrijebiti za dobivanje energije, treba ga spaliti na području odlagališta ili spriječiti njegovu emisiju u zrak.

3. Otpad u biorektorskom odlagalištu

Ulazna komponenta otpada koji će se odlagati na biorektorsko odlagalište predstavlja osnovu za dimenzioniranje sustava. Neophodno je dobro analizirati i kvalitetno definirati količine otpada i sastav otpada s čime su povezane sve buduće aktivnosti na odlagalištu. Odlagalište koje je odabrano kao primjer ima slijedeće karakteristike:

- Godišnje će se odložiti 70.000 t prethodno obrađenog komunalnog otpada;
- Masa biorazgradive komponente ne premašuje 35% ukupne mase;
- Biorazgradivu komponentu čine sporije razgradivi materijali (npr. koža, drvo, papir, karton, itd.);
- Aktivacija biorektorskog odlagališta se odvija u petogodišnjim ciklusima na slijedeći način: Nakon pet godina odlaganja obrađenog komunalnog otpada, biorektorsko odlagalište se prekriva kako bi se osigurali anaerobni uvjeti, a odloženi otpad se „aktivira“ kontroliranim dodavanjem vode, čime započinje kontrolirana ekstrakcija odlagališnog plina s ciljem proizvodnje električne, odnosno toplinske energije



Slika 1 – Shematski prikaz anaerobnog bioreaktorskog odlagališta

Na temelju definiranog sastava i količina otpada, odredit će se način i dinamika ugradnje otpada, iz čega proizlaze bitne veličine za rad i održavanje bioreaktorskog odlagališta, a od kojih se posebno ističu vodopropusnost i stabilnost.

Vodopropusnost

Vodopropusnost ugrađenog otpada je vrijednost koja kod bioreaktorskog odlagališta može varirati od $k = 10^{-3}$ do 10^{-10} m/s. Princip je da slabija vodopropusnost dovodi do manje zasićenosti otpada vodom, odnosno do toga da je manji dio otpada obuhvaćen ubrzanim procesom razgradnje. Poznati su primjeri iz prakse kada je 90% otpada ostalo suho, dok je sva voda, naknadno dodana u bioreaktorsko odlagalište, prošla kroz preostalih 10% otpada.

U određenim uvjetima pojavljuje se i veća vodopropusnost u horizontalnoj ravnini u odnosu na vertikalnu propusnost ($k_h/k_v \geq 10$) što može dovesti do niza problema tijekom ugradnje otpada te rada bioreaktorskog odlagališta i njegovog održavanja (npr. izbijanje procjedne vode na pokose, začepljivanje drenažnih cijevi, velike količine vode u plinskim bunarima i plinovodima, a u ekstremnim slučajevima i do potpunog prestanka vertikalnog protoka vode kroz otpad).

Stabilnost

Dodavanjem vode potiče se proces razgradnje biološke komponente otpada u odlagalištu. Razgradnja dovodi do diferencijalnih slijeganja, koja mogu biti čak i do 20% s obzirom na heterogeni sastav otpada i brzinu razgradnje. To pak može dovesti do smanjene stabilnosti ugrađenog otpada, a sigurno će dovesti do deformacija u drenažnim cijevima kojima se voda dovodi u tijelo otpada te u plinovodima kojima se plin odvodi izvan tijela otpada.

4. Utrošak vode u biorektorskom odlagalištu

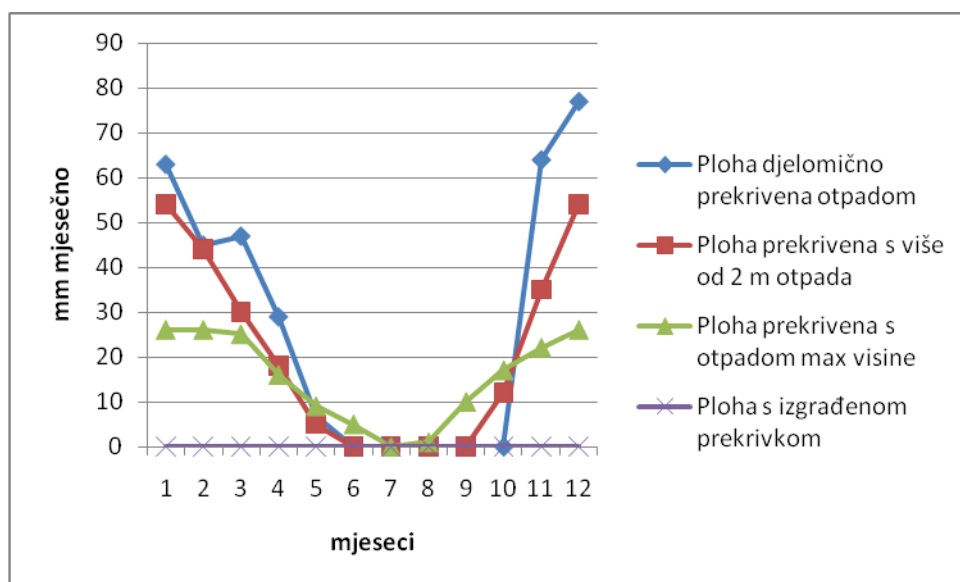
Način i dubina prodiranja vode kroz otpad, do njegove optimalne saturacije, je nepoznata vrijednost koju je vrlo teško izračunati, pa čak i predvidjeti, zbog heterogenog sastava otpada i njegove zbijenosti unutar odlagališta koja se može kretati i do 1.400 kg/m^3 . Zbog toga, opsežan monitoring već izvedenog sustava, predstavlja osnovu na temelju koje se provodi izračun balansa: „Dodatak vode + Temperatura = Proizvodnja plina“. Općenito, premalo vode predstavlja problem jer ne dolazi do ubrzane razgradnje, a previše vode otežava, pa čak i sprječava, ekstrakciju plina.

Prema dosadašnjim svjetskim iskustvima, utrošak vode u biorektorskim odlagalištima se kreće od 100 l/t do 350 l/t odloženog otpada godišnje, iako se na pojedinim odlagalištima projektirana vrijednost zasićenosti otpada vodom kretala i do 800 l/t.

Za potrebe izrade ovoga članka, predviđeno je da utrošak vode na primjeru navedenog biorektorskog odlagališta bude 200 l/t odloženog otpada godišnje, što znači da će nakon pet godina, kada se odlagalište aktivira, a uz pretpostavku da se godišnje odlaže 70.000 t obrađenog otpada, trebati $200 \text{ l/t} * 350.000 \text{ t otpada} = 70.000.000 \text{ l vode}$, odnosno približno 192.000 l vode dnevno.

Kao voda za aktivaciju biorektorskog odlagališta se može koristiti procjedna voda, oborinska voda ili voda iz vodovodne mreže, odnosno njihova kombinacija. Prema proračunima prikazanim na Slici 2 – Količine procjedne vode na budućem odlagalištu, predviđa se da

količina procjedne vode neće biti dostatna za rad bioreaktorskog odlagališta te se mora računati s ostalim navedenim izvorima. U određenim slučajevima, potrebno je predvidjeti isključivo korištenje oborinske vode i/ili vode iz vodovodne mreže.



Slika 2 – Količine procjedne vode na budućem odlagalištu

5. Plin u bioreaktorskom odlagalištu

Anaerobnom razgradnjom otpada nastaju plinoviti produkti koje jednim imenom nazivamo odlagališni plin. Sastav i količina odlagališnog plina ovise o mnogim faktorima, a najvažniji su:

- Vrsta otpada i način odlaganja;
- Količina biorazgradivih materijala;
- Starost otpada;
- Temperatura unutar odlagališta;
- pH vrijednosti i sadržaj vlage unutar odlagališta;
- Koncentracije soli, kao što su sulfati i nitrati, unutar odlagališta itd.

Najzastupljeniji plinovi u odlagališnom plinu su metan (CH₄) i ugljični dioksid (CO₂), i čine približno 94% ukupne količine odlagališnog plina.

Odlagališni plin ima negativan učinak na atmosferu, ljude i okoliš, koji se očituje u pojačavanju „efekta staklenika“, povećanoj opasnosti za zdravlje ljudi te povećanoj opasnosti od požara i eksplozija na odlagalištu i oko odlagališta.

Jedan od osnovnih ciljeva izgradnje bioreaktorskog odlagališta je očekivana povećana produkcija odlagališnog plina, u odnosu na klasična odlagališta, a radi njegovog iskorištavanja u vidu proizvodnje električne i/ili toplinske energije.

Procjena produkcije odlagališnog plina na primjeru navedenog odlagališta je napravljena pomoću modela GASpr11. GASpr11 je metoda raspada prvog reda FOD (Tier 2) koja u obzir uzima tri vremena poluraspada, što odražava bolje rezultate u odnosu na standardnu metodu (Tier 1). Procjena količina odlagališnog plina je napravljena za vremensko razdoblje od 25 godina, a uzima u obzir i generiranje odlagališnog plina koji nastaje i migrira i prije aktivacije bioreaktorskog odlagališta od strane operatera.

Ulazni parametri korišteni prilikom procjene su:

- Ukupna količina odloženog otpada: 1.820.000 t;
- Postotak razgradivog materijala: 35% (maksimalna dozvoljena vrijednost);
- Temperatura plina: 45°C;
- Postotak metana: 50%;
- Postotak prikupljenog plina: 80% (maksimalna teoretska vrijednost).

Prema navedenoj procjeni, u budućem bioreaktorskom odlagalištu, će se moći maksimalno proizvesti i prikupiti 270 m³/h odlagališnog plina, što je teoretski dostatno za proizvodnju 1.300 kW energije.

Uz navedene ulazne parametre, evidentno je da postoji određeni energetska potencijal odlagališta, ali je isto tako evidentno da nisu zadovoljeni minimalni parametri koje propisuju neke europske institucije, kao npr. Agencija za zaštitu okoliša Engleske i Welsa, odnosno Škotska agencija za zaštitu okoliša, prema kojima protok sakupljenog plina mora biti veći od

600 m³/h kako bi se plin mogao koristiti za proizvodnju električne, odnosno toplinske energije.

Bitno je naglasiti da je ekstrakcija i iskorištenje odlagališnog plina rezultat svih prethodno navedenih aktivnosti te je direktno ovisno od točnosti proračuna, kvalitete izvedbe i ponajviše vještine održavanja sustava.

6. Financijska korist

Uz pretpostavku da su zadovoljeni tehnički preduvjeti za izgradnju bioreaktorskog odlagališta te da su ekonomska i društvena korist izgradnje bioreaktorskog odlagališta prihvatljive veličine (što također treba dokazati ukoliko se za rad bioreaktorskog odlagališta mora koristiti pitka voda iz vodovodne mreže), ostaje financijska korist izgradnje bioreaktorskog odlagališta. Prilikom izrade ovog primjera sve cijene su bazirane na trenutnim prosječnim cijenama radova i usluga na području Republike Hrvatske.

Prilikom izračuna, u obzir treba uzeti sve troškove, kao što su:

- Izgradnja vodovodne mreže dostatnog kapaciteta za rad bioreaktorskog odlagališta;
- Utrošak vode iz vodovodne mreže;
- Nabava i ugradnja pumpi i drenažnih cijevi;
- Nabava i ugradnja drenažnog šljunka oko cijevi;
- Nabava i ugradnja plinskih motor-generatora;
- Održavanje ugrađenih sustava (redovno i izvanredno održavanje drenažnog sustava, redovno, periodično i izvanredno održavanje sustava prikupljanja odlagališnog plina, redovno, periodično i izvanredno održavanje plinskih motor-generatora);
- Monitoring sustava (kontinuirano praćenje sastava i kvalitete plina i procjedne vode, monitoring vodopropusnosti i stabilnosti otpada, monitoring temperature unutar odlagališta, monitoring deformacija drenažnih cijevi i plinovoda);
- Izgubljeni volumen namijenjen za odlaganje otpada (5% ukupnog volumena odlagališta će se utrošiti na ugradnju drenažnih cijevi i šljunka), itd.

Na primjeru navedenog odlagališta bitna početna financijska sredstva se mogu prikazati na slijedeći način:

Drenažne cijevi

Drenažne HDPE cijevi, promjera 160 mm, se ugrađuju visinski na svakih 5 metara te na međusobnoj tlocrtnoj udaljenosti 8 metara, uz pretpostavku da je tlocrtna površina na kojoj je odložen otpad 35.000 m², a visina odlaganja do 20 m. To znači da će ukupno biti ugrađeno cca 8.500 m drenažnih cijevi, što generira troškove od 8.500 m * 200 Kn/m = 1.700.000 Kn.

Drenažni šljunak

Drenažni šljunak s niskim postotkom vapnenca se ugrađuje oko drenažnih cijevi kako bi se pokušala osigurati ravnomjerna raspodjela vode unutar bioreaktorskog odlagališta. Utrošak šljunka je 0,4 m³/m ugrađene drenažne cijevi, odnosno troškovi su 8.500 m * 0,4 m³/m * 250 Kn/m = 850.000 Kn.

Plinski motor-generatori

Troškovi nabavke i ugradnje jednog plinskog motor-generatora snage 600 kW_{el.} i protoka plina od 300 m³/h su približno 5.000.000 Kn.

Osim troškova nabavke i ugradnje opreme i materijala, vrlo visoki mogu biti i troškovi održavanja sustava, kao npr:

Utrošak vode iz vodovodne mreže

Ukupno je godišnje potrebno 200 l/t * 350.000 t ugrađenog otpada = 70.000.000 l vode, odnosno 192 m³ vode dnevno. Uz pretpostavku da će 50% potrebne vode biti voda iz vodovodne mreže dobijemo 192 m³ * 50% = 96 m³/dan, što generira troškove od 96 m³/dan * 15 Kn/m³ * 365 dana * 5 godina = 2.628.000 Kn.

Za potrebe izrade ovog članka nisu razmatrani ostali troškovi, ali ih svakako treba uzeti u obzir prilikom detaljnijih izračuna pošto određene vrijednosti, kao npr. izgubljeni volumen za odlaganje otpada ili troškovi održavanja, mogu dostići vrlo visoke vrijednosti.

Uz upisane troškove, pretpostavka je da će bioreaktorsko odlagalište stvarati i određenu dobit. Dobit se može realizirati prodajom eventualno proizvedene električne, odnosno toplinske energije, a što se može prikazati izrazom $600 \text{ kW}_{\text{el.}} * 250 \text{ radnih dana} * 24 \text{ sata} * 5 \text{ godina} * 0,36 \text{ Kn/kWh} = 6.480.000 \text{ Kn}$.

7. Zaključak

Jasno je da planiranje anaerobnog bioreaktorskog odlagališta predstavlja složeni problem, poglavito u pogledu projektiranja i održavanja. Složenost problema dodatno pojačava činjenica da se radi o odlagalištu s prethodno obrađenim komunalnim otpadom u kojem se nalazi manje od 35% biorazgradivog materijala, što predstavlja vrlo slab potencijal za proizvodnju odlagališnog plina, odnosno električne i toplinske energije. S druge strane se nalaze vrlo visoke prepreke u vidu ekonomske i financijske koristi te složenog održavanja i kontrole sustava. Zbog toga je neophodno pažljivo planirati te pri tome obuhvatiti sve navedene parametre, koristeći se sličnim europskim i svjetskim iskustvima u projektiranju anaerobnih bioreaktorskih odlagališta na koja se odlaže prethodno obrađeni komunalni otpad.

8. Popis literature

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5, Waste, 2006.

K. Munnich, J. Bauer, K. Fricke: Investigation on relationship between vertical and horizontal permeabilities of MBT wastes, 2005, Sardinia Tenth International Waste Management and Landfill Symposium.

Zakon o otpadu (NN 178/04, 111/06, 110/07, 60/08 i 87/09).

Plan gospodarenja otpadom u Republici Hrvatskoj za razdoblje 2007. - 2015. godine (NN 85/07 – točka 5.2.8).

Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 117/07).

H. Woelders, L. Lunning, F. Van Velthoven, H. Hermkes, H. Oonk: Dutch sustainable landfill research program – Four years experience with the bioreactor test cell Landgraaf, 2005, Sardinia Tenth International Waste Management and Landfill Symposium.

R. Thiel: Observed benefits and problems associated with leachate recirculation, 2005, Sardinia Tenth International Waste Management and Landfill Symposium.

K.L.Hughes, A.D.Christy: Encyclopedia of Agriculture, Food and Biological Engineering, 2003.

Environment Agency and Scottish Environment Protection Agency: Guidance on the management of landfill gas, 2004.