

ODRŽIVOST BIOREAKTORSKOG ODLAGALIŠTA KOMUNALNOG OTPADA

Strateško je opredjeljenje Hrvatske sanirati i zatvoriti sva postojeća odlagališta otpada, ali i istodobno uspostaviti mrežu županijskih i regionalnih centara za gospodarenje otpadom te ostvariti integralni sustav gospodarenja otpadom na području cijele Hrvatske do kraja 2018. Uostalom to je i obveza koju je Hrvatska preuzela u pregovorima za pristupanje Europskoj Uniji u poglavlju 27. (Okoliš), a uključuje gradnje svih predviđenih centara za gospodarenje otpadom i sanaciju svih postojećih odlagališta komunalnog otpada. Uz 7 centara koji se grade ili su pripreme u tijeku valja ih izgraditi još 14 i sanirati gotovo 200 odlagališta. Prigoda je to za ubrzanje gradnje centara i saniranje odlagališta, ali i za pokretanje investicija u sustavu gospodarenja komunalnim otpadom na razini od gotovo milijardu eura i veće iskorištavanje raspoloživih fondova Europske Unije.

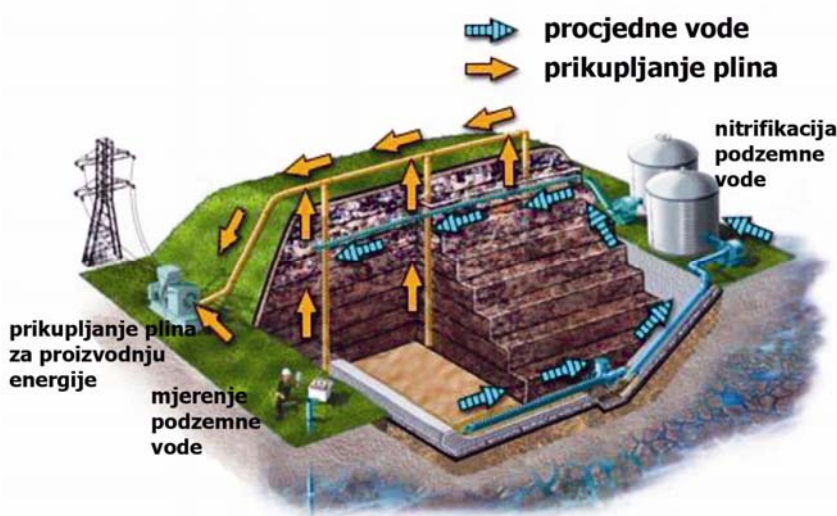
Svoja su iskustva o održivosti bioreaktorskog odlagališta komunalnog otpada na 11. međunarodnom simpoziju o gospodarenju otpadom, održanom krajem 2010. u Zagrebu, izložili Marin Herenda, dipl. ing. građ., i Kristina Tomašić, dipl. ing. građ., iz H-Projekta d.o.o. Zagreb. Pritom su istaknuli da je planiranje anaerobnoga bioreaktorskog odlagališta na koja je prethodno odložen obrađeni komunalni otpad vrlo složen problem, osobito u projektiranju i održavanju. Složenost dodatno pojačava činjenica da se radi o odlagalištu s prethodno obrađenim komunalnim otpadom u kojem se nalazi manje od 35 posto biorazgradivoga materijala, a to je vrlo slab potencijal za proizvodnju odlagališnoga plina odnosno električne i toplinske energije. S druge su

SUSTAINABILITY OF BIOREACTOR LANDFILLS FOR DISPOSAL OF MUNICIPAL WASTE

The construction of bioreactor landfills for the disposal of municipal waste is described in full detail. The possibility of using gas generated at such sites for the production of electricity and thermal energy is presented. Possible risks, costs and profits to be made during a five-year use are carefully considered, as an example of how every segment, and even the smallest detail, must be taken into account in the sphere of waste management. Although environmental benefits are significant, it is also important to make sure that the new landfill does not generate just the costs. Economic and financial hindrances are not the most important: such landfills are also burdened with complex maintenance and control of the entire system. This is why careful planning is extremely important, and the best possible use should be made of the European and world-wide experience in the design of anaerobic bioreactor landfills. An accurate calculation is proposed using a medium-sized landfill as an example.

strane prepreke ekonomske i financijske isplativosti te složeno održavanje i kontrola cijelog sustava. Zbog toga je nužno pažljivo planirati i pritom obuhvatiti sve iznesene probleme, ali i upotrijebiti slična europska i svjetska iskustva u projektiranju anaerobnih bioreaktorskih odlagališta. Posebno su istaknuli činjenice kojih

moraju biti svjesni svi sudionici u planiranju i projektiranju bioreaktorskog odlagališta jer moraju biti zamišljena, projektirana, izgrađena, održavana, vođena i upotrebljavana tako da osiguraju ubrzan proces razgradnje organskih tvari u odloženom otpadu. Osnovni su razlozi gradnje takvih odlagališta očekivana pove-



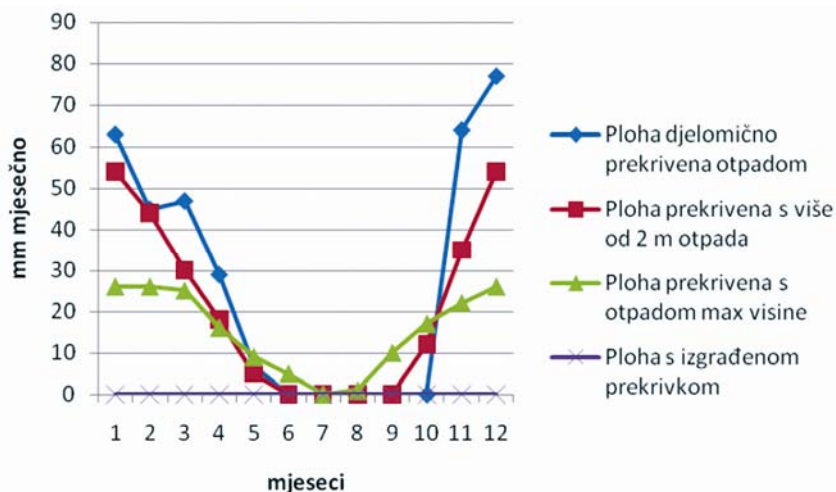
Shema bioreaktorskog odlagališta

ćana proizvodnja odlagališnog plina, brža stabilizacija odloženog otpada i ušteda odlagališnog prostora. Svjetska iskustva ne upućuju na standardizirana rješenja za odlagališta na koja se prethodno odlaže obrađeni komunalni otpada jer je primjena bioreaktorskih odlagališta još uvijek u fazi razvoja i proučavanja. Prema našim propisima, osim u iznimnim slučajevima, mora se oporabiti svaki otpad čija se svojstva mogu iskoristiti i svaki se otpad predviđen za odlaganje mora prethodno obraditi. Pritom se tehnološki postupak temelji na analizi isplativosti, ali se uvažavaju i sve mjere gospodarenja otpadom prema najboljoj i najjeftinijoj dostupnoj tehnologiji.

Odlagalište koje je odabrano kao primjer ima sljedeće značajke: godišnje se planira odložiti 70.000 tona prethodno obrađenoga komunalnog otpada i masa biorazgradivih sastojaka ne premašuje propisanih 35 posto, a u biorazgradivom su dijelu sporo razgradivi materijali (poput kože, drva, papira, kartona i sl.). Pokretanje je bioreaktorskog odlagališta previđeno u petogodišnjim ciklusima. Nakon pet godina odlaganja obrađenoga komunalnog otpada bioreaktorsko se odlagalište prekriva kako bi se osigurali anaerobni uvjeti, a odloženi se otpad „aktivira“ kontroliranim dodavanjem vode i tako započinje kontrolirano istiskivanje (ekstrakcija) odlagališnog pli-

svjedoče da ima slučajeva da je 90 posto otpada ostalo suho, a sva je voda koja je naknadno dodana u bioreaktorsko odlagalište prošla kroz preostalih 10 posto.

U određenim uvjetima pojavljuje se i veća horizontalna vodopropusnost u odnosu na vertikalnu propusnost ($k_h/k_v \geq 10$), a to može uzrokovati niz problema tijekom ugradnje otpada te rada bioreaktorskog odlagališta i njegova održavanja. Primjerice, može doći do izbijanja procjedne vode na pokosima, začepeljivanja drenažnih cijevi te velike količine vode u plinskim bunarima i plinovodima, a u krajnjim slučajevima i do potpunog prestanka vertikalnog protoka vode kroz otpad.



Procjena procijedene vode na razmatranom odlagalištu

U našim je centrima za gospodarenje otpadom zabranjeno odlaganje komunalnog otpada ako mu biorazgradivi dio premašuje 35 posto od ukupne mase. Ujedno je odlagališni plin potrebno prikupiti, obraditi i iskoristiti, a ako se ne može upotrijebiti za dobivanje energije, valja ga spaliti na području odlagališta ili spriječiti njegovo ispuštanje u okoliš.

Otpad koji će se odlagati na bioreaktorsko odlagalište predstavlja stoga osnovu za dimenzioniranje cijeloga sustava. Nužno je dobro analizirati i kvalitetno odrediti količine i sastav otpada jer to određuje sve buduće aktivnosti.

na za proizvodnju električne odnosno toplinske energije.

Prema ustanovljenom sastavu i količini otpada, odredit će se način i dinamika njegove ugradnje i iz toga proizlaze osnovne veličine za rad i održavanje bioreaktorskog odlagališta, a posebno su važne vodopropusnost i stabilnost. Vodopropusnost ugrađenoga otpada jest vrijednost koja kod bioreaktorskog odlagališta može znatno varirati (od $k = 10^{-3}$ do 10^{-10} m/s). Slabija vodopropusnost otpada uzrokuje manju zasićenost vodom odnosno manji je dio otpada obuhvaćen ubrzanim procesom razgradnje. Primjeri iz prakse

Dodavanjem se vode potiče razgradnja biološke komponente otpada u odlagalištu. Razgradnja dovodi do diferencijalnih slijeganja koja mogu biti čak i do 20 posto, ovisno o sastavu otpada i brzini razgradnje. To može dovesti i do smanjene stabilnosti ugrađenoga otpada, a uzrokuje deformacije u drenažnim cijevima s kojima se voda dovodi u tijelo odlagališta i u plinovodima kojima se plin odvodi izvan otpada.

Kako i koliko duboko voda prodire kroz otpad i postiže najveću zasićenost (saturaciju) teško izračunati pa i predvidjeti, posebno zbog heterogenoga sastava i zbijenosti otpada koji može iznositi i do 1400 kg/m^3 . Zbog toga pažljivo motrenje izvedenoga sustava predstavlja osnovu na temelju koje se izračunava balans: „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 bioreaktorskim odlagalištima kreće se od 100 do 350 litara po toni (l/t) odloženog otpada na godinu iako je na nekim odlagalištima projektirana vrijednost

zasićenosti otpada vodom dostizala i do 800 l/t. Za aktivaciju bioreaktorskog odlagališta može se upotrijebiti procjedna ili oborinska voda odnosno voda iz vodovodne mreže ili njihova kombinacija. Anaerobnom razgradnjom otpada nastaju plinoviti produkti koje jednim imenom nazivamo odlagališnim plinom, rekli su nam u nedavnom razgovoru inženjeri Herenda i Tomašić. Sastav i količina odlagališnog plina ovise o mnogim faktorima, a najvažniji su: vrsta otpada i način odlaganja, količina biorazgradivih materijala, starost otpada i temperatura unutar odlagališta te pH vrijednosti, sadržaj vlage i koncentracije soli (poput sulfata i nitrata) unutar odlagališta.

Najzastupljeniji u odlagališnom plinu su metan (CH_4) i ugljični dioksid (CO_2) koji čine približno 94 posto ukupne količine. Odlagališni plin nepovoljno utječe na atmosferu, ljude i okoliš, a to se očituje u pojačavanju „efekta staklenika“, povećanoj opasnosti za zdravlje ljudi te opasnosti od požara i eksplozija na odlagalištu i oko njega.

Jedan je od osnovnih ciljeva izgradnje bioreaktorskog odlagališta jest očekivana povećana produkcija odlagališnog plina u odnosu na klasična odlagališta radi proizvodnje električne ili toplinske energije. Procjena produkcije odlagališnog plina na primjeru navedenog odlagališta izrađena je pomoću posebnoga modela (GASpr11), koja uključuje tri vremena poluraspada i daje mnogo bolje rezultate od uobičajenih standardnih metoda. Procjena je količina odlagališnog plina izrađena za razdoblje od 25 godina, a uključuje i nastajanje odlagališnog plina i prije pokretanja bioreaktorskog odlagališta. Ulazne vrijednosti koje su upotrijebljene pri procjeni: ukupna količina odloženog otpada – 1.820.000 t, postotak razgradivog materijala od 35 posto (najveća dopuštena vrijednost), temperatura plina od 45 °C, postotak metana od 50 posto i postotak

prakupljenog plina od 80 posto (teoretski najveća vrijednost).

poput gradnje vodovodne mreže dovoljnog kapaciteta za rad biore-



Sanirano odlagalište Jakuševac u Zagrebu

Prema procjeni u budućem će se bioreaktorskom odlagalištu moći najviše proizvesti i prikupiti 270 m^3/h odlagališnog plina, a to je dovoljno za proizvodnju 1300 kW energije. Uz te je veličine očito da postoji određeni energetski potencijal odlagališta, ali je isto tako uočljivo da nisu zadovoljene minimalne vrijednosti što ih propisuju neke europske institucije, poput agencija za zaštitu okoliša Engleske, Welsa i Škotske koje zahtijevaju da protok prikupljenog plina mora biti veći od 600 m^3/h da se plin može iskoristiti za proizvodnju električne ili toplinske energije. Važno je istaknuti da je ekstrakcija i iskorištavanje odlagališnog plina rezultat svih prethodnih aktivnosti i da izravno ovisi o točnosti proračuna, kvaliteti izvedbe i ponajviše održavanju sustava.

Ako se pretpostavi da su zadovoljeni osnovni tehnički uvjeti za gradnju bioreaktorskog odlagališta, uz uvjet da su prihvatljive gospodarska i društvena korist (što također valja dokazati kad se za rad mora upotrijebiti voda iz vodovodne mreže), valja još izračunati financijsku dobit. Pri izračunu valja uključiti sve troškove,

aktorskog odlagališta i utrošak vode iz mreže te nabavu i ugradnju crpki i drenažnih cijevi, drenažnog šljunka oko cijevi i ugradnju plinskih motora (generatora). Valja dakako pridodati održavanje ugrađenih sustava, posebno redovito i izvanredno održavanje drenažnog sustava te redovito, periodično i izvanredno održavanje sustava prikupljanja odlagališnog plina i plinskih generatora te sustav motrenja, zapravo kontinuirano praćenje sastava, kvalitete plina i procjedne vode, vodopropusnosti i stabilnosti otpada, temperature u odlagalištu te deformacije drenažnih cijevi i plinovoda, ali i izgubljeni volumen namijenjen za odlaganje otpada jer će se 5 posto ukupnog obujma odlagališta utrošiti za ugradnju drenažnih cijevi i šljunka.

Na primjeru potencijalnog odlagališta, koju su obradili autori članka, bitna se početna financijska sredstva mogu prikazati ako se uključe drenažne HDPE cijevi (promjera 160 mm) koje se ugrađuju visinski na svakih 5 m i na tlocrtnoj udaljenosti 8 m. Ako se pretpostavi da je tlocrtna površina odloženog otpada 35.000 m^2 , a visina odlaganja do 20 m, zna-

či da će ukupno biti ugrađeno približno 8500 m drenažnih cijevi (uz cijenu 200 kn/m) i da će to stajati 1.700.000 kuna. Drenažni se šljunak s niskim postotkom vapnenca ugrađuje oko drenažnih cijevi radi osiguravanja ravnomjerne raspodjele vode u bioreaktorskom odlagalištu. Utrošak je šljunka 0,4 m³/m na ugrađene drenažne cijevi (cijena 250 kn/m³), a ukupni troškovi 850.000 kuna. Troškovi nabave i ugradnje jednoga plinskog generatora snage 600 kW_e i protoka plina od 300 m³/h su približno 5.000.000 kuna.

Uz troškove nabave i ugradnje opreme i materijala mogući su visoki troškovi održavanja sustava, poput utroška vode, koji može iznositi 70.000.000 l vode na godinu ili 192 m³ vode na dan. Uz pretpostavku da će samo polovica potrebne vode biti iz vodovodne mreže dobijemo 96 m³/dan, a to po cijeni od 15 kn/m³ kroz 5 godina iznosi 2.628.000 kuna. Autori članka nisu razmatrali

ostale troškove koje svakako treba izračunati jer određene vrijednosti, poput izgubljenog volumena za odlaganje otpada ili troškova održavanja, mogu biti izrazito visoki.

Osim troškova pretpostavlja se da bioreaktorsko odlagalište može stvarati i određenu dobit, primjerice prodajom proizvedene električne odnosno toplinske energije, a to (s cijenom od 0,36 kn/kWh) za 250 radnih dana kroz 5 godina iznosi 6.480.000 kuna.

Prema podacima iz 2006., zemlje Europske Unije proizvele su otprilike tri milijarde tona otpada ili u prosjeku šest tona po jednoj osobi, ali valja dodati da postoje znatne razlike u količini otpada među zemljama članicama, čak i do 39 puta, ponajprije zbog njihove industrijske i gospodarske strukture. Također se i količine komunalnog otpada, koji je u Europskoj Uniji u 2008. u prosjeku iznosio 524 kg po stanovniku, razlikuju među zemljama i za 2,6

puta. U porastu je i stvaranje otpada iz građevinskih aktivnosti i rušenja, ali i ambalažnog otpada. Podaci za električni i elektronski otpad nisu dostupni, ali nedavne prognoze pokazuju kako je to jedan od najbrže rastućih vrsta otpada. I količina je opasnog otpada, koja je u 2006. u zemljama EU bila 3 posto ukupnoga stvorenog otpada, u porastu pa to sve više postaje pravi problem.

Bez obzira na određenu nestrpljivost u Hrvatskoj vezanu uz rješavanje problema gospodarenja komunalnim otpadom, sve je uočljivije da je taj posao složen i skup te da se neodgovornom primjenom mogu napraviti nepopravljive štete. U svakom slučaju otpad se mora odlagati i prerađivati, ali valja nastojati da se iz nje ga ostvari i određena financijska dobit kako bi troškovi gradnje i održavanja odlagališta ili centra za gospodarenje otpadom bili što manji.

Jadranka Samokovlija Dragičević
Snimio: L. Dragičević