

# Prijedlog bioreaktorskog odlagališta za grad Novsku

---

**Bočkaj, Tea**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:327798>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-28**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET  
Diplomski studij rudarstvo

**PRIJEDLOG BIOREAKTORSKOG ODLAGALIŠTA ZA GRAD NOVSKU**

Diplomski rad

Tea Bočkaj

R 4164

Zagreb, 2022.



KLASA: 602-01/22-01/146  
URBROJ: 251-70-11-22-2  
U Zagrebu, 14.09.2022.

Tea Bočkaj, studentica

## RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-01/22-01/146, URBROJ: 251-70-11-22-1 od 24.06.2022. priopćujemo vam temu diplomskog rada koja glasi:

### PRIJEDLOG BIOREAKTORSKOG ODLAGALIŠTA ZA GRAD NOVSKU

Za voditeljicu ovog diplomskog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i obrani diplomskog rada Doc.dr.sc. Helena Vučenović nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i suvoditelja Izv.prof.dr.sc. Želimir Veinović.

Voditelj

(potpis)

Doc.dr.sc. Helena Vučenović

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za  
završne i diplomske ispite:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Mario Klanfar

(titula, ime i prezime)

Suvoditelj

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Želimir Veinović

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:

(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Borivoje  
Pašić

(titula, ime i prezime)

PRIJEDLOG BIOREAKTORSKOG ODLAGALIŠTA ZA GRAD NOVSKU

Tea Bočkaj

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu  
Rudarsko-geološko-naftni fakultet  
Zavod za rudarstvo i geotehniku  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Onečišćavanje okoliša otpadom još uvijek predstavlja veliki problem. Iako su sanitarna odlagališta uvelike smanjila razmjere problema koji je mogao nastati da se otpad neuređeno odbacivao u prirodi i ljudskoj okolini, zbog velikih količina komunalnog otpada, sada su i ona problem. Uz odvajanje pojedinih vrsta otpada, recikliranje, kompostiranje i termičke postupke, pažnju zaslužuju i bioreaktorska odlagališta. Takva odlagališta namijenjena su za odlaganje miješanog komunalnog otpada, a kao produkt nastaje odlagališni plin. U bioreaktorskim odlagalištima, postižu se uvjeti za biorazgradnju otpada dodavanjem vode i održavanjem uvjeta pogodnim za bakterijsku aktivnost. Odlagališni plinovi daju mogućnost energetskog iskorištenja u svrhu dobivanja toplinske ili električne energije. U ovom radu opisani su procesi i uvjeti kojima se postiže bolja biorazgradnja unutar tijela odlagališta te prednosti i nedostaci bioreaktorskih odlagališta. U radu su navedeni primjeri MBO postrojenja i bioreaktorskih odlagališta diljem svijeta, ali i unutar Republike Hrvatske. Također, dan je prijedlog za jedno takvo bioreaktorsko odlagalište za grad Novsku.

Ključne riječi: bioreaktorsko odlagalište, biorazgradnja, odlagališni plinovi

Diplomski rad sadrži: 46 stranica, 1 tablicu, 17 slika

Jezik izvornika: hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Helena Vučenović, docentica RGNF

Komentor: Dr. sc. Želimir Veinović, izvanredni profesor RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Helena Vučenović, docentica RGNF  
Dr. sc. Želimir Veinović, izvanredni profesor RGNF  
Dr. sc. Dubravko Domitrović, izvanredni profesor RGNF  
Dr. sc. Anamarija Grbeš, docentica RGNF  
Dr. sc. Mario Klanfar, izvanredni profesor RGNF

## PROPOSAL FOR BIOREACTOR LANDFILL FOR CITY OF NOVSKA

Tea Bočkaj

Thesis completed at: University of Zagreb  
Faculty of mining, Geology and Petroleum Engineering  
Department of Mining Engineering and Geotechnics  
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

### Abstract

Pollution of the environment with waste is still a big problem. Although sanitary landfills have greatly reduced the scale of the problem that could have arisen if waste had been disposed of in nature and in the human environment, due to large amounts of municipal waste, they are now a problem as well. In addition to the separation of certain types of waste, recycling, composting and thermal processes, bioreactor landfills also deserve attention. Such landfills are intended for the disposal of mixed municipal waste, and landfill gas is produced as a product. In bioreactor landfills, conditions for biodegradation of waste are achieved by adding water and maintaining conditions suitable for bacterial activity. Landfill gases provide the possibility of energy utilization for the purpose of obtaining heat or electricity. This paper describes the processes and conditions that achieve better biodegradation within the body of the landfill, as well as the advantages and disadvantages of bioreactor landfills. Examples of MBT plants and bioreactor landfills around the world, as well as within the Republic of Croatia, are listed in the paper. Also, a proposal was made for one such bioreactor landfill for the city of Novska.

Keywords: bioreactor landfills, biodegradation, landfill gases

Thesis contains: 42 pages, 1 tables, 17 figures

Original in: Croatian

Archived in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisors: Assistant Professor Helena Vučenović, PhD  
Associate Professor Želimir Veinović, PhD

Reviewers: Assistant Professor Helena Vučenović, PhD  
Associate Professor Želimir Veinović, PhD  
Associate Professor Dubravko Domitrović, PhD  
Assistant Professor Anamarija Grbeš, PhD  
Associate Professor. Mario Klanfar, PhD

Defence date: October, 14, 2022., Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. BIOREAKTORSKA ODLAGALIŠTA .....	3
2.1. Podjela bioreaktorskih odlagališta .....	3
2.2. Prednosti i nedostatci .....	5
2.3. Povijest bioreaktorskih odlagališta .....	6
3. ODLAGALIŠNI PLINOVI .....	8
4. PRIMJERI POSTOJEĆIH MBO POSTROJENJA I BIOREAKTORSKIH ODLAGALIŠTA .....	12
4.1. Primjeri u svijetu .....	12
4.2. Primjeri u Europi .....	16
4.3. Primjeri u Republici Hrvatskoj .....	19
5. NOVSKA .....	30
5.1. Sustav prikupljanja otpada unutar grada Novske .....	30
5.2. Sastav otpada u bioreaktorskom odlagalištu i utjecajni faktori .....	31
6. ZAKLJUČAK .....	35
7. LITERATURA .....	36

## POPIS SLIKA

Slika 2-1 Aerobno bioreaktorsko odlagalište (Repa 2003) .....	3
Slika 2-2 Anaerobno bioreaktorsko odlagalište (Repa 2003).....	4
Slika 2-3 Hibridno bioreaktorsko odlagalište (Repa 2003).....	5
Slika 3-1 Promjene u sastavu odlagališnih plinova tijekom vremena (Kurta, 2018.) .....	11
Slika 4-1 Graf koji prikazuje udio pojedine vrste proizvedenog otpada (The World Bank, 2016).....	12
Slika 4-2 Graf gospodarenja otpadom na svjetskoj razini (The World Bank, 2016) .....	13
Slika 4-3 Prikaz centra za gospodarenje otpadom u Edmontonu, Kanada (Maple Reinders, 2018).....	14
Slika 4-4 Model MBO postrojenja i Lianyungang, Kina (Global Recycling, 2017).....	16
Slika 4-5 Graf godišnjih količina proizvedenog otpada nekih europskih zemalja (Eurostat waste statistics, 2018).....	17
Slika 4-6 Količina odloženog otpada u t/god (Plan gospodarenja otpadom RH,2017).....	20
Slika 4-7 Udio postotaka zbrinjavanja/oporabe otpada u 2014. godini (Plan gospodarenja otpadom RH, 2017) .....	21
Slika 4-8 Prikaz položaja postojećih i planiranih centara za gospodarenje otpadom u RH (NN 03/2017).....	22
Slika 4-9 Poprečni presjek donjeg brtvenog sloja .....	24
Slika 4-10 Poprečni presjek završnog brtvenog sloja.....	25
Slika 4-11 Shematski prikaz postrojenja ŽCGO "Mariščina" (Ekoplus d.o.o., 2010) .....	27
Slika 4-12 Tok otpada unutar ŽCGO-a "Mariščina" (Ekoplus d.o.o., 2010) .....	29
Slika 5-1 Sastav otpada u bioreaktorskom odlagalištu (Pejić, 2017) .....	31

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1 Kemijski sastav odlagališnog plina (Tschobanoglous i dr., 1993).....	8
--	---



## **POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA**

Oznaka	Jedinica	Opis
t	god	vrijeme odlaganja otpada
v	l/t	utrošak vode po toni otpada
motpad/god	t	masa otpada odloženog u jednoj godini

## 1. UVOD

Gospodarenje otpadom predstavlja jedan od značajnijih izazova današnjice. Bilo da se radi o njegovom odlaganju ili iskorištavanju otpada u neke druge svrhe. Dobro gospodarenje otpadom može pridonijeti očuvanju okoliša, zaštiti biote, smanjenju emisije plinova u atmosferu, ali također može biti i profitabilno za poduzeća koja obavljaju recikliranje otpada. Loše gospodarenje otpadom uvelike utječe na onečišćenja vode, zraka i okolnog tla. Odlagališta komunalnog otpada nisu samo neugodna za vidjeti, već su i glavni izvor onečišćenja. Otpad koji je odložen na sanitarna odlagališta, sporo se razgrađuje, te ostaje kao problem nekim budućim generacijama. Tri su glavna problema koja se javljaju na odlagalištima komunalnog otpada, a to su: štetne tvari, procjedne vode i staklenički plinovi. Izuzev glavnih problema, izgradnjom sanitarnih odlagališta gubi se prostor koji bi se mogao iskoristiti u neke bolje svrhe, te se razvijaju neugodni mirisi koji privlače životinje. Sanitarna odlagališta koja nisu pravilno uređena, mogu narušiti kvalitetu atmosfere, biosfere ili hidrosfere. Ljudi su također dio okoliša, stoga svako onečišćenje biosfere utječe i na njih same. Onečišćena voda i tlo mogu kontaminirati hranu koju ljudi konzumiraju što uzrokuje niz zdravstvenih problema, kao i onečišćenje zraka. Otpad i neizravnim putem može utjecati na okoliš. Ne recikliranjem otpada, gube se korisne sekundarne sirovine koje mogu služiti u daljnjoj proizvodnji ili potrošnji. Prema tome, neiskorištavanje otpada u svrhe, kao što su recikliranje ili ponovna uporaba, ne predstavlja samo ekološki već i gospodarski gubitak (Markovinović, 2015).

Mehaničko-biološka obrada otpada nastala je kao posljedica potrebe za smanjenjem odlaganja otpada u okoliš. Nakon što se komunalni otpad obradi u MBO postrojenju odabrane tehnologije, dobiveni produkti obrade su gorivo iz otpada (GIO) te biološki obrađena frakcija pogodna za odlaganje na kontroliranim bioreaktorskim odlagalištima (Pejić, 2017).

Bioreaktorsko odlagalište je sustav u kojem se pomoću reguliranja parametara kao što su temperatura i vlažnost, potiče djelovanje mikroorganizama i mikrobioloških procesa. Na bioreaktorska odlagališta, odlaže se prethodno obrađeni komunalni otpad, a kao produkt nastaje odlagališni plin kojeg je moguće iskoristiti za dobivanje toplinske ili električne energije. Kako je u 2021. godini započela i energetska kriza, svaki dobitak energije nije zanemariv. Bioreaktorska odlagališta su projektirana kako bi osigurala brži proces razgradnje organskih tvari u odloženom otpadu. Ubrzana stabilizacija i inertizacija otpada, koncentriranija proizvodnja odlagališnog plina, te smanjenje troškova zbog mogućnosti

recirkulacije procjedne vode, samo su neki od razloga zbog čega se grade bioreaktorska odlagališta (Pejić, 2017).

Povećanjem količina miješanog komunalnog otpada dolazi do problema njegovog odlaganja, odnosno njegovog neiskorištenog potencijala. Kako bi se uspostavio funkcionalan sustav gospodarenja otpadom, kao prijedlog donosi se iskorištenje otpada kao sekundarne sirovine za dobivanje toplinske ili električne energije. Grad Novska za sada još nije prepoznao potencijal energetskog iskorištenja odlagališnog plina iz miješanog komunalnog otpada, te sav svoj miješani komunalni otpad odlaže na sanitarno odlagalište. Najveću prednost bioreaktorskog odlagališta, odnosi mogućnost energetskog iskorištenja odlagališnih plinova, što je detaljnije objašnjeno u daljnjem radu. Također, navedeni su i primjeri iz svijeta, ali i iz Republike Hrvatske koji već koriste ili planiraju takav način dobivanje energije.

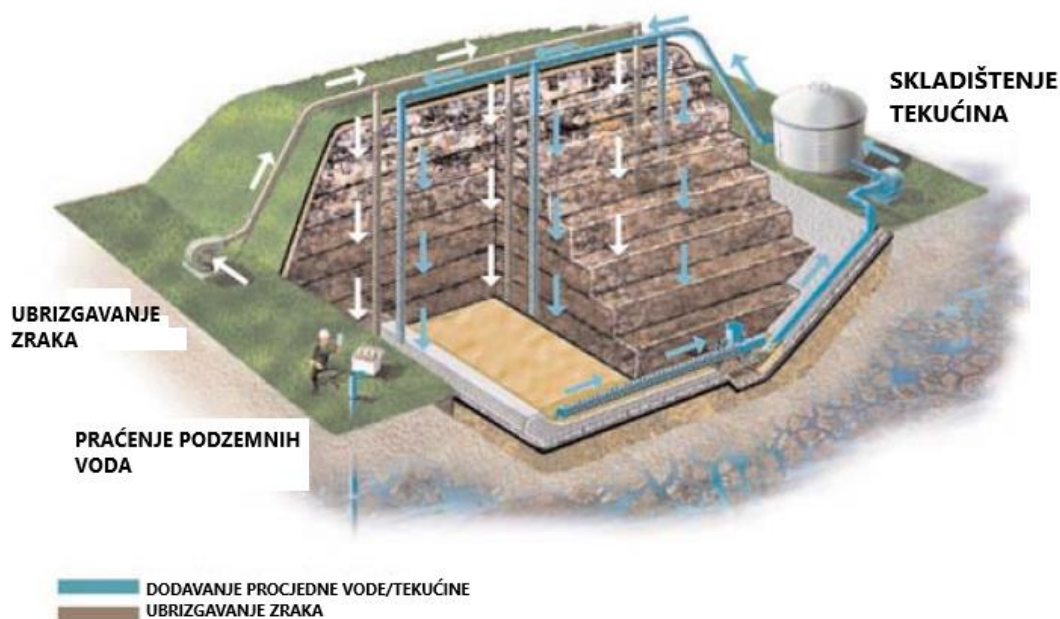
Cilj ovog rada je opisati mogućnosti i potencijale izgradnje bioreaktorskog odlagališta za grad Novsku i stvoriti svijest o dobrom gospodarenju otpadom, te iskorištenju otpada za energetske dobit. Usto, jedan od ciljeva je i približavanje pojma biorazgradnje i njezinih prednosti građanima Novske, ali i ostalim građanima Republike Hrvatske. Izuzev financijskim i energetskim koristima, bioreaktorska odlagališta uvelike doprinose očuvanju okoliša u pogledu smanjenja emisija stakleničkih plinova u atmosferu.

## 2. BIOREAKTORSKA ODLAGALIŠTA

### 2.1. Podjela bioreaktorskih odlagališta

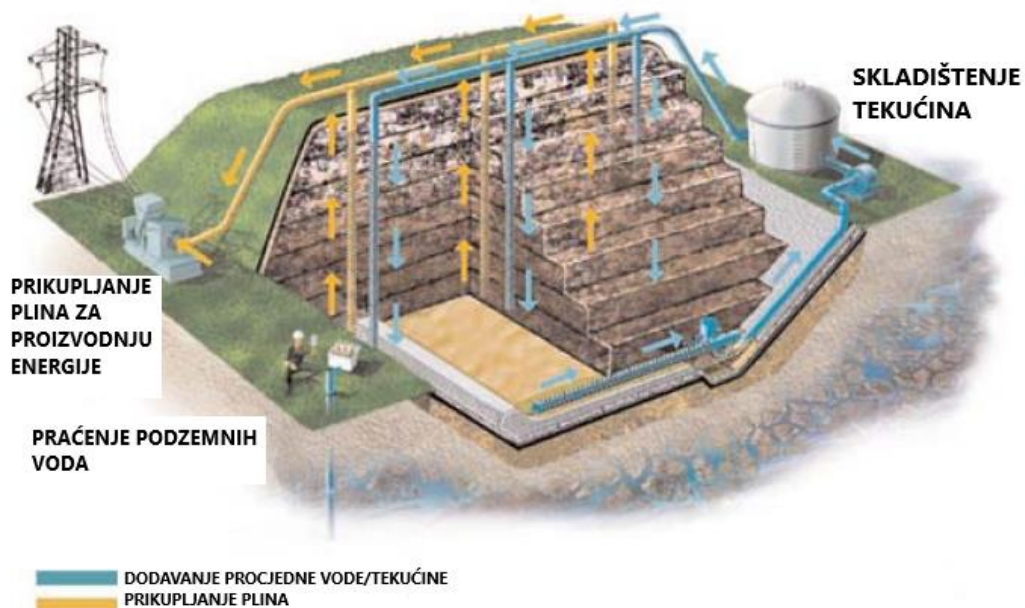
Razlikujemo tri vrste bioreaktorskih odlagališta ovisno o uvjetima u kojima se odvija biološka razgradnja krutog otpada: aerobna, anaerobna i hibridna (aerobno-anaerobna).

U aerobna bioreaktorska odlagališta, kisik se utiskuje u tijelo odlagališta pomoću horizontalnih i vertikalnih zdenaca, u svrhu ubrzavanja mikrobioloških procesa. Procjedna voda se prikuplja i recirkulira kroz tijelo odlagališta, uz dodatak tekućine. Rezultat aerobne razgradnje su ugljični dioksid i voda. Primjer djelovanja aerobnog bioreaktorskog odlagališta, nalazi se na slici 2-1.



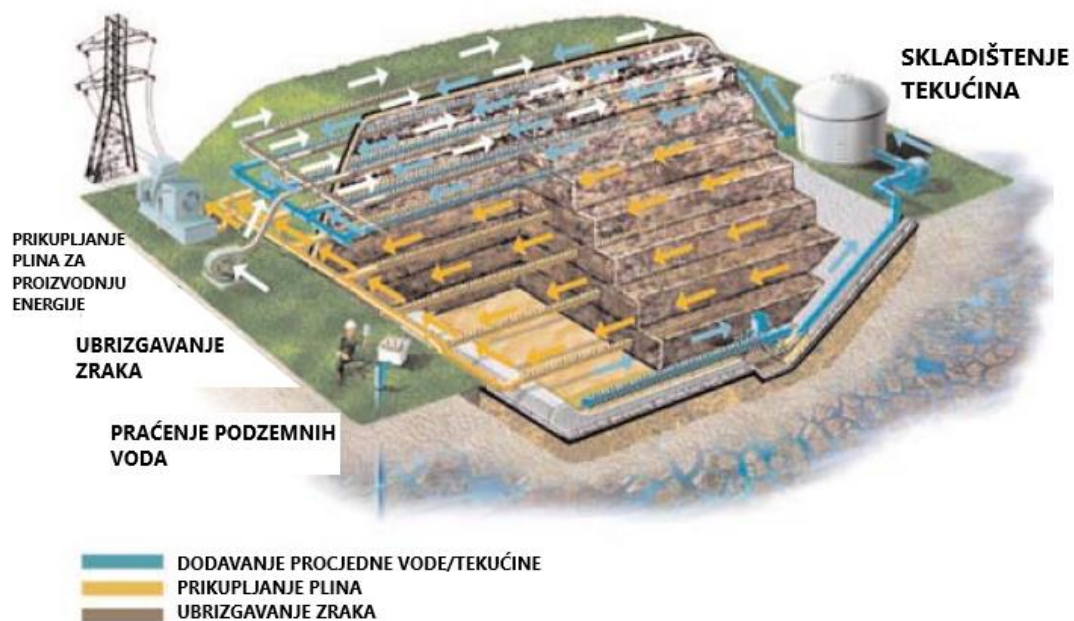
Slika 2-1 Aerobno bioreaktorsko odlagalište (Repa 2003)

U anaerobnim odlagalištima, voda se također recirkulira kroz tijelo odlagališta, ali u ovom slučaju bez utiskivanja kisika, budući da se žele postići anaerobni procesi koji se odvijaju bez prisustva zraka. Rezultat anaerobne razgradnje su metan i ugljični dioksid. Na slici 2-2 prikazan je primjer načina rada anaerobnog bioreaktorskog odlagališta.



**Slika 2-2** Anaerobno bioreaktorsko odlagalište (Repa 2003)

U hibridnim odlagalištima prvo se odvijaju aerobni, a zatim anaerobni procesi. Aerobni uvjeti postignuti su u gornjim slojevima odlagališta, gdje se nalazi svjež otpad, dok se anaerobni procesi događaju u donjim dijelovima odlagališta, odnosno tamo gdje se nalazi stariji otpad. Hibridni način rada bioreaktorskog odlagališta prikazano je na slici 2-3.



Slika 2-3 Hibridno bioreaktorsko odlagalište (Repa 2003)

## 2.2. Prednosti i nedostaci

Jedna od primarnih prednosti bioreaktorskog (mokrog) odlagališta u odnosu na konvencionalno (suho) odlagalište bila bi brža stabilizacija otpada. Razgradnja otpada u bioreaktorskom odlagalištu odvija se u znatno kraćem vremenskom razdoblju koje je moguće mjeriti u godinama, dok se razgradnja otpada i stabilizacija u konvencionalnim odlagalištima mjeri desetljećima. Kao još jedna prednost, navodi se mogućnost recirkulacije procjedne vode, ne samo iz ekonomskih razloga, već i ekoloških, budući da takvu vodu nije potrebno smještati u sabirne bazene ili odlagati u lagune. Također, sami troškovi održavanja odlagališta nakon zatvaranja se razlikuju kod konvencionalnog i bioreaktorskog odlagališta. Troškovi održavanja bioreaktorskog odlagališta nakon zatvaranja su manji, budući da je otpad stabiliziran, a kvaliteta procjedne vode se poboljšava s vremenom, što iziskuje jednostavnije postupke održavanja, a pri tom i jeftinije. Znatno najveća prednost bioreaktorskog odlagališta je mogućnost zarade od aktivnog otplinjavanja. Stvaranje plina unutar tijela odlagališta počinje u ranijoj fazi korištenja odlagališta, što otvara mogućnost ostvarivanju dobiti od aktivnog otplinjavanja u samim počecima rada. U skladu s time, količine plina u vrijeme zatvaranja odlagališta i nakon zatvaranja su manje, što opet pridonosi smanjenju troškova održavanja odlagališta nakon zatvaranja.

Nedostaci ovakvih odlagališta su veća početna ulaganja, posebno osposobljavanje radnika na odlagalištu, temperatura i kemijska kompatibilnost brtvenih slojeva. Zbog složenosti izgradnje bioreaktorskih odlagališta, početna ulaganja su veća, ali krajnja isplativost je također veća nego kod konvencionalnih odlagališta. Radnici koji rade na ovakvom odlagalištu moraju biti osposobljeni u skladu sa svojim radnim mjestom, budući da se tijekom izgradnje bioreaktorskog odlagališta moraju provoditi dodatne kontrole i promatranja, te kako bi se ispravile moguće pogreške prilikom planiranja. U aerobnom tipu bioreaktorskog odlagališta, uvijek postoji opasnost od samozapaljenja, stoga se temperatura unutar odlagališta mora konstantno pratiti kako bi se na vrijeme moglo reagirati ukoliko dođe do požara. Također, povišena temperatura u tijelu odlagališta može uzrokovati raspadanje materijala brtvenih slojeva. Do sada još nisu dovoljno istraženi dugotrajni učinci kemijskih procesa unutar tijela odlagališta na materijale brtvenih sustava-(Kovačić, 2008).

### **2.3. Povijest bioreaktorskih odlagališta**

Prema nekim pričama, prvi koji su koristili bioplin bili su Asirci, a koristili su ga za zagrijavanje vode za kupanje već u 10. st. pr. Kr. Slijedili su ih Perzijanci mnogo kasnije u 16. stoljeću. Ipak prvi pravi dokazi potiču tek iz 17 stoljeća. Pojava treperavih svjetala koja se pojavljuju ispod površine močvara zaintrigirala je Plinija i Van Helmonta koji su zabilježili izbijanje zapaljivog plina iz raspadajuće organske tvari. Jan Baptita Van Helmont prvi je u 17. stoljeću dokazao da se iz raspadajuće organske tvari mogu razviti zapaljivi plinovi. Grof Alessandro Volta općenito je poznat po tome što je postavio digestiju metana na znanstvene temelje. Volta je bio prvi znanstvenik koji je kemijski opisao proces proizvodnje bioplina i njegovu eksplozivnu prirodu u prisutnosti kisika. Ranijih godina 18. stoljeća, engleski znanstvenik Sir Humpry Davy eksperimentirao je sa slamnatim gnojem i shvatio da je zapaljivi plin koji se razvija tijekom anaerobne digestije bio zapravo metan.

Francuska je zaslužna za jedan od prvih značajnih doprinosa anaerobnoj obradi otpadne vode. Godine 1884. Gayon (Pasteurov učenik), fermentiranjem stajskog gnojiva na 35°C, dobio je oko 100 litara metana. Zaključeno je da fermentacija može biti izvor plina za grijanje i rasvjetu. Tek krajem 19. stoljeća otkriveno je da je metanogeneza povezana s mikrobiološkom aktivnošću. Već 1896. godine korišten je plin iz kanalizacije za rasvjetu ulica u Exeteru u Engleskoj, dok je 1897. godine, plin iz ljudskog otpada prikupljen u azilu za gubavce u Bombaju, Indija, korišten također za rasvjetu. Buswell A.M. je u kasnim 1920-ima započeo je proučavanje anaerobne digestije i objasnio bitna pitanja kao što su posljedice

za dušik u anaerobnoj digestiji, stehiometrija reakcije, proizvodnja energije iz otpada s farmi i korisnost procesa za industrijski otpad. Također, 1992. godine, mogu se naći izvješća o uspješnim jedinicama za proizvodnju metana u nekoliko dijelova svijeta, a mnogi su se poljoprivrednici pitali mogu li se tako male jedinice za proizvodnju metana instalirati na njihovim farmama kako bi se otpad pretvorio u nešto vrijednije. Velik dio ovog rada je i danas relevantan, a oni koji izgrađuju anaerobne digestore koji služe kao izvor energije, mogli bi dobiti mnogo prilikom pregleda već spomenutih, ranijih radova.

Godina 1930. bila je prekretnica za anaerobnu tehnologiju iz dva razloga. Prvi razlog je što je istraživanje ležišta prirodnog plina potisnulo bioplin i proizvođače bioplina plina u drugi plan, a drugi razlog je što su anaerobne bakterije koje su odgovorne za proizvodnju metana, potaknule širenje tehnologije pa tako sebi omogućile opsežniju upotrebu u ostalim procesima. Bioreaktori, odnosno iskorištavanje bioplina dobilo je na važnosti tijekom Drugog svjetskog rata, kada je dostupnost zaliha energije bila je uvelike smanjena. Švedska je proglasila bioplin kao održivom alternativnom energijom. Procijenjeno je da se anaerobnom digestijom žetvenih ostataka u regiji može se proizvesti 4,4 TWh godišnje. Efluent bioplina identificiran je kao biognojivo koje je donosilo mnoge društvene, ekološke i ekonomske prednosti. Biognojivo bi se koristilo u daljnje svrhe zbog većih količina mineraliziranog dušika (amonijaka) te se ovo smatralo rastućim pokretom organske poljoprivrede u Švedskoj (Rufai, 2010).

Ipak, unatoč dramatično povećanoj upotrebi anaerobne digestije, samo oko 3% biorazgradivog krutog otpada u Europi se obrađuje anaerobno. Ovo ukazuje na ogroman potencijal koji leži neiskorišten. Španjolska, Belgija, Nizozemska, Švicarska i Njemačka imaju najveće kapacitete anaerobne obrade po glavi stanovnika među većim Europskim zemljama. Njemačka ima najveći anaerobni izgrađeni kapacitet postrojenja za digestiju, ali Španjolska idalje prednjači u pogledu omjera kapacitet:broj stanovnika. Također Španjolska obrađuje oko 10% svog organskog otpada anaerobnim procesima. Razvitkom postrojenja za anaerobnu obradu, došlo je do kritika stanovništva kako prehrambeni usjevi preumjeravaju svoju primarnu zadaću i služe sve više za proizvodnju energije u razvijenijim zemljama, dok u drugim zemljama koje su još u razvoju, ljudi nemaju adekvatnu hranu (Abbasi i dr., 2012).



### 3. ODLAGALIŠNI PLINOVI

Količina i sastav odlagališnog plina mijenja se s vremenom, a on ovisi o: vrsti i gustoći otpada, vlažnosti unutar otpada, vanjskim utjecajima, kemijskoj aktivnosti itd. Svi ovi uvjeti, odnosno parametri utječu na aktivnost mikroorganizama unutar samog odlagališta, što je izravna posljedica na nastanak odlagališnog plina. Prema Tchobanoglous, G., Theisen, H. i Vigil, S.A sastav odlagališnog plina u velikom dijelu se sastoji od metana i ugljikovog dioksida, ali i od drugih plinova što je prikazano u tablici 1.

**Tablica 1** Kemijski sastav odlagališnog plina (Tschobanoglous i dr., 1993)

KOMPONENTA	VOLUMNI UDIO (%)
Metan	45 - 60
Ugljikov dioksid	40 - 60
Dušik	2 - 5
Kisik	0,1- 1
Amonijak	0,1 - 1
Ne-metanski ugljikovodici	0,01- 0,6
Sulfidi	0 – 1
Hidrogen	0 – 0,2
Ugljikov monoksid	0 – 0,2

Faktori koji utječu na aktivnost mikroorganizama, a time na sastav i količinu odlagališnog plina:

#### a) SASTAV OTPADA

Što je više organskog otpada prisutno na odlagalištu, to više odlagališnog plina proizvodu mikroorganizmi, tj. bakterije. Neke vrste organskog otpada sadrže hranjive tvari, poput natrija, kalija, kalcija i magnezija, koje pomažu razvoju bakterija. Kada su te hranjive tvari prisutne, povećava se proizvodnja odlagališnog plina. Isto tako, neki otpad sadrži spojeve koji štete bakterijama, uzrokujući stvaranje manje plina. Na primjer, ukoliko otpad sadrži visoku koncentraciju soli, bakterije neće u potpunosti obavljati svoju funkciju.

#### b) SADRŽAJ VLAGE U OTPADU

Prisutnost određene količine vode na odlagalištu povećava proizvodnju plina jer vlaga potiče rast bakterija i prenosi hranjive tvari i bakterije u sva područja unutar odlagališta. Sadržaj vlage od 40% ili više, potiče maksimalnu proizvodnju plina. Zbijanje otpada usporava proizvodnju plina, jer povećava gustoću sadržaja odlagališta, smanjujući brzinu kojom se voda može infiltrirati u otpad.

#### c) TEMPERATURA UNUTAR ODLAGALIŠTA

Visoke temperature povećavaju aktivnost bakterija, što zauzvrat povećava stopu proizvodnje odlagališnog plina. Niže temperature sprječavaju aktivnost bakterija. Tipično, aktivnost bakterija dramatično opada ispod 10°C. Bakterijska aktivnost sama po sebi oslobađa toplinu, stabilizirajući temperaturu unutar tijela odlagališta između 25°C i 45°C, iako su zabilježene temperature do 70°C. Povećanje temperature također potiče isparavanje i kemijske reakcije. Temperatura unutar tijela odlagališta ovisi i o tome je li odlagalište otvorenog ili zatvorenog tipa, te o samom donjem i gornjem sustavu slojeva, ali ovisi i o vanjskim temperaturama.

#### d) STAROST OTPADA

Nedavno zakopani otpad proizvest će više plina od starijeg otpada. Odlagališta obično proizvode značajne količine plina unutar 1 do 3 godine. Vrhunac proizvodnje plina obično se događa 5 do 7 godina nakon što je otpad odložen. Gotovo sav plin proizveden je unutar 20 godina nakon odlaganja otpada; međutim, male količine plina mogu se i dalje ispuštati s odlagališta 50 ili više godina nakon odlaganja. Budući da se sav otpad ne odlaže istovremeno, tako unutar tijela odlagališta možemo imati više faza razgradnje organske materije i stvaranja odlagališnog plina istovremeno.

Količina organskog materijala u otpadu je važan faktor u tome koliko dugo traje proizvodnja plina.

#### e) PH

Optimalan pH za razvoj i djelovanje mikroorganizama je između 6.7 i 7.5. Proizvodnja metana dostiže svoj maksimum unutar tog raspona, a ukoliko pH iznosi manje od 6 ili više od 8, proizvodnja metana bit će smanjena na minimum ukoliko je uopće bude.

#### f) OSTALI FAKTORI

Izuzev glavnih faktora koji utječu na proizvodnju metana unutar tijela odlagališta, neki od ostalih faktora koji mogu pridonijeti povećanoj ili smanjenoj produkciji plina su: sadržaj organske tvari, zbijenost otpada, dimenzije odlagališta, količina kisika te količina bakterija (Kurta, L. 2018).

Bakterije razgrađuju otpad u 5 faza. U svakoj fazi, sastav odlagališnog plina, odnosno volumni udio pojedinog plina se razlikuje, što je prikazano na slici 3-1. Kao što je već navedeno, stariji otpad na jednom dijelu odlagališta može istovremeno biti u različitoj fazi razgradnje od nedavno odloženog otpada na drugom dijelu. Faze na koje dijelimo razgradnju otpada unutar tijela odlagališta su:

#### 1) FAZA – AEROBNA FAZA

Tijekom prve faze, razgradnju otpada obavljaju aerobne bakterije koje djeluju samo uz prisustvo kisika. Bakterije troše kisik te razgrađuju organsku tvar gdje se pri tom kao nusproizvod javlja ugljikov dioksid. Također, u prvoj fazi u visokoj koncentraciji prisutan je i dušik. Razina kisika unutar prve faze opada, a ona može trajati danima ili mjesecima.

#### 2) FAZA – KISELA FAZA

U drugoj fazi događa se nastavak razgradnje organske tvari te nastaju visoke koncentracije organskih kiselina, amonijaka, vodika i ugljikovog dioksida. Nastajanje organskih kiselina i ugljikovog dioksida uzrokuje smanjenje pH filtrata na oko 5.5 – 6.5. Druga faza može trajati mjesecima.

#### 3) FAZA – METANOGENA FAZA

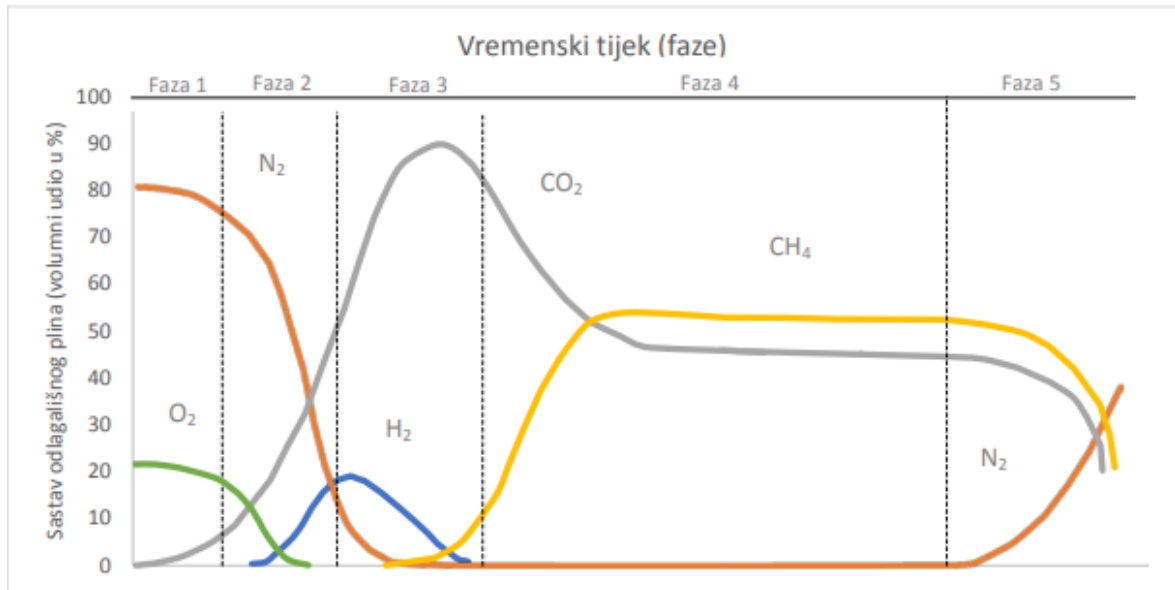
Treća faza se odvija u potpunosti bez prisustva kisika i tu započinje djelovanje metanogenih bakterija. Kao produkt nastaju ugljikov dioksid, metan, voda i nešto topline. U ovoj fazi 50% volumnog udjela odlazi na metan. Ova faza započinje otprilike 6 – 12 mjeseci nakon ugradnje otpada, a može trajati i do par godina.

#### 4) FAZA – ANAEROBNA FAZA

U četvrtoj fazi, metanogene bakterije obavljaju polagan, ali efektivan rad, te kroz više godina razgrađuju gotovo svu organsku tvar. Razgradnja kiseline uzrokuje povećanje pH na 7 – 8, te time sam filtrat postaje manje kemijski agresivan. U ovoj fazi, na rad bakterija utječu pH, količina organske tvari i temperatura. Ova faza može trajati i do 40 godina.

### 5) FAZA – FAZA STABILIZACIJE

U prethodnoj fazi su metanogene bakterije potrošile zalihu organske tvari zadržanu u otpadu, te time prestaje i njihov rad, odnosno aktivnost, a samim time prestaje i produkcija odlagališnog plina. Odlagališni plin postaje sličan po sastavu plinu u zemlji (Kurta, 2018).



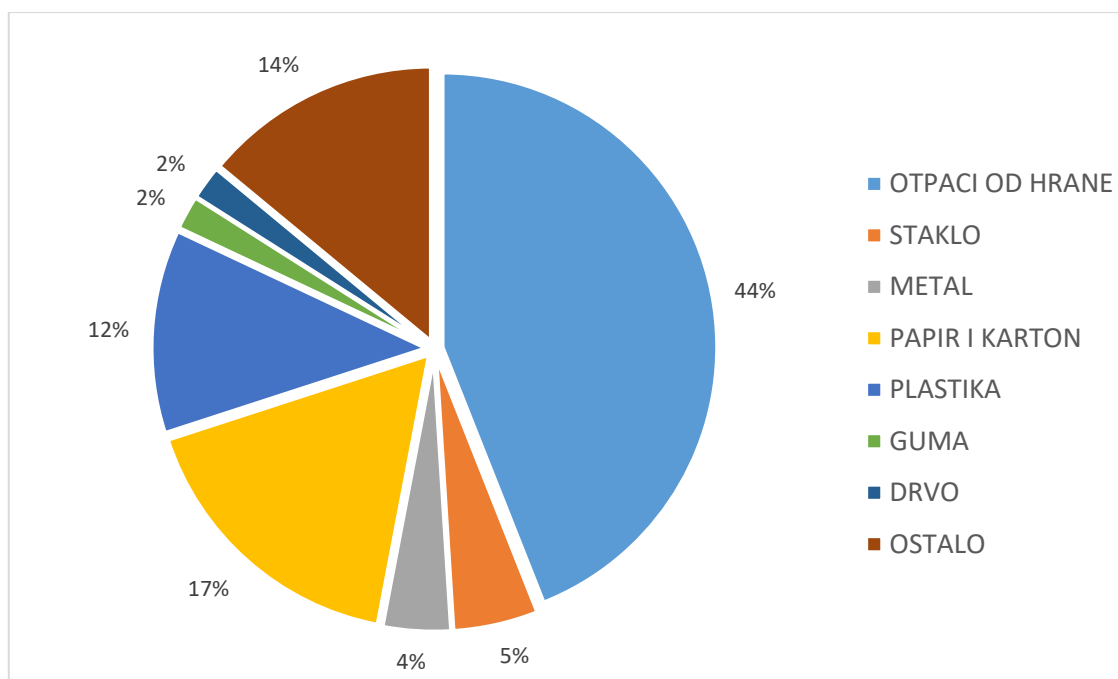
Slika 3-1 Promjene u sastavu odlagališnih plinova tijekom vremena (Kurta, 2018.)

## 4. PRIMJERI POSTOJEĆIH MBO POSTROJENJA I BIOREAKTORSKIH ODLAGALIŠTA

### 4.1. Primjeri u svijetu

Prema podacima *The World Bank* grupe u svijetu se godišnje proizvede nešto više od 2 milijarde tona komunalnog otpada, od čega se najmanje 33 % ne zbrinjava na ekološki siguran način. Prikupljanje otpada kritičan je korak u gospodarenju otpadom, no stope uvelike variraju ovisno o razini dohotka, a zemlje s višim srednjim i visokim dohotkom osiguravaju gotovo potpuno prikupljanje otpada. Zemlje s niskim prihodima prikupe oko 48% otpada u gradovima, ali taj udio drastično pada na 26% izvan gradskih područja. U Africi se prikupi oko 44% otpada, dok Europa, središnja Azija i Sjeverna Amerika prikupe najmanje 90% ukupnog otpada.

Sastav otpada također se razlikuje ovisno o razini prihoda. Zemlje s visokim dohotkom proizvode relativno manje otpada od hrane i zelenog otpada, ali proizvode više suhog otpada koji bi se mogao reciklirati, uključujući plastiku, papir, karton, metal i staklo. Zemlje sa srednjim i niskim dohotkom stvaraju više otpada od hrane i zelenog otpada, što čini više od polovine ukupno proizvedenog otpada. U zemljama s niskim prihodima materijali koji se mogu reciklirati čine samo 20% ukupnog otpada. Udio postotka proizvedene različite vrste otpada prikazan je na grafu na slici 4-1.

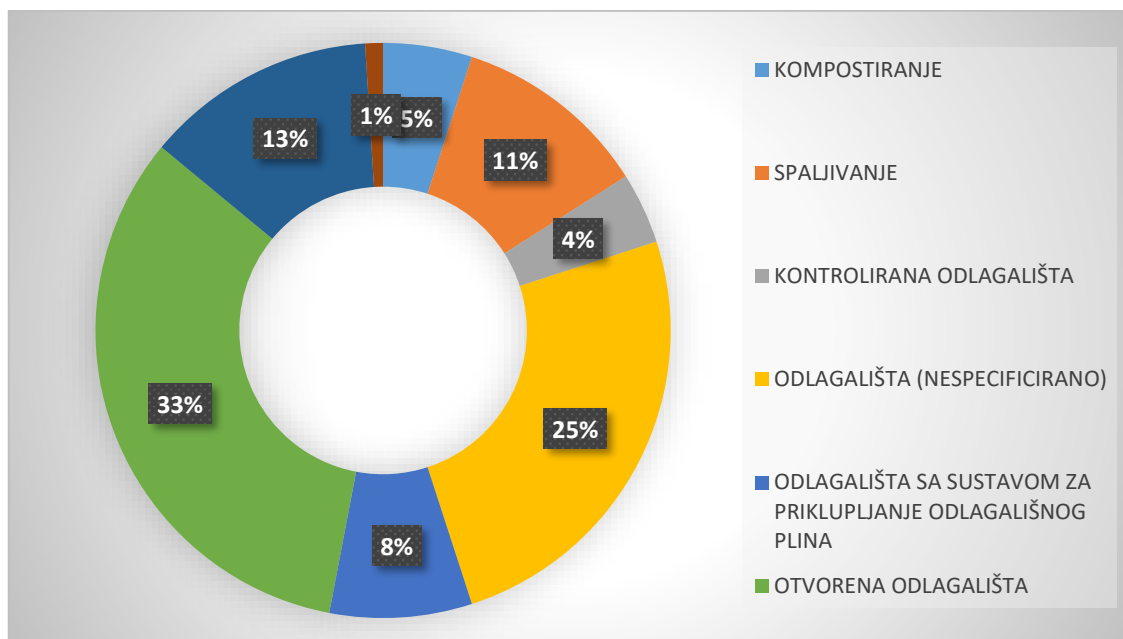


Slika 4-1 Graf koji prikazuje udio pojedine vrste proizvedenog otpada (The World Bank, 2016)

Česta je zabluda da je tehnologija razlog problema nezbrinutog i sve većeg nastajanja otpada. Tehnologija nije jedini krivac za cijelu situaciju, već je samo jedan čimbenik koji treba uzeti u obzir pri gospodarenju otpadom. Zemlje koje žele napredovati i što manje odlagati otpad, imaju veću vjerojatnost da će uspjeti u tom naumu ukoliko odaberu lokalno prikladna rješenja. Globalno, većina otpada trenutno se odlaže na neka od odlagališta. Veći dio se odlaže na obična odlagališta, od čega se manji dio odlaže na sanitarna odlagališta sa sustavima za prikupljanje odlagališnih plinova.

I dok u Europi postoji nešto više od 500 postrojenja za mehaničko-biološku preradu otpada, scenarij je sasvim drugačiji u SAD-u. U Sjedinjenim Američkim Država, postoji oko 5 MBO postrojenja, a u ostatku svijeta, izuzev Europe, također ni približno velike brojke kao unutar Europe.

Smatra se da prilika za obnovu energije leži u zajednicama koje vide njenu korist, a Europa je značajan primjer toga. Također, postoje manje lokalne zajednice unutar velikih država koje prepoznaju potencijal iskorištavanja energetske vrijednosti komunalnog otpada. Na grafu na slici 4-2, prikazan je postotak određenog gospodarenja otpadom na svjetskoj razini.



Slika 4-2 Graf gospodarenja otpadom na svjetskoj razini (The World Bank, 2016)

## Kanada

U gradu Edmontonu, u Kanadi, nalazi se postrojenje za anaerobnu preradu biootpada. Obraduju oko 40 000 tona biootpada godišnje, te njime zadovoljavaju potrebe za električnom energijom svojih sugrađana. U ovom postrojenju, biootpad se uzima iz spremnika predviđenih za biootpad, te se on ručno odvaja od ostalog komunalnog smeća ukoliko je nešto zalutalo. Anaerobna prerada djeluje poput želuca: materijal se stavlja u zatvorenu ćeliju bez kisika, a bakterije ga probavljaju kako bi proizvele bioplin (mješoviti plin sastavljen prvenstveno od metana). Bioplin se zatim hvata i spaljuje u kombiniranim generatorima topline i električne energije za proizvodnju energije u obliku električne i toplinske energije. Količina plina poslana u proizvodnu stanicu svaki dan veća je od 50 000 kubičnih metara.

Svake godine proizvede se dovoljno plina da se zadovolje potrebe za električnom energijom otprilike 4600 domova.

Prvih 10 godina pročišćeni plin je odvođen cijevima do obližnje Epcorove električne stanice gdje se koristio kao gorivo za proizvodnju električne energije. Godine 2005. Epcor je izgradio manje generatore pored postrojenja za oporabu odlagališnog plina. Novi generatori mogu isporučiti 4,6 megavata električne energije u elektroenergetsku mrežu, a trenutno postrojenje za anaerobnu preradu isporučuje oko 2 megavata električne energije (Edmonton Waste Management Center). Slika postrojenja za anaerobnu preradu biootpada u Edmontonu, u Kanadi prikazano je na slici 4-3.



**Slika 4-3** Prikaz centra za gospodarenje otpadom u Edmontonu, Kanada (Maple Reinders, 2018)

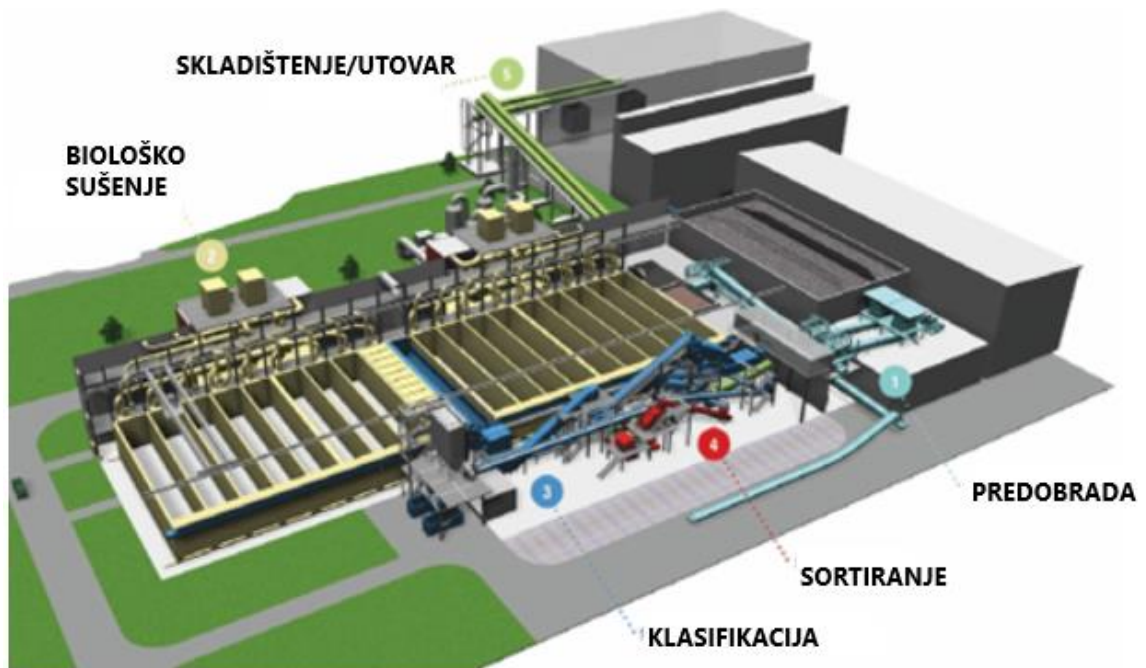
## **Kina**

China Jinjiang Environment (CJE) jedna je od 500 najvećih kineskih tvrtki koje djeluju u industriji proizvodnje električne energije, obojenih metala i kemijske industrije. CJE je bila jedna od prvih privatnih tvrtki koja je još 1990-ih investirala u zaštitu okoliša i 1992. godine izgradila prvu elektranu za iskorištenje otpada. Izgradnjom MBO postrojenja kapaciteta 277.750 t/god na lokaciji Lianyungang, tvrtka China Jinjiang Environment, namjeravala je učinkovitije proizvoditi energiju i smanjiti razinu ispušnih plinova u postojećem postrojenju za izgaranje.

Do nedavno je ova tvrtka spaljivala kućni i komercijalni otpad u postrojenju za spaljivanje otpada bez prethodne obrade. Međutim, visoke razine ispušnih plinova dovele su do potrebe za spaljivanjem otpada na višim temperaturama i s povećanom učinkovitošću. Zbog visokog sadržaja vlage, otpad se prvo suši, metali se oporabljuju, a zagađivači poput stakla, agregata i pijeska, odvajaju se od otpada u MBO postrojenju za prethodnu obradu. U razdoblju od 2016. do 2018. godine izgrađeno jedno od najvećih svjetskih postrojenja za mehaničko-biološku preradu otpada za proizvodnju sekundarnog goriva s dnevnim protokom od 750 tona.

U usporedbi s Europom, kućni otpad u Kini ima relativno visok sadržaj organskih tvari i vlage, pa se spaljivanjem postiže niža energetska učinkovitost. Ovisno o regionalnim uvjetima, kalorična vrijednost kućnog otpada u Kini je u rasponu od 3 – 6,7 MJ/kg, što je daleko manje od 9 – 11 MJ/kg u Europi. Cilj ovog postrojenja je povećanje kalorijske vrijednosti sušenjem otpada od ulazne vlage od 50% do maksimalnog sadržaja vlage od 30%. Biološkim sušenjem i kasnijom mehaničkom obradom kalorijska vrijednost se povećava s 3 – 6,7 MJ/kg na približno 12 – 14 MJ/kg (Waste Management World, 2017). Na slici 4-4 prikazan je model MBO postrojenja u Lianyungang, u Kini.



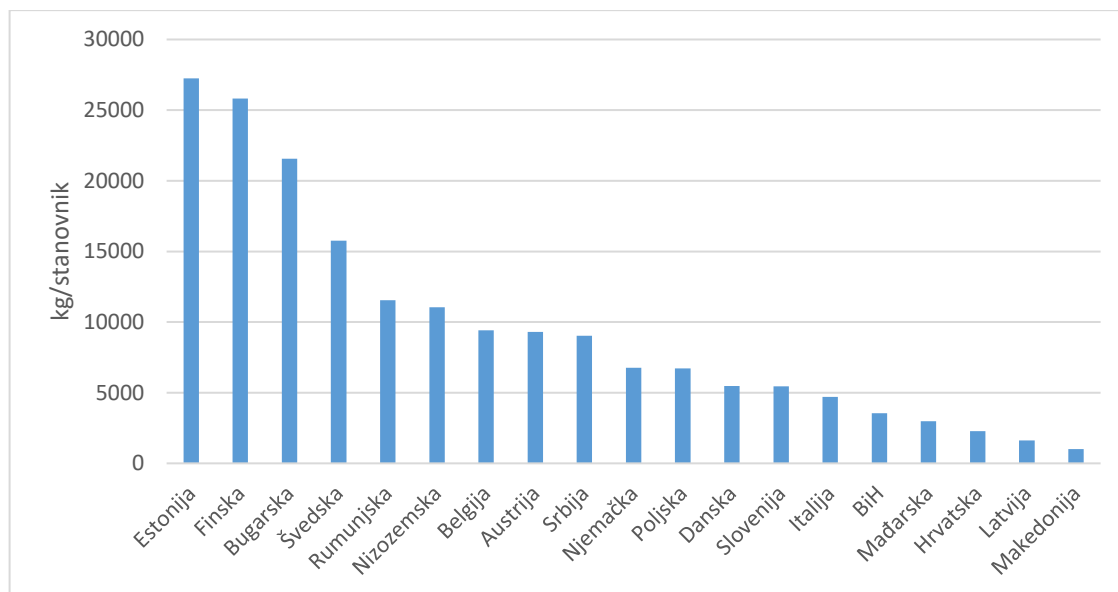


Slika 4-4 Model MBO postrojenja i Lianyungang, Kina (Global Recycling, 2017)

#### 4.2. Primjeri u Europi

Cilj gospodarenja otpadom u Europi je promicanje mogućnosti obrade otpada, posebno dajući prednost uporabi i recikliranju u odnosu na odlaganje. U kontekstu kružnog gospodarstva, gospodarenje otpadom usmjereno je na očuvanje vrijednosti i svojstava otpadnih materijala isporukom visokokvalitetnih sekundarnih sirovina gospodarstvu. Oporaba metala i drugih materijala važna je ekonomska i ekološka funkcija. Prodaja i korištenje sekundarnih materijala stvara dodatni prihod i ujedno nudi zamjenu za proizvodnju novih materijala.

Slijedeći hijerarhiju gospodarenja otpadom, od sprječavanja nastanka otpada do njegovog odlaganja, prva stavka koja može pomoći je količina nastajanja otpada unutar jedne zemlje. Većinom bogate zemlje proizvode više otpada. Iako čine samo 16 posto svjetske populacije, zemlje s visokim dohotkom proizvode oko 34 % svjetskog otpada. Godišnje količine proizvedenog otpada nekih europskih zemalja prikazane su na grafu na slici 4-5.



**Slika 4-5 Graf godišnjih količina proizvedenog otpada nekih europskih zemalja (Eurostat waste statistics, 2018)**

Postrojenja za mehaničko biološku preradu otpada su veliki uspjeh u Europi. U Njemačkoj se koriste više od 20 godina, iako MBO postrojenja daju dobre rezultate, veća količina otpada, znači i više neugodnih mirisa i bakterija. Iskustvo pokazuje da ukoliko postoji dobar sustav odvojenog prikupljanja biootpada, MBO postrojenja nisu najbolje rješenje. Ona su najbolje rješenje na područjima gdje se prikuplja mješoviti komunalni otpad, koji može poslužiti kao sekundarna sirovina za dobivanje toplinske ili električne energije.

### **Slovenija**

Regionalno odlagalište otpada grada Celje i 24 okolne općine nalazi se oko 4 km istočno od grada Celje, odnosno oko 600 metara udaljenosti od prvih kuća sela Bukovžlak. Njegov kapacitet (1.878.000 m<sup>3</sup>) omogućuje zbrinjavanje otpada sljedećih 30 godina uz primjenu uspostavljenog sustava gospodarenja.

Dno novog odlagališta prekriveno je pijeskom, te obloženo nepropusnom folijom kako bi se spriječilo širenje procjedne vode ispod površine odlagališta u podzemne vode. Gume izdvojene iz otpada služe kao zaštitna barijera i postavljaju se direktno na nepropusnu foliju kako se ona ne bi oštetila otpadom. Bageri nabijači prekrivaju odlagalište kako bi spriječili širenje neugodnih mirisa, skupljanje insekata i druge nepoželjne pojave koje mogu nastati

nekontroliranim odlaganjem otpada. Kompaktori sabijaju nataloženi materijal, smanjujući njegov volumen. Budući da u tom kompaktiranom materijalu nema kisika, mogućnost samozapaljenja svedena je na minimum. Tu su i cijevi za prikupljanje i odvod odlagališnih plinova nastalih anaerobnom razgradnjom otpada.

Ovaj opisani regionalni sustav gospodarenja otpadom koji pokriva potrebe grada Celja i 24 okolne općine s 230.000 stanovnika, u pogonu obrađuje tri različite vrste odvojeno prikupljenog otpada: biorazgradivi otpad, miješani otpad i ostali odvojeno prikupljeni otpad.

Biorazgradivi otpad se dovodi direktno na kompostiranje, gdje je finalni proizvod kompost koji se bolje kvalitete prodaje za poboljšanje tla, dok se kompost lošije kvalitete koristi za pokrivanje odlagališta.

Miješani komunalni otpad obrađuje se u postrojenju za mehaničku biološku obradu, gdje su finalni proizvodi lake frakcije, teške frakcije i metali. Laka frakcija se kamionima prevozi do toplane i miješa s muljem iz komunalnog uređaja za pročišćavanje otpadnih voda. Izgaranjem ove smjese u ložištu kotla dobiva se električna (2 MW) i toplinska energija (15 MW). Nusprodukti izgaranja su pepeo iz ložišta u količini od oko 2500 tona godišnje, koji se transportira natrag na odlagalište i leteći pepeo iz vrećastog filtra u količini od oko 300 do 400 kg godišnje, koji se odlože kao opasni otpad. Teška frakcija iz MBO postrojenja odlaže se na odlagalište, a izdvojeni metali se prodaju otkupljivačima sekundarnih sirovina.

Ostali odvojeno prikupljeni otpad odvozi se u sortirnicu gdje se dodatno razvrstava. Izdvojeni dijelovi plastike i metala se prodaju, a sitni ostatak nerazvrstanog otpada prosljeđuje u MBO postrojenje gdje se obrađuje s miješanim komunalnim otpadom.

Prema ovom uspješnom primjeru održivog sustava gospodarenja otpadom izvedena je generalizirana shema koja se može upotrijebiti za slične regionalne sustave gospodarenja u Hrvatskoj (Plavac i dr., 2017).

## **Poljska**

Postrojenje za gospodarenje otpadom “Racula” u blizini Zelene Gore, u zapadnom dijelu Poljske, jedno je od najstarijih operativnih MBO postrojenja za obradu krutog komunalnog otpada u Poljskoj.

Trenutno pruža usluge za grad Zelena Gora i 8 susjednih općina, te opskrbljava potrebe od oko 186 000 stanovnika.

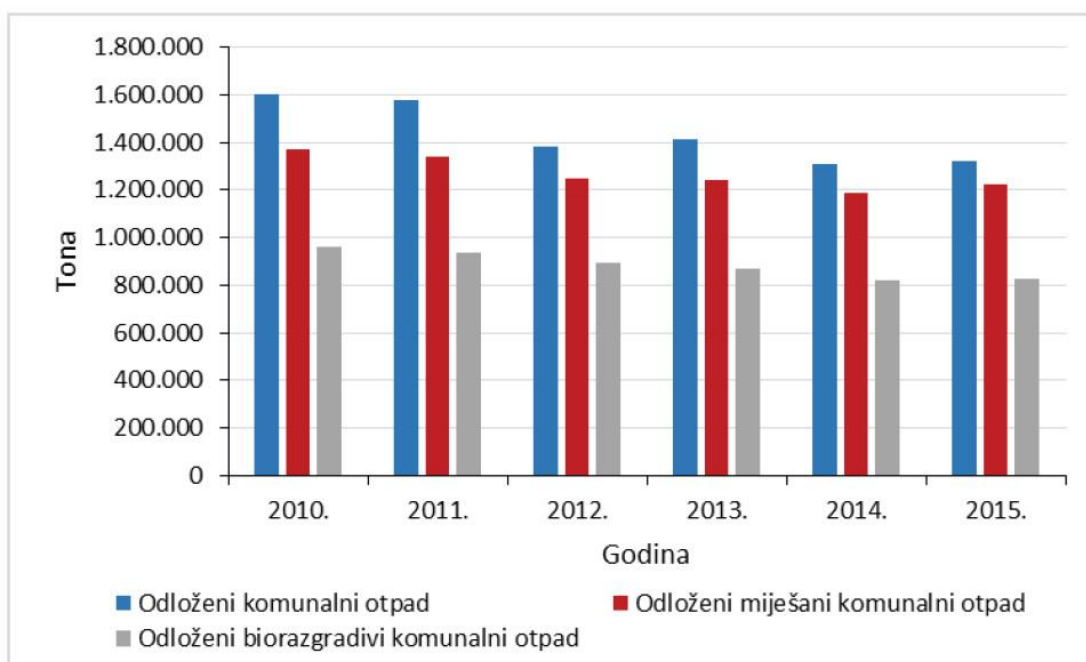
Tehnologija koja se koristi u “Racula”, primjenjuje prethodno odvajanje korisnog otpada na izvoru, a ručno odvajanje odvija se na liniji za sortiranje u postrojenju. Korisni otpad se

selektivno skuplja u kontejnere, gdje se skupljaju stari papir, staklo, plastični materijali, tekstil te krupni otpad i opasni otpad poput baterija i lijekova.

Kruti komunalni otpad koji nastaje u sabirnom području usmjerava se na kompostiranje u količini od oko 25%, a preostala masa odlaže se na odlagalište. Aerobna obrada otpada temelji se na tehnologiji u kojoj se procesi razgradnje odvijaju u otvorenim komorama s prisilnom aeracijom. Osnovni cilj kompostiranja otpada u postrojenju je aerobna razgradnja organskog otpada do razine koja omogućuje smanjenje volumena otpada i do 30% i sadržaj organskih spojeva do 80%. Otpad koji se transportira u MBO postrojenje istovaruje se izravno u jedan od šest skladišnih bunkera, koji čine prvi element svake procesne linije. Svi skladišni bunker i aeracijske komore imaju podove s posebnim otvorima, koji omogućuju prozračivanje sloja otpada uvlačenjem zraka iz atmosfere, a ujedno i stabiliziraju otplinjavanje. Plinovi prikupljeni iz aerobnih komora hlade se u izmjenjivaču topline i pumpaju kroz biofilter ispunjen stabilizatom. Dobivena toplina koristi se za zagrijavanje zraka koji se koristi za sušenje stabilizata u bunkerima, a u zimskom periodu i za grijanje zgrade za obradu stabilizata. Sljedeći korak ka povećanju učinkovitosti uporabe otpada je korištenje stabilizata proizvedenog u MBO postrojenju u energetske svrhe. Trenutno se stabilizat u cijelosti odlaže na odlagalište. Energetska vrijednost stabilizata kreće se od 12,2 do 19,8MJ/kg. U konačnici se predviđa da će biti moguće dobiti 250kW električne energije po satu, ako se uvedu nove tehnologije iskorištavanja i uporabe energije (Suchowska-Kisielewicz i dr.,2017).

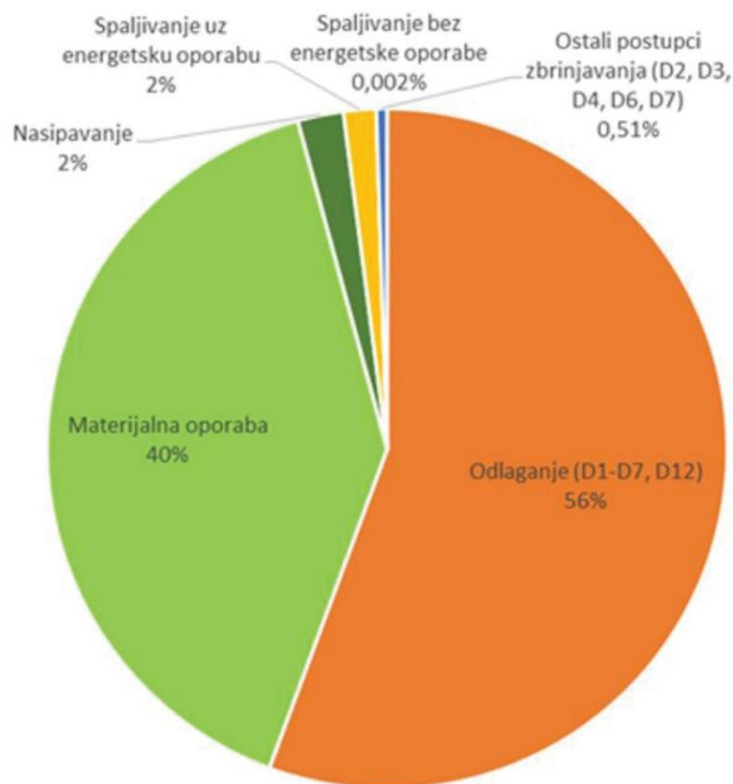
### **4.3. Primjeri u Republici Hrvatskoj**

U Hrvatskoj se, prema Planu gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017.-2022. godine, potencijal iskorištenja otpada kao sekundarne sirovine sve više prepoznaje, te se količina odlaganog otpada sve više smanjuje, što nam i pokazuje graf prikazan na slici 4-6.



**Slika 4-6** Količina odloženog otpada u t/god (Plan gospodarenja otpadom RH,2017)

Na grafu prikazanom na slici 4-7, prikazani su udjeli postotaka uporabe/zbrinjavanja ukupnog otpada (komunalnog i proizvodnog) s područja RH u 2014. godini. Iako udjeli nisu optimalni, u odnosu na 2012. godinu, postotak odlaganja smanjio se za 10%, a udio uporabe povećao za 8%. Kako bi se što više smanjilo odlaganje neiskorištenog otpada, u Republici Hrvatskoj planirana je izgradnja centara za gospodarenje otpadom (Plan gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017.-2022. godine).



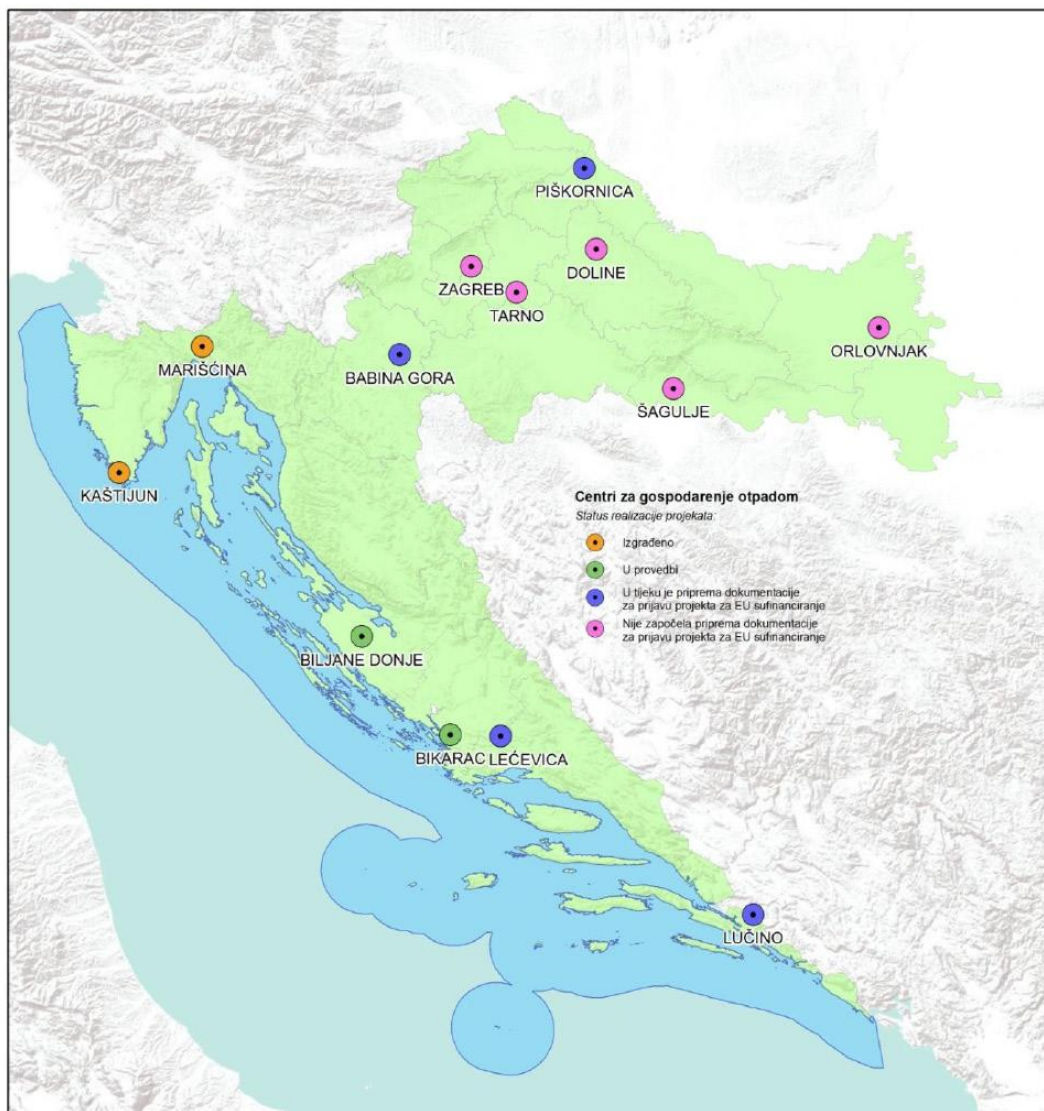
**Slika 4-7** Udio postotaka zbrinjavanja/oporabe otpada u 2014. godini (Plan gospodarenja otpadom RH, 2017)

Centri za gospodarenje otpadom, kako piše Fond za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, jedan su od ključnih elemenata za uspostavu cjelovitog sustava gospodarenja otpadom. Cilj centra za gospodarenje otpadom je svođenje neiskoristivog otpada nakon obrade na minimum. U Hrvatskoj, tehnologija obrade otpada unutar centra, utjecaji na ljude i okoliš, te tok otpada, definirani su Planovima gospodarenja otpadom i studijama izvedivosti.

Centar za gospodarenje otpadom opremljen je postrojenjem za mehaničko-biološku preradu otpada, postrojenjem za obradu otpadnih voda, odlagališnim ploham, pretovarnim stanicama, te pripadajućim objektima. Planirana je izgradnja 11 takvih centara u Hrvatskoj, od kojih su 2 izgrađena i u funkciji (Kaštijun i Marišćina), dva centra su u procesu izgradnje (Bikarac i Biljane Donje), četiri centra su odobrena za sufinanciranje iz EU fondova i trenutno su u stadiju ugovaranja radova (Babina Gora, Lećevica, Lučino Razdolje i Piškornica) dok su preostala tri centra u stadiju pripreme dokumentacije za podnesak prijave na EU sufinanciranje (Orlovnjak, Šagulje i Zagreb) (FZOEU, 2022).

Slika 4-8 prikazuje položaj postojećih i planiranih centara za gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj. Narančasta boja označava izgrađene centre, zelena centre koji su u

provedbi, plava centre kojima je u tijeku priprema dokumentacije za prijavu projekta za EU sufinanciranje i ljubičasta boja prikazuje centre kojima nije započela priprema dokumentacije zjavu projekta za EU sufinanciranje.



Slika 4-8 Prikaz položaja postojećih i planiranih centara za gospodarenje otpadom u RH (NN 03/2017)

### ŽCGO „Kaštijun“

Godine 2013. počela je izgradnja Županijskog centra za gospodarenje otpadom „Kaštijun“. Centar je izgrađen u Istarskoj županiji, na oko 5 km udaljenosti od grada Pule, na području mjesta Premantura. Vrijednost projekta koji je izgrađen u skladu s nacionalnom regulativom i svim važećim europskim direktivama, iznosi 266 milijuna kuna, a sufinanciran je sa 71% sredstava iz EU fondova, dok su ostatak iznosa osigurali Fond za zaštitu okoliša i

energetsku učinkovitost, grad Pula, Istarska županija i tvrtka Kaštijun d.o.o. koja upravlja Centrom, piše Fond za zaštitu okoliša i energetsku učinkovitost.

Na području centra „Kaštijun“ nalazi se postrojenje za mehaničko-biološku obradu, bioreaktorsko odlagalište, uređaj za pročišćivanje otpadnih voda te ostala popratna infrastruktura (FZOEU, 2022).

#### Prihvat i priprema otpada

Proces pripreme komunalnog otpada za MBO započinje prihvatom otpada u centar koji je transportiran pomoću kamiona tegljača s poluprikolicom. U centru postoje 4 istovarna mjesta na kojima se nalaze brzozatvarajuća vrata koja omogućavaju stvaranje podtlaka u prihvatnim jamama za otpad kako ne bi došlo do širenja neugodnih mirisa izvan centra. Prihvatna jama ima volumen od 2.285,2 m<sup>3</sup>, što je dovoljno za prihvat otpada najmanje tri dana u vrijeme trajanja turističke sezone. Također, prihvatna jama nalazi se ispod razine platoa, kako bi se olakšao istovar otpada pomoću kamiona, ali i kako gume kamiona ne bi bile u kontaktu sa otpadom. Sva ostala upravljanja unutar prihvatne jame, u potpunosti su automatizirana. Otpad se dizalicom prenosi u drobilicu u kojoj se usitnjava na veličinu od 200 mm, a takav usitnjeni otpad odlazi na biosušenje u bioboksove.

#### Aerobna biološka obrada

Proces biosušenja služi za uklanjanje vode iz otpada i povećanja ogrjevne vrijednosti. U centru „Kaštijun“ nalazi se 12 biobokseva, ukupnog kapaciteta nešto više od 2 800 tona u jednom ciklusu, a ciklus biosušenja traje do 7 dana. Proces biosušenja odvija se u zatvorenom sustavu, koristeći toplinu i sustav ventilacije. Također, zatvoreni sustav pomaže spriječiti širenje neugodnih mirisa, pare i prašine po hali. Isto kao i kod prihvatnih jama, punjenje i pražnjenje biobokseva u potpunosti je automatizirano. Procesi unutar svakog bioboksa, odvijaju se neovisno o procesima unutar ostalih biobokseva i neovisno o vanjskim vremenskim uvjetima. Kako bi se spriječilo širenje plinova iz biološke obrade u atmosferu, izvan ovog postrojenja, kao zasebni objekti nalaze se dvije jedinice za pranje zraka i dva biofiltera za pročišćivanje. Protustrujni perlač zraka ima u mogućnost dodati sumpornu kiselinu (ukoliko je potrebno) kako bi se regulirao pH plina. Produkt aerobne biološke obrade je nekompostirana frakcija komunalnog otpada koja dalje odlazi na mehaničku i anaerobnu biološku obradu.

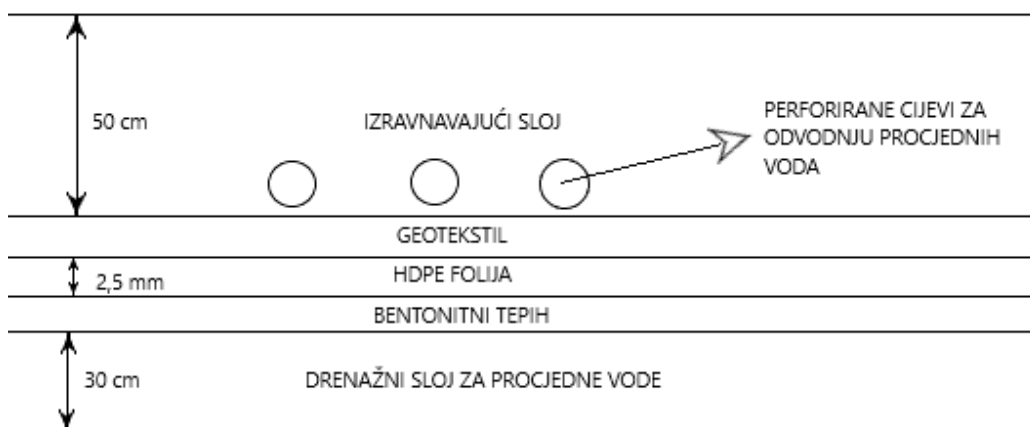
#### Mehanička obrada (rafinacija)



Kod mehaničke obrade, otpad se transportira transportnim trakama u sito promjera 20 mm. Čestice manje od 20 mm uglavnom su inertne i bez značajne toplinske vrijednosti, te one ne prolaze kroz daljnju obradu. Čestice veće od 20 mm dalje odlaze kroz magnetski separator gdje se izdvajaju čestice metala, a nakon toga i vrtložni strujni separator koji služi za odvajanje nemagnetičnih metala. Nakon dobivanja frakcije bez metala, ostatak otpada ide na separaciju u zračni separator, gdje kao produkte dobivamo tešku frakciju (inertan materijal) i laku frakciju (materijal s visokom toplinskom vrijednošću, npr. papir i plastika) od koje se proizvodi gorivo iz otpada (GIO).

#### Anaerobna biološka obrada

Anaerobna biološka obrada odvija se u centru „Kaštijun“ na dvije (A1 i A2) bioreaktorske plohe površine 3,9 hA. Na dnu ploha, postavljen je donji brtveni sloj koji učinkovito izolira odlagališno tijelo od podzemnih voda, ali služi i za prihvat procjednih voda. U odlagalište ugrađuje se otpad sa maksimalno 25% sadržaja vode, što znači da se ne očekuju znatne količine procjednih voda prije završne faze iskorištavanja odlagališnog plina. Poprečni presjek donjeg brtvenog sloja prikazan je na slici 4-9.



**Slika 4-9** Poprečni presjek donjeg brtvenog sloja

Nakon aerobne obrade u bioboksevima, otpad se transportira kamionima na odlagališnu plohu te se rasprostire u slojevima debljine 0,3-0,5 m. Svaki sloj se na kraju radnog dana prekriva inertnim materijalom kao što su zemlja ili obrađeni građevinski materijal. Također,

postoji mogućnost prekrivanja slojeva LDPE folijom (low-density polyethylene – polietilen niske gustoće), kako bi se smanjilo procjeđivanje oborinskih voda kroz postavljene sloj.

Ispunjenjem kapaciteta odlagališta, na samo tijelo odlagališta postavlja se završni brtveni sloj, čiji je poprečni presjek prikazan na slici 4-10. Završni sustav slojeva omogućava površinsko otjecanje oborinskih voda, nakon čega se oborinske vode odvede kanalom do bazena predviđenih za njeno prikupljanje. Samim time, gornji brtveni sloj sprječava prodor oborinskih voda u tijelo odlagališta.



Slika 4-10 Poprečni presjek završnog brtvenog sloja

#### Zatvaranje bioreaktorskog odlagališta

Kako bi se postigli anaerobni uvjeti razgradnje, u tijelo odlagališta, nakon ispunjenja odlagališnog kapaciteta, dodaje se voda te bi vlažnost mase trebala iznositi 40%. Anaerobni uvjeti unutar tijela odlagališta, omogućit će višegodišnje nastajanje plina, koji će se pomoću sustava otplinjavanja, odvoditi cjevovodima u energetska postrojenja u svrhu proizvodnje električne energije.

Postrojenje za obradu/iskorištavanje bioplina se sastoji od tri osnovna dijela:

- plinske stanice
- modula za proizvodnju električne energije
- visokotemperaturne baklje

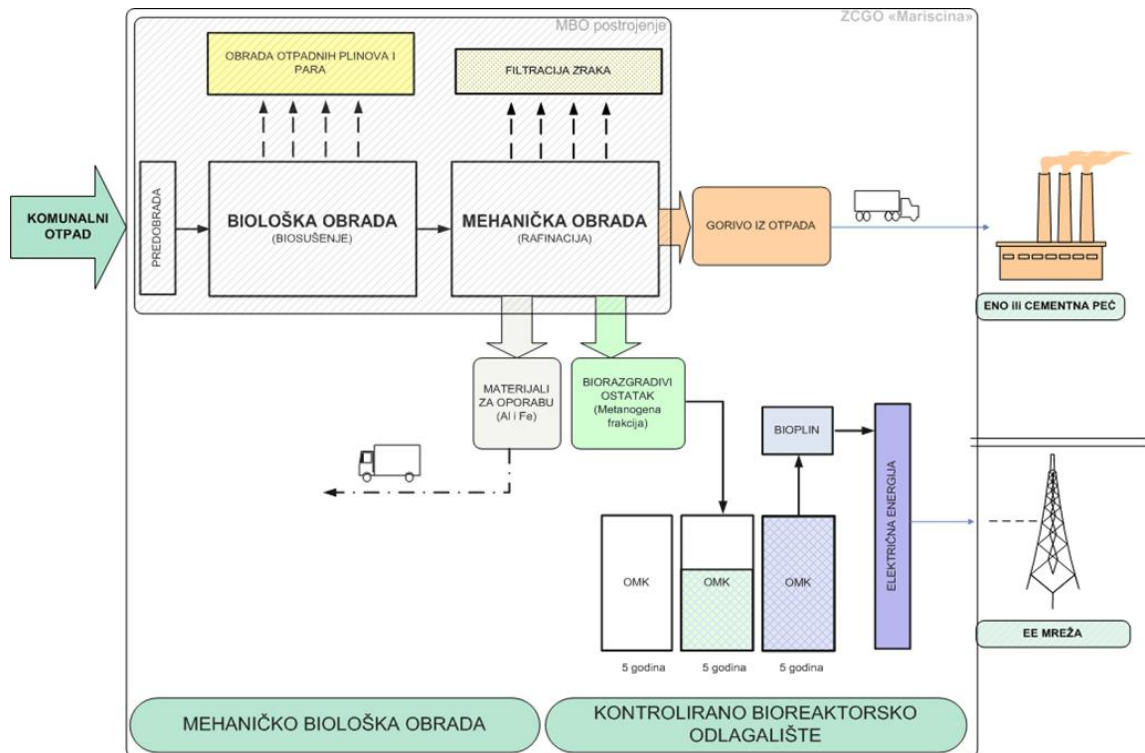
Prema očekivanim količinama plina, postrojenje je opremljeno plinskim motorima snage 0,637 MW i 0,330 MW. Ukoliko će količine plina biti manje od očekivanih, odnosno nedostadne za proizvodnju električne energije, plin će se spaljivati na visokotemperaturnoj baklji (IPZ Uniprojekt TERRA d.o.o., 2016).

### **ŽCGO „Marišćina“**

Županijski centar za gospodarenje otpadom „Marišćina“ nalazi se u Primorsko-goranskoj županiji, u sjevernom dijelu općine Viškovo. „Marišćina“ je prvi izgrađeni centar, od 12 predviđenih centara za gospodarenje otpadom u Republici Hrvatskoj. Vrijednost projekta iznosi 277 milijuna kuna, te je projekt sufinanciran od strane EU fondova sa 71% iznosa, dok je ostatak iznosa osiguran iz Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost, Grada Rijeke, Primorsko-goranske županije i tvrtke Ekoplus koja upravlja Centrom. Kapacitet Centra za prihvaćanje i obradu komunalnog otpada iznosi 400t/danu, što pokriva potrebe oko 300 000 stanovnika Primorsko-goranske županije.

Županijski centar za gospodarenje otpadom „Marišćina“ prostire se površinom od 42,5 hektara, a sastoji se od radne zone na tri platoa gdje se obavlja prihvati i obrada otpada, bioreaktorskog odlagališta, te sustava za praćenje uvjeta unutar Centra najmanje 10 godina nakon zatvaranja. Pretovarne stanice nalaze se na Cresu, Krku, Rabu te u Novom Vinodolskom i Delnicama (Grad Rijeka, 2022)

Na slici 4-11 prikazan je shematski prikaz postrojenja u ŽCGO „Marišćina“.



Slika 4-11 Shematski prikaz postrojenja ŽCGO "Marišćina" (Ekoplus d.o.o., 2010)

### Prihvat i priprema otpada

Sav komunalni otpad prikuplja se u pretovarnim stanicama u poluprikolice, te se one priključuju na kamion tegljač i transportiraju do ŽCGO-a. Pripadajuća dokumentacija i vaganje poluprikolica, također se obavlja u pretovarnim stanicama. Kako ne bi došlo do ispuštanja procjednih voda i širenja prašine i neugodnih mirisa, poluprikolice su potpuno zatvorene i opremljene sa spremnikom za prikupljanje procjednih voda. Prihvat otpada provodi se na portirnici elektronskom vagom, također se ovdje i provodi kontrola eventualnog ionizirajućeg zračenja u pristiglom otpadu. Nakon vaganja i provedenih kontrola dokumentacije, otpad se istovara u prihvatnu jamu, na jednom od 6 istovarnih mjesta. Prihvatna jama je volumena 2765 m<sup>3</sup>, koji omogućuje prihvat trodnevnog kapaciteta komunalnog otpada, što omogućuje fleksibilnost rada centra u slučaju kvarova prilikom rada postrojenja. Jama u centru „Marišćina“ građena je slično kao i kod centra „Kaštijun“, gdje se ona nalazi ispod razine platoa, zbog održavanja kamionskih guma te u stalnom podtlaku, što sprječava širenje neugodnih mirisa. Nakon prijvata, otpad ide na prethodnu preradu prije biološke obrade.

## Biološka obrada

Prethodna prerada otpada prije biološke obrade odvija se u drobilici, koja usitnjava otpad na komade manje od 200 mm. Drobilica se nalazi u hali gdje se odvija i prihvata otpada u jamu.

Postrojenje za biosušenje sastoji se od 12 biobokseva, kod kojih je punjenje i pražnjenje u potpunosti automatizirano. Također, u bioboksevima nalazi se vlastiti sustav za ventilaciju opremljenim sa izmjenjivačima topline. Ventilacija služi za sušenje otpada, ali i za hlađenje zraka tijekom ljetnih mjeseci. Otpad se iz biobokseva, transportira dalje na mehaničku obradu.

## Mehanička obrada prije uporabe ili zbrinjavanja

Iz otpada se nakon procesa biosušenja odvajaju različite frakcije, kao što su GIO, metali, plastika, teška frakcija i metanogena frakcija koja je pogodna za proizvodnju bioplina. Mehanička obrada ili rafinacija služi kako bi se otpadu poboljšala već postojeća svojstva, te kako bi otpad postao sekundarna sirovina. Prema Elaboratu gospodarenja otpadom tvrtke Ekoplus d.o.o. Rijeka produkti obrade u MBO postrojenju su sljedeći:

- 34,79 % - metanogena frakcija
- 4,12% - reciklabilni materijali (3,06% željezni metali, i 1,06 % neželjezni metali)
- 14,35 % - gubitak vlage pri biosušenju
- 46,74% - gorivo iz otpada

Nekompostirana ili metanogena frakcija komunalnog otpada, odlaze se na odlagališne plohe unutar Centra. Reciklabilni materijali predaju se ovlaštenom sakupljaču, a gorivo iz otpada preuzima tvornica cementa „Holcim“ iz Koromačnog.

## Odlaganje

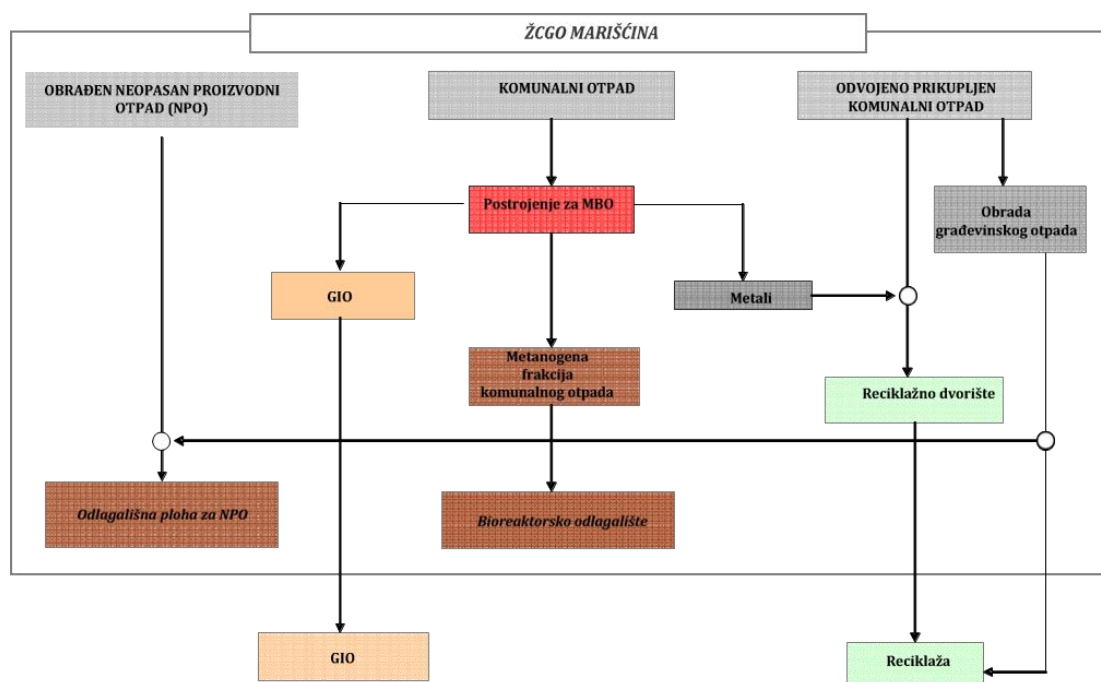
U Županijskom centru za gospodarenje otpada „Mariščina“, nalaze se 3 plohe (1A, 1B i 1C) koje su predviđene za odlaganje otpada, dok su plohe 1A i 1B potpuno pripremljene sa svim pratećim sustavima. Obje plohe su namjenjene za odlaganje otpada nakon mehaničko-biološke obrade, tzv. metanogene frakcije, dok je ploha 1B namijenjena i za odlaganje neopasnog otpada na zapadnom dijelu plohe zbog čega je razdvojena razdjelnim nasipom.

Odlaganje neopasnog otpada provodi se bez prethodne obrade otpada, samo zbijanjem kompaktorom.

Metanogena frakcija, koja čini 35% ukupne količine komunalnog otpada, odlaže se na plohi 1A kapaciteta 302 387 m<sup>3</sup> i dijelom na plohi 1B kapaciteta 169 194 m<sup>3</sup>. Kapacitet ovih ploha omogućava odlaganje metanogene frakcije otprilike 8 godina. Otpad se na plohama rasprostire u slojevima debljine 0,3-0,4 m, nakon čega slijedi kompaktiranje. Otpad se svakodnevno prekriva slojem inertnog materijala, kako bi se spriječio unos oborinskih voda u tijelo odlagališta (Ekoplus d.o.o., 2010).

U Županijskoj centru za gospodarenje otpadom „Marišćina“ predviđena je izgradnja postrojenja na bioplin snage 500kW te 8000 radnih sati godišnje. Izračunata količina električne energije, koja može biti dobivena iz neobrađenog bioplina iznosi 4MWh/god (Đurđević, 2015).

Na slici 4-12 prikazan je tok otpada unutar ŽCGO-a Marišćina (Ekoplusd.o.o., 2010).



Slika 4-12 Tok otpada unutar ŽCGO-a "Marišćina" (Ekoplus d.o.o., 2010)

## 5. NOVSKA

Grad Novska smjestio se u zapadnom dijelu Slavonije, unutar Sisačko-moslavačke županije. Broji nešto više od 11 000 stanovnika zajedno sa 23 okolna naselja, koji se nalaze u otprilike 4000 kućanstava. Najzastupljenija grana gospodarstva na području grada Novske je poljoprivreda. Mogućnosti razvoja gospodarstva na području Grada temeljene su uz prostorno – prometne pogodnosti područja, dobro razvijene prometne infrastrukture (autocesta i željeznica) te blizine državne granice s BIH, kako piše na službenim stranicama grada Novske. Također, uz poljoprivredu, velik dio gospodarstva odnosi i drvna industrija, pčelarstvo i proizvodnja meda, te u novije vrijeme i industrija videoigara.

### 5.1. Sustav prikupljanja otpada unutar grada Novske

Poduzeće Novokom d.o.o. uz djelatnosti upravljanja tržnicom, dimnjačarskih usluga, pogrebnih usluga te održavanja javnih površina, također se bavi i gospodarenjem otpadom unutar grada. Korisnici javne usluge prikupljanja otpada dijele se u kategorije korisnika kućanstvo i nije kućanstvo. Veličine spremnika za prikupljanje otpada kreću se od 120 litara za kategoriju kućanstvo, pa sve do 5000 litara za kategoriju nije kućanstvo. Boje kojima se označavaju različite vrste spremnika, na području grada Novske su: zelena za miješani komunalni otpad, smeđa za biootpad, plava za otpadni papir i karton te žuta za otpadnu plastiku. Spremnik za miješani komunalni otpad ima jedinstvenu oznaku koju je moguće nedvosmisleno povezati s vlasnikom spremnika te je opremljen i elektroničkim čipom.

Prikupljanje miješanog komunalnog otpada odvija se najmanje jednom u dva tjedna, to je najčešće svaki tjedan, biootpad također jednom u dva tjedna, dok se otpadni papir i plastika prikupljaju jednom mjesečno. Sav otpad prikupljen na području grada Novske, odlaže se na Odlagalište otpada i reciklažno dvorište „Kurjakana“ (Grad Novska, 2022.)

Odlagalište otpada i reciklažno dvorište „Kurjakana“, na kojem se otpad odlaže od 1989. godine, nalazi se oko 1,7 km udaljenosti od grada Novske, unutar naselja Brestača. Na samu lokaciju odlagališta, dolazi se asfaltiranom cestom s koje se skreće na makadamski put dug oko 200-tinjak metara koji vodi do iskrcajne rampe. Odlagalište zauzima površinu otprilike 4,53 hektara, te se nalazi izvan svih zaštićenih zona prirode i kulturno-povijesne baštine. Rad odlagališta predviđa se do zapunjenja njegovih kapaciteta, tj. do otvaranja Centra za gospodarenje otpadom. Prema stručnoj podlozi zahtjeva za izdavanje okolišne dozvole –

odlagališta „Kurjakana“ koji je podnesen prije godinu dana, preostali kapacitet odlagališta iznosi otprilike 33 000 t, odnosno 40 740 m<sup>3</sup>.

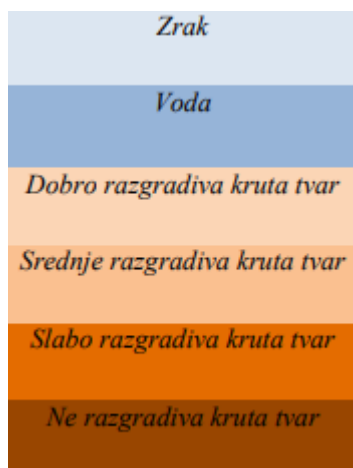
Prostor za odlaganje otpada, podijeljen je na 3 kazete, od kojih su kazeta 1 i 2 izgrađene 2017. godine na prethodno sabijenom postojećem odloženom otpadu, a kazeta 3 nalazi se na temeljnom tlu prekrivenom donjim brtvenim slojem.

Osim grada Novske, na odlagalište „Kurjakana“, svoj otpad od 2018. godine, odlaže i općina Hrvatska Dubica koja broji oko 2 000 stanovnika u oko 600 kućanstava (Novokom d.o.o., 2021).

Prema dobivenim podacima poduzeća Novokom d.o.o., odložena količina miješanog komunalnog otpada na odlagalište „Kurjakana“ za 2021. godinu iznosi 3 445 t.

## 5.2. Sastav otpada u bioreaktorskom odlagalištu i utjecajni faktori

U svrhu prijedloga bioreaktorskog odlagališta za grad Novsku, potrebno je analizirati i definirati sastav i količinu otpada koji će se odlagati na odlagalištu. Sastav otpada u bioreaktorskom odlagalištu može se prikazati kao smjesa 6 komponenti, koje su prikazane na slici 5-1 (Herenda i Tomašić, 2010).



Slika 5-1 Sastav otpada u bioreaktorskom odlagalištu (Pejić, 2017)

Karakteristike otpada koji bi se odlagao na spomenuto odlagalište su:

- Godišnje će se odlagati oko 3 500 t;
- Maseni udio biorazgradive komponente iznosi oko 35%;



- Aktivacija odlagališta se odvija u petogodišnjim ciklusima, dakle svakih 5 godina otpad se prekriva, kako bi se postigli anaerobni uvjeti unutar odlagališta, rad mikroorganizama aktivira se dodavanjem vode, čime započinje ekstrakcija plina u svrhu energetskog iskorištenja (Herenda i Tomašić, 2010).

Nakon utvrđivanja količine i sastava odlaganog otpada, za sam rad i održavanje bioreaktorskog odlagališta bitno se ističu vodopropusnost i stabilnost.

Vodopropusnost, koja može varirati između  $k = 10^{-3}$  do  $10^{-10}$  m/s, uvelike utječe na aktivnost unutar tijela odlagališta. Ukoliko sav otpad nije zasićen vodom, neće biti ni procesa razgradnje u svim dijelovima odlagališta.

Kako vodopropusnost pridonosi većoj razgradnji otpada, isto tako može prouzrokovati i diferencijalna slijeganja, koja mogu iznositi čak do 20%. Diferencijalna slijeganja direktno utječu na stabilnost, što može dovesti do deformiranja drenažnih cijevi ili plinovoda (Herenda i Tomašić, 2010).

Utrošak vode na bioreaktorskom odlagalištu, prema dosadašnjim svjetskim iskustvima, kreće se između 100 l/t do 350 l/t. Premalo vode će spriječiti ubrzanu razgradnju otpada, dok će višak vode otežati ekstrakciju plina. Za potrebe izračuna utroška vode u ovom radu, uzeo se nešto niži utrošak vode od 100 l/t, s obzirom na veličinu bioreaktorskog odlagališta.

Izračun:

$$m_{otpad/god} = 3\,500 \text{ t}$$

$$v = 100 \text{ l/t}$$

$$t = 5 \text{ godina}$$

$$\begin{aligned} \left( \frac{m_{otpad}}{god} \times t \right) \times v &= \left( 3\,500 \frac{t}{god} \times 5 \text{ god} \right) \times 100 \frac{l}{t} = 17500 \times 100 \\ &= 1\,750\,000 \text{ l} \approx 4\,800 \text{ l/dan} \end{aligned}$$

Uz pretpostavku da se godišnje odlaže 3 500 t otpada, a aktivacija mikroorganizama, odnosno cirkulacija vode kreće nakon 5 godina rada, dnevno će biti potrebno oko 4 800 l vode.

Nije moguće pretpostaviti hoće li količina procjedne vode na budućem odlagalištu biti dovoljna za rad bioreaktorskog odlagališta, stoga se za aktivaciju bioreaktorskog odlagališta

može koristiti oborinska voda, voda iz vodovoda te njihova kombinacija (Herenda i Tomašić, 2010).

Procjena količine odlagališnog plina koji će se generirati unutar tijela odlagališta, napravljena je prema već postojećim literaturama procijene i prijedloga bioreaktorskih odlagališta. Procijenjena je napravljena za vremenski period od 40 godina, koliko je predviđeno trajanje četvrte faze razgradnje otpada, odnosno anaerobne faze.

Ulazni parametri korišteni prilikom procjene su:

- Ukupna masa odloženog otpada: 140 000 t;
- Postotak razgradivog materijala: 35% (maksimalna dozvoljena vrijednost);
- Postotak metana: 50%;
- Postotak prikupljenog plina: 80% (maksimalna teoretska vrijednost).

Prema Herendi i Tomašić, za razdoblje od 25 godina, 70 000 t/god otpada i gore navedenim parametrima, maksimalna proizvodnja odlagališnog plina iznosi 270 m<sup>3</sup>/h, iz kojih se teoretski može dobiti 1300 kW energije. Prema tome, za ovdje navedene parametre i vremensko razdoblje od 40 godina, dolazimo do maksimalne proizvodnje 14 m<sup>3</sup>/h odlagališnog plina.

Produkcija i ekstrakcija samog odlagališnog plina ovisi o podosta čimbenika, od kojih su neki već spomenuti u radu. Izuzev fizikalnim i kemijskim značajkama samog otpada, iskorištenje odlagališnog plina ovisi i o točnosti proračuna, kvaliteti izvedbe, održavanju sustava, ali i o vanjskim čimbenicima kao što su tlak i temperatura zraka te o padalinama.

Prema Državnom hidrometeorološkom zavodu, za 2021. godinu, količina oborina za grad Novsku kreće se od 35 mm tijekom ljetnih mjeseci sve do 120 mm tijekom jesenskih mjeseci. Prosječna temperatura zraka u mjesecu prosincu i siječnju kreće se između 0-1 °C, dok najniže zabilježene temperature iznose čak i do -20 °C. Kao što je već spomenuto, aktivnost bakterija uvelike opada ako je temperatura unutar tijela odlagališta ispod 10 °C, ali uzimajući u obzir da aktivnost bakterija otpušta određenu količinu energije, i dalje se ne može sa sigurnošću tvrditi hoće li tijekom tih nekoliko mjeseci postojati ikakva bakterijska aktivnost. Niske temperature ne utječu samo na rad bakterija, već i na smrzavanje filtrata unutar tijela

odlagališta, a ukoliko ne postoji cirkulacija filtrata, bakterije ne dobivaju dovoljnu količinu hrane, a samim time nema niti produkcije odlagališnih plinova.

Za detaljnije izračune energetske iskoristivosti komunalnog otpada grada Novske, potrebno je provesti niz ispitivanja. Isto tako, u izračune je potrebno uvrstiti strukturu donjeg i gornjeg brtvenog sloj, način ugradnje i zbijanje otpada, kemijske i fizikalne značajke samog otpada, način dreniranja i obrade plina itd.

Što se tiče financijske i ekonomske isplativosti, početna ulaganja kod izgradnje bioreaktorskog odlagališta su vrlo visoka. Uz to se još treba pobrinuti za osposobljavanje radnika u skladu sa svojim radnim mjestom. Dodatni troškovi nakon zatvaranja odlagališta odlaze i na sustav praćenja, te postrojenje za obradu plinova. Izuzev svih navedenih i nenavedenih troškova, vođeni primjerima iz cijelog svijeta, bioreaktorska odlagališta donosit će određenu financijsku i energetska dobit.

## 6. ZAKLJUČAK

Planirana izgradnja 11 Centara za gospodarenjem otpadom na području Republike Hrvatske, u svojim planovima sadrže i izgradnju postrojena za mehaničko-biološku preradu otpada. Od 11 planiranih centara, dva su već izgrađena i u funkciji, što pokazuje da održivo gospodarenje otpadom u Hrvatskoj nije nemoguće. Jedan od produkata mehaničko-biološke prerade otpada predstavlja biološki obrađenu frakciju koja je pogodna za odlaganje na bioreaktorsko odlagalište.

Kao što je prikazano u radu, planiranje i izgradnja bioreaktorskog odlagališta je vrlo zahtjevna. Velik broj čimbenika utječe na samu produkciju odlagališnih plinova. Od značajki samog otpada, kvalitete izgradnje odlagališta do vanjskih utjecaja koje nije moguće kontrolirati. Isto tako, dovode se u pitanje ekonomska i financijska isplativost.

Izuzev svih utjecaja, vidljivo je da postoji određeni energetska potencijal. U današnje vrijeme kada je na prvom mjestu dobro gospodarenje otpadom, odnosno kada se otpad više ne smatra problemom već i sekundarnom sirovinom, energetska iskoristivost odlagališnih plinova nije zanemarivo. Bioreaktorska odlagališta predstavljaju alternativu u rješavanju problema odlaganja otpada.

Prijedlog bioreaktorskog odlagališta za grad Novsku iziskuje temeljitu analizu. Za točne izračune energetske i ekonomske isplativosti, treba uvrstiti cijeli niz troškova i ostalih čimbenika već navedenih prethodno u radu. Obzirom da postoje primjeri gdje su energetska i ekonomska isplativost moguće, ne znači da bi se u gradu Novska u nekoj bliskoj budućnosti mogla provoditi takva obrada otpada s ciljem dobivanja energije. Trenutno jedan od većih problema je kompliciranost izvedbe takvog jednog objekta. Donji i gornji brtveni slojevi, sustav za prikupljanje plina i sustav za recirkulaciju filtrata trebaju biti pomno izrađeni kako bi se postigla maksimalna iskoristivost biorazgradnje, a time i količina dobivene energije. Svrha ovog rada bila je pokazati mogućnost iskoristivosti otpada za dobivanje energije.

Bioreaktorska odlagališta budućnost su gospodarenja otpadom, te će sve više gradova i država prepoznati njihov potencijal. Sada je idealno vrijeme kako bi se ozbiljno razmotrilo prihvaćanje ideje bioreaktorskih odlagališta i njihovih prednosti. Prednosti bioreaktorskih odlagališta ne odnose se samo na energetska i novčanu korist, već i što je najvažnije u današnje vrijeme, pridonose očuvanju okoliša.

## 7. LITERATURA

ABBASI, T., TAUSEEF, S. M., ABBASI, S. A. 2012. A Brief History of Anaerobic Digestion and “Biogas”. Indija: Sveučilište Kalapet

DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD. 2022. Srednje mjesečne vrijednosti i ekstremi za grad Sisak u razdoblju 1979-2021. URL: [http://meteo.hr/klima.php?section=klima\\_podaci&param=k1&Grad=sisak](http://meteo.hr/klima.php?section=klima_podaci&param=k1&Grad=sisak)

ĐURĐEVIĆ, D. 2015. Energetsko iskorištavanje otpada. Diplomski rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije.

EDMONTON WASTE MANAGEMENT CENTER. Landfill Gas Recovery. URL: [https://www.edmonton.ca/programs\\_services/garbage\\_waste/landfill-gas-recovery](https://www.edmonton.ca/programs_services/garbage_waste/landfill-gas-recovery) (17.07.2022.)

EKOPLUS D.O.O. 2010. Sažeti izvještaj o provedenom postupku procjene utjecaja na okoliš. Izvještaj. Rijeka.

EUROSTAT STATISTICS. 2020. Waste statistics. URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics) (18.07.2022.)

FOND ZA ZAŠTITU OKOLIŠA I ENERGETSKU UČINKOVITOST. Centri za gospodarenje otpadom. URL: <https://www.fzoeu.hr/hr/centri-za-gospodarenje-otpadom/7593> (20.07.2022.)

FOND ZA ZAŠTITU OKOLIŠA I ENERGETSKU UČINKOVITOST. CGO Kaštijun. URL: <https://www.fzoeu.hr/hr/cgo-kastijun/7767> (20.07.2022.)

GLOBAL RECYCLING. 2017. A New Treatment Plant for China. URL: <https://global-recycling.info/archives/1485> (19.07.2022.)

GRAD NOVSKA. Gospodarstvo grada Novske. URL: <https://novska.hr/hr/gospodarstvo/>

GRAD NOVSKA. 2022. Odluka o načinu pružanja javne usluge sakupljanja komunalnog otpada na području Grada Novske. Članak. Novska.

GRAD RIJEKA. 2016. Županijski centar za gospodarenje otpadom. URL: <https://www.rijeka.hr/gradska-uprava/gradski-projekti/realizirani-projekti/ekologija-i-energetika/zupanijski-centar-gospodarenje-otpadom/>

HERENDA, M., TOMAŠIĆ, K. 2010. Primjer održivosti bioreaktorskog odlagališta komunalnog otpada. Zagreb.

IPZ UNIPROJEKT TERRA D.O.O. 2016. Elaborat gospodarenja otpadom tvrtke Kaštijun d.o.o. Elaborat. Zagreb.

KOVAČIĆ, D. 2008. Bioreaktorsko odlagalište – novi element cjelovitog sustava gospodarenja otpadom. Cjeloviti rad, stručni. Varaždin. Geotehnički fakultet.

KURTA, L. 2018. Mjerenje odlagališnih plinova. Završni rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet.

MARKOVINOVIĆ, B. 2015. Projektiranje postrojenja za mehaničko biološku obradu ostatnog komunalnog otpada. Završni rad. Karlovac: Veleučilište u Karlovcu.

NARODNE NOVINE. 2017. Odluka o donošenju Plana gospodarenja otpadom Republike Hrvatske za razdoblje 2017. - 2022. godine. NN 3/2017. Zagreb.

NOVOKOM D.O.O. 2021. Stručna podloga zahtjeva za izdavanje okolišne dozvole odlagališta "Kurjakana" u Novskoj. Zahtjev za izdavanje okolišne dozvole. Novska.

PEJIĆ, M. 2017. Bioreaktorska odlagališta. Završni rad. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet.

PLAVAC, B., FILIPAN, V., SUTLOVIĆ, I., SVETIČIĆ, J. 2017. Održivo gospodarenje otpadom s mehaničko biološkom obradom i energetske iskoristavanjem. Stručni članak. Zagreb: Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije.

REPA, E. W. (2003). Bioreactor landfills: a viable technology. Članak. Jamajka: NSWMA.

RUFAl, I. A. 2010. A review of the evolution and development of anaerobic digestion technology. Članak. Kano, Nigerija: Sveučilište u Bayerou.

SUCHOWSKA-KISIELEWICZ, M., PLUCIENNIK-KOROPCZUK, E., MYSZOGRAJ, S. 2017. Mechanical-biological treatment of municipal solid waste in Poland. Studij utjecaja. Poljska: Sveučilište Zielona Gora.

THE WORLD BANK. Trends in Solid Waste Management. URL: [https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends\\_in\\_solid\\_waste\\_management.html](https://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/trends_in_solid_waste_management.html) (29.07.2022.)

TCHOBANOGLIOUS, G., THEISEN, H., VIGIL, S.A. (1993) Integrated Solid Waste Management: Engineering Principle and Management Issue. Članak. New York: McGraw Hill Inc.

WASTE MANAGEMENT WORLD. 2017. REDWAVE Designed 275,000 tonne MBT Plant to Feed Chinese Waste to Energy Plant. URL: <https://waste-management-world.com/>