Mjerenje odlagališnih plinova

Kurta, Lucija

Undergraduate thesis / Završni rad

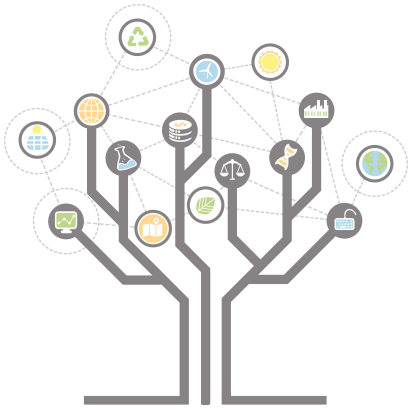
2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:584240

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Mjerenje odlagališnih plinova

Kurta, Lucija

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:584240

Rights / Prava: In copyright

Download date / Datum preuzimanja: **2020-10-27**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

LUCIJA KURTA

MJERENJE ODLAGALIŠNIH PLINOVA

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

MJERENJE ODLAGALIŠNIH PLINOVA

KANDIDAT:

LUCIJA KURTA

MENTOR:

izv. prof. dr. sc. IGOR PETROVIĆ

KOMENTOR:

doc. dr. sc. IVANA GRČIĆ

VARAŽDIN, 2018.

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom

Mjerenje odlagališnih plinova

(naslov završnog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **izv. prof. dr. sc. Igora Petrovića i doc. dr. sc. Ivane Grčić.** Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu,

SAŽETAK

Ime i prezime: Lucija Kurta

Naslov rada: Mjerenje odlagališnih plinova

SAŽETAK:

Komunalni kruti otpad može generirati velike količine plina. Dva najznačajnija sastojka odlagališnog plina su metan (CH_4) i ugljični dioksid (CO_2), a radi se o značajnim stakleničkim plinovima, stoga je potrebno spriječiti njihov slobodan izlaz u atmosferu. Svako odlagalište bi moralo sakupljati i kontrolirati izlaz plina iz tijela odlagališta putem sustava otplinjavanja kako bi se spriječila pojava požara, eksplozija, klizanja i drugog. Odlagališta komunalnog otpada se mogu smatrati kao relativno dugoročni biokemijski reaktor kojega čine čvrsti otpad i voda kao ulazni parametri i odlagališni plin i procjedne vode kao glavni izlazni parametri. Materijali koji se odlažu na odlagališta sadrže djelomično biorazgradivu organsku komponentu i ostali anorganski otpadni materijal. Odlagališni plin je proizvod biološke anaerobne razgradnje organske komponente na odlagalištima. Emisije plina ovise o nekoliko faktora, uključujući sastav otpada, sadržaj vlage, veličinu čestica otpada, starost otpada, pH i temperaturu, te je nužno periodičko praćenje sukladno Pravilniku o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada za odlagališta otpada (NN 114/15). U radu su prikazani rezultati mjerenja emisija i sastava odlagališnog plina na odlagalištu neopasnog otpada ,,Totovec“ kojim upravlja komunalno poduzeće Čakom d.o.o.

Ključne riječi: odlagalište otpada, odlagališni plin, emisije, komunalni otpad, otplinjavanje

SADRŽAJ:

1 UVOD 1
2 ODLAGALIŠTE OTPADA 3
2.1 Odlagalište neopasnog otpada Totovec 3
2.2 Odlagalište otpada 6
2.3 Elementi odlagališta otpada 7
3 PROBLEMATIKA ODLAGALIŠNOG PLINA 9
3.1 Nastanak, vrste i karakteristike odlagališnog plina 10
3.2 Generiranje odlagališnog plina 12
3.3 Čimbenici koji utječu na generiranje plina 15
3.4 Izdvajanje i tretman odlagališnog plina 18
3.5 Način otplinjavanja 19
4 MJERNI INSTRUMENT 21
4.1 Analizator plina GA5000 21
5 MJERENI REZULTATI 23
6 ZAKLJUČAK 31
7 LITERATURA 32
8 POPIS SLIKA 33
9 POPIS TABLICA 34
10 POPIS GRAFIKONA 35

1 UVOD

Odlagališta otpada predstavljaju jedan od značajnih problema današnjice iz razloga što velik broj odlagališta i smetlišta nije adekvatno i sanitarno izgrađen. Pa upravo zbog toga otpad koji se odlaže na takvim odlagalištima ima štetan utjecaj na okolinu te zdravlje ljudi. Otpad je potrebno dobro poznavati, adekvatno zbrinuti te vršiti kontrolu štetnog utjecaja. Jedan od načina kontrole je i mjerenje odlagališnih plinova. Odlagališni plin ovisno o svom sastavu može biti agresivnog karaktera, s time da se njegova količina i sastav mijenja s vremenom, stoga predstavlja ozbiljan problem. Odlagališni plin se mora kontrolirano izdvajati u protivnom dolazi do njegovog nakupljanja i nekontroliranog istjecanja iz tijela odlagališta, što može prouzrokovati štetne posljedice za okoliš i ljudsko zdravlje.

Kod odlagališta komunalnog otpada, mjerenja koncentracije odlagališnih plinova u zrak obuhvaćaju mjesečna mjerenja koncentracije CH_4, CO_2 i O_2 u odlagališnom plinu za vrijeme rada odlagališta, a nakon zatvaranja svakih 6 mjeseci. Mjerenje ostalih odlagališnih plinova (H_2S i H_2) provodi se ovisno o sastavu odloženog otpada ili ako je to propisano u dozvoli za obavljanje djelatnosti odlaganja otpada te se mjerenje mora provesti na reprezentativnim točkama za svaki dio odlagališta i reprezentativnom broju uzoraka. Učinkovitost sustava za skupljanje odlagališnog plina mora se redovito provjeravati. Ako se rezultati mjerenja sastava i koncentracije odlagališnog plina ponavljaju, vrijeme između dvaju uzastopnih mjerenja može se produžiti, ali ne smije biti duže od šest mjeseci. Mjerenje koncentracija odlagališnih plinova provodi se svakih šest mjeseci nakon zatvaranja odlagališta. [1]

Potrebno je da se odlagalište otpada sastoji od odgovarajućih sustava zaštite koji su navedeni u radu. Odlagališni plin se može koristiti za dobivanje energije. Neadekvatno upravljanje otpadom pridonosi klimatskim promjenama te onečišćuje zrak, vodu i tlo koje izravno utječe na biljni i životinjski svijet i ljude.

Odlagališta otpada sadržavaju između ostalih plinova i metan koji snažno utječe na efekt staklenika koji je povezan s klimatskim promjenama. Metan je jedan od stakleničkih plinova koji apsorbira zračenja u atmosferi i raspršuje ih prema Zemlji. Staklenički plinovi sprječavaju prebrzi izlaz topline iz atmosfere te time zadržavaju radijaciju na površini. U slučaju odlagališta otpada, metan stvaraju mikroorganizmi prisutni u odlagalištu iz biorazgradivog otpada, kao što su hrana, vrtni otpad, papir, karton.

Nekontrolirano odlaganje otpada uvijek je neodgovorno prenošenje vlastitih ekoloških problema idućim generacijama. Upravo zbog toga svako nekontrolirano i neorganizirano odlaganje otpada u civiliziranom društvu je zabranjeno i putem odgovarajućih službi kažnjavano. Posljedice nekontroliranog odlaganja otpada u prirodi su vrlo velike i teško sagledive.Rezultate studije o odnosu 22 različite bolesti prema nepravilnom postupanju krutim otpadom prikazao je Hawkes još 1967. godine.. Prisustvo brojnih štetnih tvari u otpadu može pri nekontroliranom odlaganju prouzročiti teška narušavanja zdravlja ljudi sada i u budućnosti.

Najveći problem kod utjecaja otpada na zdravlje ljudi je činjenica da je često riječ o smjesama različitih tvari koje su često pod nekontroliranim i nepredvidivim uvjetima u tijelu odlagališta. Štetni utjecaji tvari i kemikalija mogu se u tijelu odlagališta pojačati, multiplicirati, neutralizirati i inhibirati. Ptice, glodavci i kukci su redovno stanovnici odlagališta otpada, a ujedno i potencijalni prijenosnici zaraznih bolesti. Osobito je

opasno nekontrolirano širenje odlagališnih plinova i procjednih voda iz odlagališta u okoliš. Osim širenja neugodnih mirisa, može se dogoditi i eksplozija plinova, a često i dugotrajna onečišćenja izvora pitke vode.[2]

2 ODLAGALIŠTE OTPADA

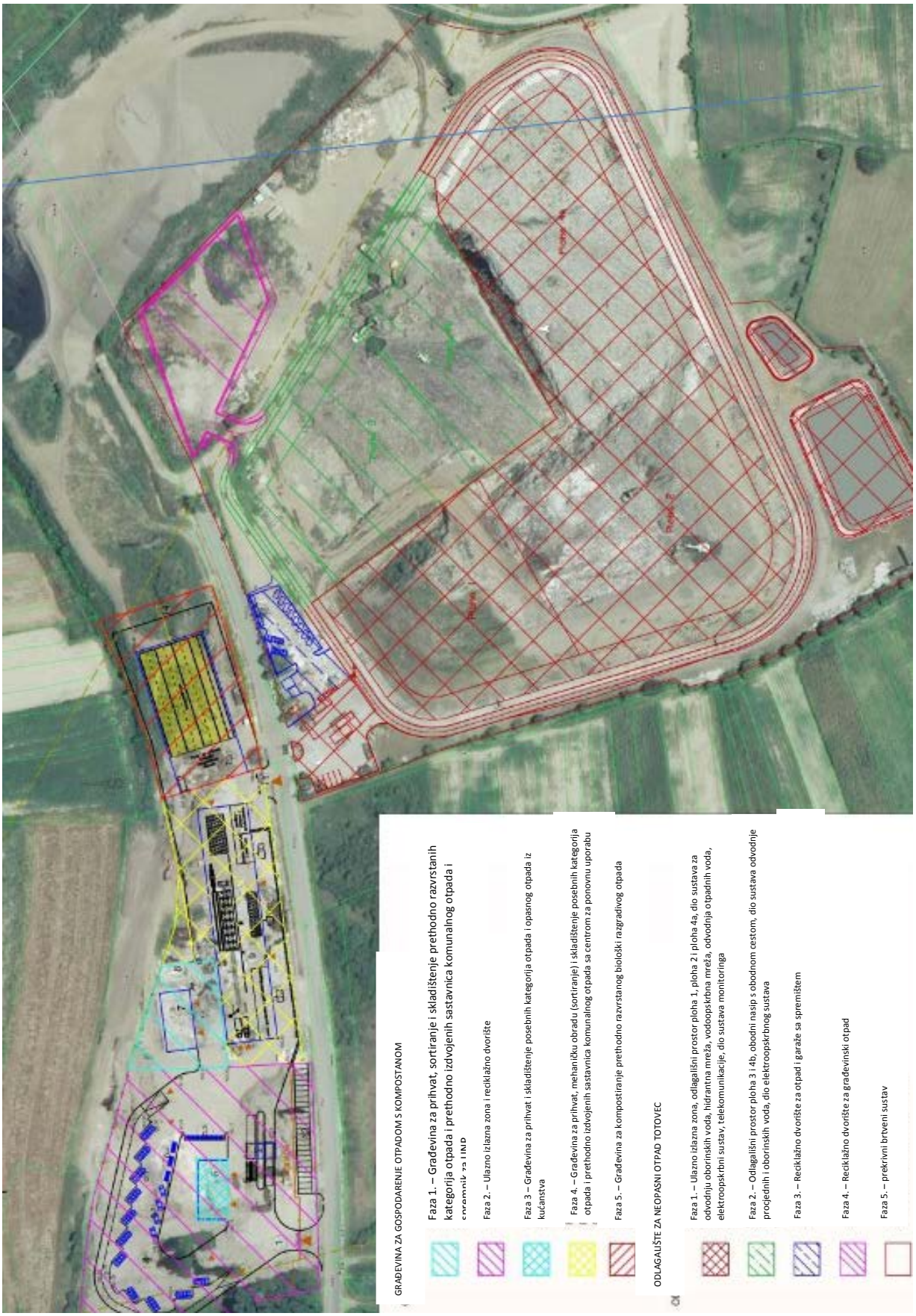
2.1 ODLAGALIŠTE NEOPASNOG OTPADA TOTOVEC

Odlagalište neopasnog otpada Totovec nalazi se na lokaciji Totovecbb, grad Čakovec. U vlasništvu je postrojenja Čakom d.o.o. Odlagalište pruža usluge zbrinjavanja neopasnog komunalnog otpada, neopasnog proizvodnog otpada i građevinskog otpada. Prostire na površini od 46.000 m^2, a počelo se koristiti 1974. godine. Otpad se u početku rada odlagao u napušteno eksploatacijsko polje šljunka. Godišnje se prosječno odloži 10.000 t otpada, a 2001. godine počeo je postupak sanacije, koji je podijeljen u pet faza, od kojih prvu fazu predstavljaju radovi izvedeni do 2012. godine. Tijekom sanacije odrađena je mehanička obrada zatečenog otpada, nakon čega se otpad dopremao direktno na radnu plohu na kojoj se izdvajaju frakcije papir i plastika u za to pripremljene kontejnere koje se predaju na obradu ovlaštenim oporabiteljima.

Prema geodetskoj izmjeri od 31.12.2012. godine, na odlagalištu je ukupno odloženo 230.000 m^3 proizvodnog i komunalnog otpada, dok je krajem 2017. godine zabilježeno 285.000 m^3. Ukupan planirani kapacitet odlagališta je 350.000 m^3, tako da je preostali raspoloživi kapacitet za odlaganje 65.000 m^3. Uz poznatu zapreminsku masu ugrađenog otpada od 1.400 kg/m^3 ukupni kapacitet odlagališta je 500.000 tona.

U travnju 2015. godine dobivena je uporabna dozvola za I. fazu i završetak sanacije, čime je odlagalište steklo status usklađenog odlagališta otpada. Krajem 2015. godine završeni su građevinski radovi II.-IV. faze na sanaciji tijela odlagališta, odnosno donjem brtvenom sloju, sustavu odvodnje oborinskih i procjednih voda, obodnoj prometnici i rasvjeti te izgradnji reciklažnog dvorišta koje je pušteno u rad u veljači 2016. godine, a namijenjeno je stanovnicima grada Čakovca kao i korisnicima - fizičkim osobama s područja pet susjednih općina (Nedelišće, Strahoninec, Šenkovec, Orehovica i Mala Subotica).

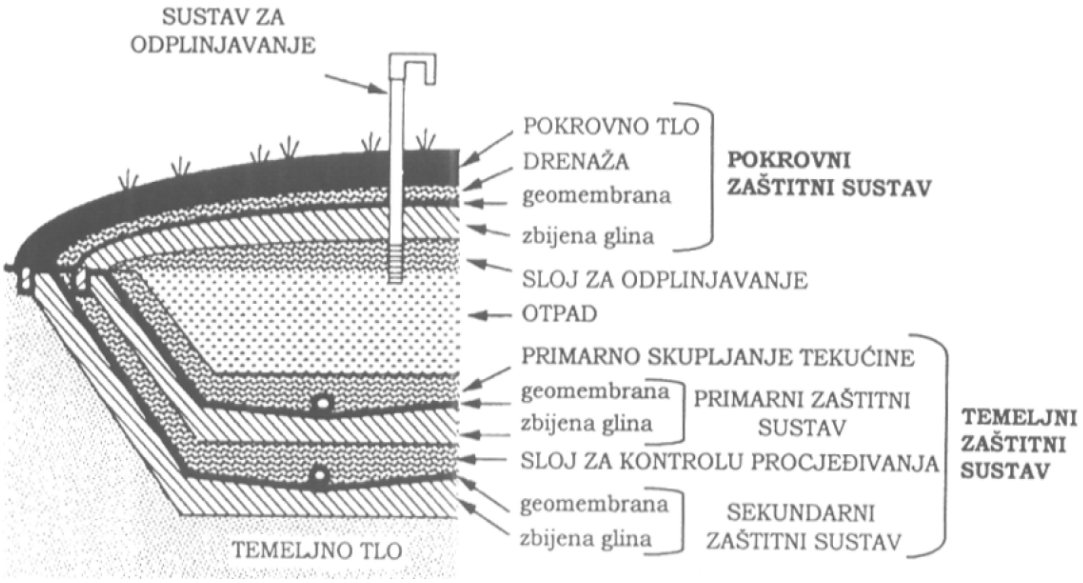
Reciklažno dvorište za građevinski otpad izgrađeno je 2015. godine, koje je već u lipnju 2016. godine dobilo rješenje o prenamjeni u kompostirnicu, temeljem kojeg su stečeni svi zakonski propisani uvjeti za djelatnost kompostiranja odvojenog prikupljanja biološki razgradivog komunalnog otpada. Temeljem Uredbe vlade RH o interventnom zbrinjavanju azbesta izgrađena je Ploha 1 za odlaganje građevnog otpada koji sadrži čvrsto vezani azbest. U tijeku je izrada projektne dokumentacije za izgradnju pokrovnog sloja Plohe 1 i izgradnje nove Plohe 2 za odlaganje građevnog otpada koji sadrži čvrsto vezani azbest (Slika 1). Izvedba zadnje V. faze sanacije, odnosno izrada prekrivnih slojeva na odlagalištu otpada je predviđena nakon popunjavanja tijela odlagališta otpadom do projektirane visine. [3]



Slika 1. Građevina za gospodarenje otpadom s kompostanom i odlagalište neopasnog otpada

2.2 ODLAGALIŠTE OTPADA

Odlagalište otpada predstavlja složenu geotehničku građevinu kojoj je osnovna namjena sigurno i ekološki prihvatljivo zbrinjavanje otpada kojeg se ne može na drugi način korisno uporabiti. Glavni ciljevi odlaganja i izolacije otpada bilo kojeg tipa je sprječavanje širenja onečišćujućih, procjednih tekućina i plinova iz otpada u okoliš odnosno za njihovo kontrolirano prikupljanje radi tretmana, kao i sprječavanje infiltracije oborinskih voda u tijelo odlagališta. Osim toga, nužno je osigurati trajnu mehaničku otpornost i stabilnost odlagališta kao građevine, odnosno otpornost na klizanje pokrovnog sloja, nosivost temeljnog tla, otpornost na klizanje između podloge, temeljnog brtvenog sustava i otpada, stabilnost podnožnog nasipa te pomoćne konstrukcije. Pokrovni brtveni sustav mora spriječiti procjeđivanje oborinskih voda u tijelo odlagališta i nekontroliranu emisiju plina u okoliš, dok temeljni brtveni sustav mora spriječiti istjecanje procjedne tekućine iz tijela odlagališta u temeljno tlo (Slika 2).



Slika 2. Presjek odlagališta otpada

2.3 ELEMENTI ODLAGALIŠTA OTPADA

a) Temeljni zaštitni sustav

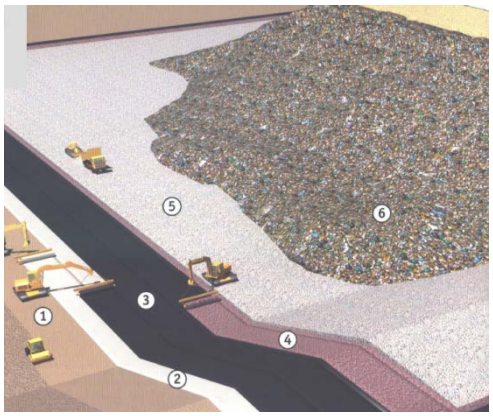
Temeljni zaštitni sustav sprječava prodiranje procjedne tekućine u tlo i podzemnu vodu. Ovaj sustav čine naizmjenično položeni brtveni i drenažni slojevi.Brtveni slojevi sastoje se od zbijenih glinenih materijala, umjetnih materijala (geosintetici) i alternativnih materijala (nekoherentno tlo + dodaci: glina, bentonit, polimer). Brtveni sloj ovisi o vrsti otpada, što je otpad opasniji to je brtveni sustav složeniji. Drenažni slojevi se sastoje od krupnozrnatog propusnog materijala i drenažne cijevi te geosintetika (geotekstil štiti geomembranu od oštećenja). Filtarski sloj se sastoji od propusnog materijala koji sprječava začepljenje drenažnog sloja, smrzavanje mineralnog brtvenog sloja, a kasnije u eksploataciji služi i kao izolator od visoke temperature uslijed procesa razgradnje otpada.

Osnovni zahtjevi za temeljni brtveni sustav su:

- otpornost na mehaničke, hidrauličke, biološke i kemijske utjecaje
- niska vodopropusnost (za odlagalište za neopasni otpad: k= $1x10^{-9}$ m/s u debljini tla od najmanje jednog metra)
- dugotrajna kompatibilnost s kemijskim tvarima u filtratu
- visoki kapacitet sorpcije
- niski koeficijent difuzije
- otpornost na sušenje

Temeljni zaštitni sustav čine sljedeći slojevi (Slika 3.):

1. podloga
2. bentonitni tepih
3. geomembrana
4. zaštitni geotekstil
5. drenažni sloj
6. otpad



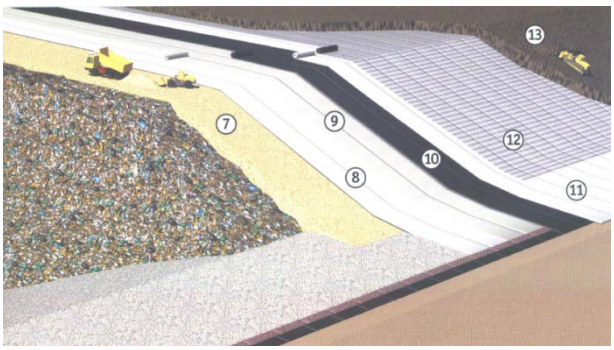
Slika 3. Slojevi temeljnog zaštitnog sustava

b) Pokrovni zaštitni sustav

Pokrovni zaštitni sustav čine naizmjenično položeni brtveni i drenažni slojevi (slično slojevima temeljnog zaštitnog sustava). Ovakav sustav izolira otpad od okoliša, kontrolira izlaz plina iz tijela odlagališta, sprječava ulaz oborinskih i površinskih voda u otpad, odnosno u tijelo odlagališta, a time i nastanak prekomjerne količine procjedne tekućine. Treba biti otporan na eroziju (voda, vjetar), siguran od glodavaca i korijenja biljaka, otporan na povišene temperature, sposoban podnijeti značajna diferencijalna slijeganja bez pojave oštećenja i treba biti dovoljne posmične čvrstoće da ne dođe do klizanja. Treba paziti na cikluse sušenja – vlaženja, smrzavanja – odmrzavanja te eroziju. [4]

Slojevi pokrovnog zaštitnog sustava (Slika 4.):

1. Stabilizirajući sloj
2. Drenažni sloj
3. Bentonitni tepih
4. Geomembrana
5. Drenažni sloj
6. Zaštitni sloj
7. Pokrovno tlo



Slika 4. Slojevi pokrovnog zaštitnog sustava [4]

3 PROBLEMATIKA ODLAGALIŠNOG PLINA

Odlagališni plin predstavlja smjesu plinova nastalih biokemijskim procesima u tijelu odlagališta. Otpaci koji produciraju plin obično spadaju u grupu organskih, ali zavisno od agresivnosti i sastava filtrata, plin može nastajati i djelovanjem filtrata na neorganski otpad. Sastav i kemizam odlagališnog plina najviše zavise o sastavu i vrsti otpadnog materijala o starosti odlagališta, odnosno o fazi raspadanja organske tvari u otpadu. Odlagališni plin, zavisno o svom sastavu, može biti agresivnog karaktera. On, također, može biti i otrovan, ali je redovito zapaljiv pa i eksplozivan. Starenjem otpada sastav plina se, naravno, mijenja. Problematika glede filtrata i odlagališnog plina (odlagališnih fluida) vezana je uz njihov nastanak, cirkulaciju kroz tijelo odlagališta, utjecaj na odloženi otpadni materijal i materijal slojeva zaštitnih sustava te njihovo izdvajanje i tretman.

Odlagališni fluidi mogu utjecati na:

- stabilnost odlagališta (slijeganje pri razaranju materijala od strane agresivnog fluida, klizanje kosina i sl.)
- sigurnost zaštitnih sustava (razaranje istih)
- okoliš (zagađivanje tla, podzemne i nadzemne vode, te zraka)
- ljude zaposlene na odlagalištu (bolesti, požari, eksplozije, oštećivanje tkiva nagrizanjem, trovanje i sl.).

Odlagališni fluidi moraju se kontrolirano izdvajati i proći odgovarajući tretman, pa u tu svrhu postoje sustavi za njihovu drenažu i postrojenja za tretman (obradu). Odlagališni plin predstavlja ozbiljan problem. Osim što su neke njegove komponente zapaljive pa mogu izazvati požare i eksploziju, izloženost radnika odlagališnom plinu može uzrokovati trovanje. Pošto odlagališni plinovi istiskuju kisik u blizini zone korijenja, a mogu imati i izravan kemijski, odnosno biokemijski učinak, s vremenom oni uništavaju vegetaciju na rekultivirajućem sloju pokrovnog sustava. Postoji li na odlagalištu kakova oprema s metalnim dijelovima, plin će, povišenjem kiselosti,

izazvati koroziju. Na kraju, ali ne najmanje važno, plinovi su ti koji odlagalištu daju neugodan miris. Plinovi mogu migrirati u svim smjerovima pa na taj način može doći do zagađenja okolnog tla. Negativne posljedice migriranja plina posebno su izražene pri nailasku plina na nepropusne brtvene slojeve, a u slučaju kada drenaže nema ili nije dobro izvedena. Tada plin sebi probija put kroz brtveni sloj, čineći ga propusnim za, npr. oborinsku vodu.

Da bi se plinom kvalitetno gospodarilo nužno je poznavati njegove:

- pravce migracije
- brzinu migracije
- koncentraciju na određenom mjestu i u određeno vrijeme
- masu plina koji prolazi određenom točkom i može li ili ne uzrokovati potencijalne probleme
- efikasnost predloženog programa za kontrolu plina.

3.1 NASTANAK, VRSTE I KARAKTERISTIKE ODLAGALIŠNOG PLINA

Kao što je već ranije spomenuto, količina i sastav odlagališnog plina mijenjaju se s vremenom. U grubo, kvalitativne i kvantitativne karakteristike odlagališnog plina (OP) zavise o: vrsti i gustoći otpada, protoku, filtrata (stupnju vlažnosti), starosti otpada, klimi, temperaturi, kemijskoj aktivnosti, itd. Navedeni uvjeti, unutar odlagališta, diktiraju biološku aktivnost čija je izravna posljedica produkcija odlagališnog plina (za rast bakterija je, osim pogodne temperature i kemijskog okružja, neophodna i određena količina hranjivih tvari i prisutnost vlage). U sljedećoj tablici je prikazan sastav odlagališnog plina izračen u postocima (Tablica 1).

Tablica 1. Sastav odlagališnog plina

Komponenta	Postotak [%]
Metan (CH_4)	45-58
Ugljični dioksid (CO_2)	35-45
Dušik (N_2)	<1-20
Kisik (O_2)	<1-5
Vodik (H_2)	<1-5
Vodena para(H_2O)	1-5
Komponente u tragovima	<1-3

Metan je plin lakši od zraka (manje gustoće) pa ima tendenciju da se nakuplja u gornjim slojevima otpada. Goriv je, zapaljiv na oko 6500˚C i eksplozivan u koncentracijama između 5 i 15%.

Ugljik-dioksid je teži od zraka, pa ima tendenciju nakupljanja u nižim slojevima odlagališta (na dnu). Ne gori pa ne predstavlja poseban problem na odlagalištima.

Vodik je gorivi plin lakši od zraka, s temperaturom paljenja 5600˚C. Eksplozivan je pri koncentracijama od 4-75,6%.

Sumporovodik je također goriv (temperatura paljenja 2700˚C) i eksplozivan pri koncentracijama 4,3-45,5%. Teži je od zraka i lako ga je identificirati pošto ima izrazito neugodan miris (trula jaja). Ovo je dobra karakteristika s obzirom da je otrovan.

Ugljični monoksid nije čest u odlagalištima, ali zna biti prisutan. Lakši je od zraka, goriv (temperatura paljenja 6050˚C) i eksplozivan pri koncentraciji 12,5-75%.

Dušik je lakši od zraka i nije zapaljiv. Početne koncentracije dušika u odlagalištu znaju biti do 80 %, a do naglog pada njegove koncentracije dolazi u kiseloj fazi razgradnje organske komponente otpada.

Ukupna količina plina koji će nastati u najvećoj mjeri zavisi o sadržaju organskih tvari u otpadu. Tako će najviše metana nastati na odlagalištima gdje se organska tvar većim dijelom sastoji od masti. U idućoj tablici (Tablica 2) prikazani su podaci nastanka plina ovisno o organskoj tvari. [5]

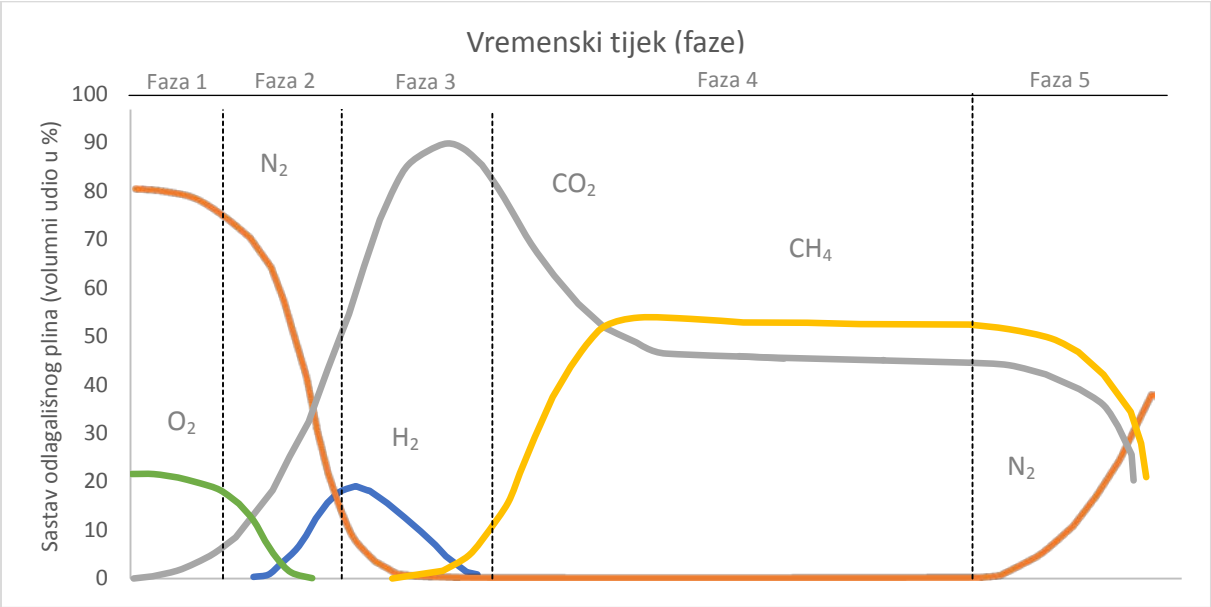
Tablica 2. Nastanak odlagališnog plina s obzirom na vrstu organske tvari

Izvor	$CO_2 + CH_4$ [$1/kg_{razgrađenog}$]	Udio CH_4 [%]
Celuloza	829	50,0
Bjelančevine	988	51,5
Masti	1430	71,4

3.2 GENERIRANJE ODLAGALIŠNOG PLINA

Generiranje odlagališnog plina događa se u nekoliko faza, kao što je prikazano u nastavku (Grafikon 1). Inicijalno, distribucija plinova na odlagalištu predstavljadistribuciju plinova u atmosferi koju čini oko 80% dušika i 20% kisika s nešto ugljičnog dioksida i drugih spojeva. Aerobna razgradnja počinje ubrzo nakon što otpad bude odložen i nastavlja se sve dok se cijeli pridruženi kisik ne potroši iz praznina u otpadu i iz same organske tvari. Aerobne bakterije proizvode plinoviti proizvod karakteriziran relativno visokom temperaturom (130˚C-160˚C), visokim sadržajem ugljičnog dioksida i bez sadržaja metana. Ostali nusproizvodi uključuju vodu, ostatne organske tvari i toplinu. Razgradnja zatim ulazi u anaerobnu fazu tijekom koje postaju dominantne bakterije koje tvore metan, koje napreduju u okolišu s manjkom kisika. Anaerobna proizvodnja plina će se nastaviti sve dok se sav ugljični

materijal ne potroši ili dok se kisik ponovo ne vrati u otpad, što bi onda vratilo proces razgradnje u aerobne uvjete. Povratak na aerobnu razgradnju ne zaustavlja proizvodnju odlagališnog plina, već usporava proces dok se anaerobni uvjeti ne nastave. U nastavku su detaljnije opisane faze.



Grafikon 1. Promjene u sastavu odlagališnih plinova tijekom vremena

Faza 1–Aerobna faza traje od istovara otpada pa sve dok se sav kisik unutar otpada ne potroši. To može trajati od nekoliko dana do nekoliko mjeseci, ovisno o uvjetima vlage i temperature. Razina kisika opada te se u konačnici na kraju ove faze stvaraju anaerobni uvjeti.

Faza 2–U acidogenoj fazi prevladavaju anaerobni uvjeti. U prvom stupnju hidrolizirajućifermentativni mikroorganizmi proizvode enzime koji razgrađuju kompleksne organske spojeve kao što su celuloza i škrob u jednostavnije produkte (masne kiseline i alkohole). Tijekom drugog stupnja, acidogene bakterije razgrađuju ove rodukte u jednostavnije organske kiseline kao što je octena kiselina. Uslijed toga

dolazi do pada pH vrijednosti i prisutnih teških metala te porasta koncentracije ugljičnog dioksida (CO_2) i generiranja male količine vodika (H_2). Ovisno o uvjetima, ova faza može trajati od nekoliko tjedana pa do više mjeseci ili godina. Ova faza naziva se još i „kisela faza“ jer pH pada do 4 zbog stvaranja organskih kiselina. Hlapive masne kiseline i alkoholi oksidiraju u acetat, vodik i ugljikov dioksid. Nastanak vodika povećava parcijalni tlak vodika u tijelu odlagališta, što se može smatrati otpadnim proizvodom acidogeneze, jer inhibira metabolizam acidogenih bakterija.

Faza 3–Inicijalna metanogena faza obuhvaća aktivnost nove grupe mikroorganizama, matanogenih bakterija, koje razgrađuju organske kiseline do metana (CH_4) i ugljičnog dioksida (CO_2). Tijekom tog procesa pH vrijednost se počinje vraćati prema neutralnom području, a ova faza može trajati mjesecima.Tijekom metanogeneze vodik se transformira u metan. Procesi acidogeneze i metanogeneze uglavnom se odvijaju paralelno kao simbiotsko djelovanje s dvije grupe mikroorganizama.

Faza 4–U stabilnoj metanogenoj fazi preostali vodik se troši za redukciju CO_2 u CH_4 i vodu (H_2O). Trajanje ove faze ovisi o vlazi i raspoloživosti hranjivih tvari. Interval trajanja ove faze proteže se od nekoliko mjeseci do nekoliko godina nakon odlaganja otpada, a može trajati i nekoliko desetljeća. Odlagališta otpada s prikupljanjem nastalog otpadnog plina tipično su projektirana za procijenjeni period od 10 do 15 godina. U konačnici volumni udio metana u otpadnom plinu kreće se od 35-60 %, a ostatak čini uglavnom CO_2.

Faza 5 (završna faza) –iscrpljivanjem kapaciteta supstrata, biorazgradivog dijela otpada dolazi do smanjenja mikrobiološke metanogene aktivnosti te prestaje generiranje otpadnog plina. U konačnici su sve razgradive organske tvari oksidirane i plin unutar tijela odlagališta poprima karakteristike plina u zemlji. [7]

Na temelju utvrđenih vrijednosti dobivenih mjerenjem odlagališnog plina na odlagalištu neopasnog otpada Totovec, procjenjuje se da se odlagalište nalazi istodobno u fazi 2 i 3, odnosno da se te dvije faze događaju paralelno. Tome potvrđuju vrijednosti iz tablica, prikazanih daljnje u tekstu, koje pokazuju povećanje plina CO_2 (dokazuju fazu 2) te nastanak plina CH_4 (dokazuju fazu 3).

3.3 ČIMBENICI KOJI UTJEČU NA GENERIRANJE PLINA

Sposobnost odlagališta da generira plin ovisi o mnogim čimbenicima, uključujući sastav otpada, sadržaj vlage, veličinu čestica otpada, starost otpada, pH, temperaturu i druge. Očekuje se da će se teoretski, od 30 do 100 godina nastaviti razgradnja i proizvodnja plina, ali se u praksi pojavljuju u mnogo kraćem vremenu. Čimbenici koji utječu na proizvodnju plina su sljedeći:

a) Sastav otpada

Većina komunalnog i komercijalnog otpada (otpad nastao u komercijalnoj djelatnosti kao što su trgovine, restorani, uredi, hoteli i druge slične institucije, kojeg čini hrana, papir, karton, staklo, metali i slično) koji se nalazi u tipičnom odlagalištu komunalnog otpada može se razgraditi. Preostali dio obično se sastoji od različitih inertnih materijala kao što su beton, pepeo, tlo, metali, plastični materijali i drugi nerazgradivi materijali. Što se lakše organska frakcija otpada razgrađuje, brža će biti stopa stvaranja odlagališnog plina. Otpad od hrane tipično spada u ovu kategoriju. Stoga će visoki postotak hrane u otpadu u odlagalištu vjerojatno dovesti do bržeg povećanja stope stvaranja odlagališnog plina. Neki razgradivi materijali kao što su veliki komadi od drva, nisu inertni, već se polako razgrađuju tako da u većini praktičnih slučaja ne pridonose znatno stvaranju odlagališta plina.

b) Sadržaj vlage u otpadu

Za većinu odlagališta, nakon sastava otpada sadržaj vlage otpada je najznačajniji čimbenik u stopi proizvodnje odlagališnog plina. Što je veći sadržaj vlage veća je stopa stvaranja plina. Sadržaj vlage u konvencionalnom odlagalištu mijenja se tijekom vremena. Promjene u sadržaju vlage na odlagalištu može rezultirati promjenama u infiltraciji površinskih voda i / ili priljeva podzemnih voda, te ponovnog ispuštanja vode kao posljedica razgradnje otpada, sezonskih promjena sadržaja vlage u otpadu i upravljanja dodavanjem tekućina.

c) Veličina čestica otpada

Što su manje jedinice ili čestice otpada, veća je njegova specifična površina. Čestica otpada s većom specifičnom površinom razgrađuje se brže od čestice s manjom. Na primjer, odloženi panj će se brže razgraditi ako je usitnjen u drvne sječke, nego ako je u jednom komadu. Dakle, odlagalište koje prihvaća usitnjeni otpad imat će bržu ukupnu razgradnju od odlagališta koja prihvaća samo krupne dijelove otpada.

d) Starost otpada

Generiranje odlagališnog plina (metana) ima dvije primarne varijable koje ovise o vremenu: vrijeme kašnjenja i vrijeme pretvorbe. Vrijeme kašnjenja je razdoblje od odlaganja otpada do početka generiranja metana (početak faze III). Vrijeme pretvorbe je razdoblje od odlaganja otpada do kraja generiranja metana (kraj faze V). Na primjer, otpad iz dvorišta ima vrlo kratko vrijeme kašnjenja i vrijeme pretvorbe, dok koža i plastika imaju vrlo dugo vrijeme kašnjenja i pretvorbe.

e) pH

Optimalni raspon pH za većinu anaerobnih bakterija je 6,7 - 7,5 ili blizu neutralnog 7,0. Unutar optimalnog raspona pH, metanogeni rastu po visokoj stopi, tako da je proizvodnja metana maksimizirana. Izvan optimalnog raspona - ispod pH od 6 ili iznad 8 - proizvodnja metana je strogo ograničena.

f) Temperatura

Temperaturni uvjeti unutar odlagališta utječu na vrstu bakterija koje prevladavaju i razinu proizvodnje plina. Temperatura odlagališta često doseže maksimum unutar 45 dana nakon postavljanja otpada na odlagalište kao rezultat aerobne mikrobne aktivnosti. Temperatura se smanjuje nakon što se razviju anaerobni uvjeti. Veće fluktuacije temperature su tipične u gornjim zonama odlagališta zbog promjene temperature okolnog zraka. Na otpad na dubini odlagališta otpada od 15 m ili više, relativno ne utječe temperatura okolnog zraka. Povišene temperature plina unutar područja odlagališta rezultat su biološke aktivnosti.

g) Ostali faktori

Ostali faktori koji mogu utjecati na stopu stvaranja odlagališnog plina uključuju sadržaj hranjivih tvari, sadržaj bakterija, potencijal smanjenja oksidacije, gustoću generiranja plina, zbijenost otpada, dimenzije odlagališta, funkcioniranje odlagališta i varijable obrade otpada. [6]

3.4 IZDVAJANJE I TRETMAN ODLAGALIŠNOG PLINA

Gospodarenje odlagališnim plinom podrazumijeva:

- sakupljanje
- predobradu plina (odvajanje kondenzata, čišćenje, povećanje energetske vrijednosti)
- zbrinjavanje s ili bez energetskog iskorištenja

Plin se mora kontrolirano izdvajati inače dolazi do njegovog nakupljanja i izbijanja, što može uzrokovati požar, eksploziju, trovanje i sl. Jedna od opasnosti vezanih uz slobodno prodiranje plina je mogućnost razaranja brtvenih slojeva, što obično vodi ka prodiranju oborinske vode, povećavanja količine filtrata i daljnjeg zagađenja okoliša. Prije konačnog zatvaranja odlagališta plin se "slobodno" izdvaja, ali ni količine ni sastav nisu zabrinjavajući, osim u slučaju posebnog otpada.

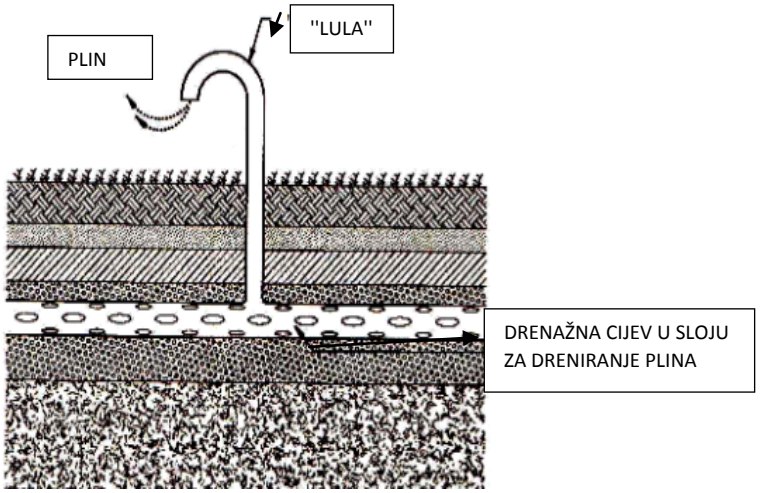
Sustav za izdvajanje i tretman odlagališnog plina sastoji se od:

- drenažnih bunara
- drenažnih cijevi
- plinovoda.

Bunari za prikupljanje plina mogu biti vertikalni, horizontalni i kombinirani.
Uslijed izdvajanja vodene pare iz odlagališnog plina, nastaje kondenzat. Kondenzat se na odlagalištu skuplja u šahtovima (krajevi plinske mreže) i odvodi do spremnika za filtrat. Sustav za izdvajanje plina mora podnijeti po prilici iste nepogodnosti kao i onaj za izdvajanje filtrata, uz još jedan zahtjev: dijelovi sustava iznad razine pokrovnog sloja moraju biti hermetički zabrtvljeni da ne bi došlo do slobodnog istjecanja plina.

3.5 NAČIN OTPLINJAVANJA

U osnovi postoje dva načina otplinjavanja: pasivni i aktivni. Pasivni način otplinjavanja podrazumijeva iskorištavanje vlastitog tlaka plina u tijelu odlagališta (isključena je dodatna potrošnja energije za otplinjavanje). Održavanje ovakvog sustava je jednostavno, no loša je stvar što se postiže mali koeficijent obuhvata plina, pa je nužan veći broj plinodrenažnih zdenaca. Jedna od izvedbi pasivnog načina otplinjavanja prikazana je na Slici 5.

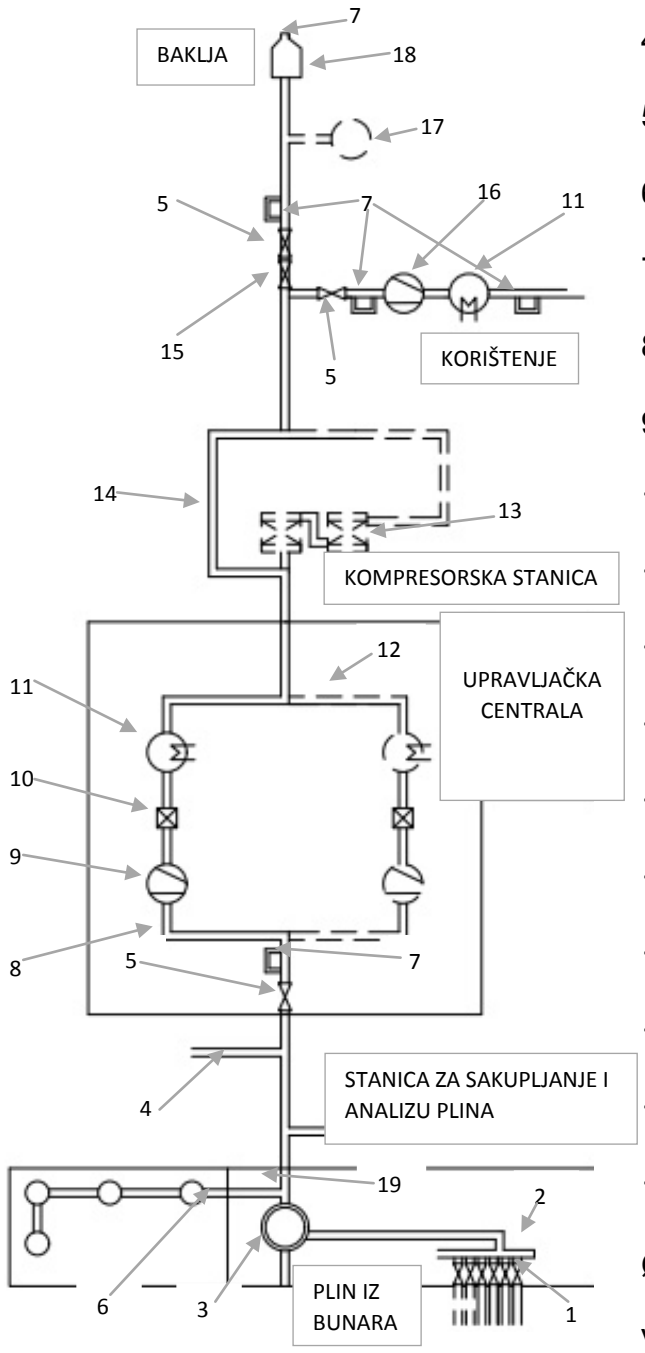


Slika 5. Pasivno otplinjavanje

Opasnost na koju ovdje nailazimo vezana je uz atmosferski tlak, jer nakon naglog pada vanjskog tlaka može doći do naglog istjecanja plina pa i zapaljenja.

Aktivni način otplinjavanja je postupak isisavanja plina iz tijela odlagališta održavanjem podtlaka od 50-150 mbar (5-15 kPa) (Slika 6.). Time se ne samo podržava izdvajanje plina već i ustaljuje proces biorazgradnje otpada. Da bi navedeni proces funkcionirao bez zastoja, mora se osigurati:

- održavanje djelotvornog potlaka u odlagalištu
- minimalno usisavanje zraka u tijelo odlagališta
- funkcioniranje (eksploatacija) i za vrijeme aktivnog iskorištavanja plina i nakon zatvaranja odlagališta
- pouzdanost sustava kroz duže vrijeme
- dinamičko prilagođavanje kapaciteta otplinjavanja proizvodnji plina.



1 - regulacijski zasun i mjerna prigušnica

2 - razdjelnik

3 - grubo čišćenje i odvodnja

4 - ispuh

5 - brzi zatvarač

6 - odvojak za mjerenje

7 - osigurač

8 - plinski razdjelnik

9 - kompresor

10 - prigušivač buke

11 - hlađenje

12 - sakupljanje plina

13 - eventualno

14 - obilazak

15 - sigurnosna klapna

16 - tlačenje za korištenje

17 - eventualni dovod zraka

18 - baklja

19 - osiguranje

Ø - odvođenje kondenzata

V - mjerenje volumena

P - mjerenje tlaka

T - mjerenje temperature

CH_4 - mjerenje sadržaja metana

ΔP - mjerenje razlike tlaka

Slika 6. Aktivno otplinjavanje [5]

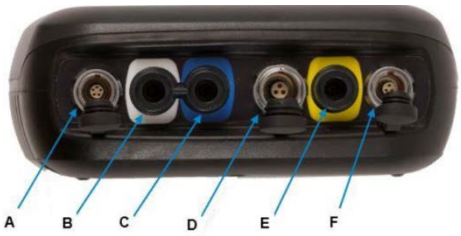
4 MJERNI INSTRUMENT

4.1 ANALIZATOR PLINA GA5000

Analizator plina GA 5000 dizajniran je za nadzor sustava za ekstrakciju odlagališnih plinova. Mjeri plinove CH_4, CO_2, O_2 u postotku (%), isto tako mjeri do 6 različitih plinova. Osnovni sadržaj standardne kutije analizatora GA5000 čini tvrda prijenosna kutija, cjevčice za vodu i filtar, instrument za analizu plina, H_2S filter (opcionalna mogućnost ugradnje u uređaj), priručnik za uporabu, mrežni punjač i adapteri. Dodatni proizvodi i pribor koji se mogu koristiti s uređajem može biti sonda za temperaturu, anemometar, H_2S filtar, GAM upravitelj plinskog analizatora, bluetooth prijamnik, program za mjerenje protoka te ostali zamjenski dijelovi. Anemometrijska sonda služi za mjerenje protoka te može prikazati strujanja do 40 m/s. Priključivanjem sonde protok se automatski prikazuje na zaslonu uređaja zajedno sa koncentracijom plinova, tlakom i temperaturom. Protok se može mjeriti kao brzina plina (m/s) ili kao brzina protoka volumena (m/h). H_2S filtar služi za uklanjanje H_2S komponente iz plina kako bi očitanje CO komponente bilo što točnije. Ovaj filter se ne koristi na svim bušotinama. [8]



Slika 7. Analizator plina GA5000



Slika 8. Priključne toke instrumenta (opisane u tablici 4.)

Tablica 3. Priključne točke i funkcije

Priključna točka	Funkcija
A	Priključak za USB kabel za povezivanje analizatora sa računalom
B	priključak za uzorak cijevi koja mjeri uzorak plina te koja se često koristi i za mjerenje relativnog tlaka
C	Priključak za uzorak cijevi koja mjeri unutarnji tok
D	Priključak sonde za mjerenje temperature, priključak se često koristi i kao priključak mrežnog punjača analizatora za punjenje
E	Izlazni priključak za plin, točka na kojoj uzorak plina izlazi te na koju se može priključiti cijev
F	Priključak za anemometar

5 MJERENI REZULTATI

Mjerenja odlagališnog plina su izvršena na odlagalištu neopasnog otpada "Totovec“, u plinodrenažnim zdencima i to na više zdenaca od kojih su neki locirani na starijem dijelu odlagališta, a neki na novijem dijelu odlagališta. Unutar svakog zdenca mjerenja su izvedena na različitim dubinama za nekoliko različitih plinova, pomoću cjevčice instrumenta na kojoj je označena njezina duljina. S obzirom da su u zdencima cijevi različitih duljina sva mjerenja su prikazanaduljinom cjevčice instrumenta. Visina cijevi u zdencu 1 iznosi 1,70 m, u zdencu 4 iznosi 0 m, u zdencu 7 iznosi 1,5 m, u zdencu 10 2 m od kote terena odlagališta. Dok u novijem dijelu odlagališta visine cijevi zdenaca iznose od prilike 2 m, no radi mogućnosti uvlačenja filtrata na većim dubinama, mjerenja su izvedena pri vrhu cijevi.Mjerenja na različitim dubinama su važna radi praćenja kretanja pojedinog plina, odnosno njegove koncentracije na mjestu nastanka i na izlazu iz odlagališta. Prikazana mjerenja su vršena jednom mjesečno tijekom mjeseca ožujka i travnja 2018. godine. Sljedeća slika prikazuje skicu odlagališta sa pripadajućim zdencima (slika 9). U tablicama su prikazani svi rezultati mjerenja na svim bušotinama (tablice4-14).



Slika 9. Skica odlagališta sa pripadajućim zdencima

Zdenci 1, 4, 7 i 10 locirani su na saniranom dijelu odlagališta na kojem je izveden gornji brtveni sloj, dok su zdenci 11a, 11b i 12 locirani na novom dijelu odlagališta gdje se trenutno odlaže svjež komunalni otpad.

Prvo mjerenje dana 29.03.2018. s početkom u 12:48, temperature zraka 12ºC, a drugo mjerenje dana 26.04.2018. s početkom u 12:37, temperature zraka 20ºC.

5.1 REZULTATI MJERENJA NA SANIRANOM DIJELU ODLAGALIŠTA

Tablica 4.

Zdenac 1 - ožujak	**Duljina cjevčice instrumenta [m]**			
Plinovi	4,5	3	2	Izvan cijevi
CH_4 [%]	2,6	0,5	0,5	0,2
CO_2 [%]	13,2	0,7	0,7	0,1
O_2 [%]	2,9	18,3	18,3	19,2
NH_3 [ppm]	0,0	17,0	17,0	9,0
CO [ppm]	12,0	0,0	0,0	0,0
H_2S [ppm]	0,0	0,0	0,0	0,0
Bal [%]	81,3	80,5	80,5	80,5
Relativni pritisak[mb]	-0,16	-0,16	-0,16	-0,16

Tablica 5.

Zdenac 1 - travanj	**Duljina cjevčice instrumenta [m]**			
Plinovi	4,5	3	2	Izvan cijevi
CH_4 [%]	3,9	2,7	0,6	0,1
CO_2 [%]	13,9	7,8	1,3	0,1
O_2 [%]	0,6	8,6	16,1	17,5
NH_3 [ppm]	0,0	1,0	24,0	20,0
CO [ppm]	27,0	12,0	2,0	0,0
H_2S [ppm]	1,0	1,0	1,0	1,0
Bal [%]	81,6	80,9	82,0	82,3
Relativni pritisak [mb]	0,05	0,16	/	/

Tablica 6.

Zdenac 4 – ožujak	Duljina cjevčice instrumenta [m]			
Plinovi	4,5	1	Pri vrhu cijevi	Izvan cijevi
CH_4 [%]	/	4,20	4,50	0,30
CO_2 [%]	/	2,70	2,90	0,10
O_2 [%]	/	17,20	16,90	19,30
NH_3 [ppm]	/	0,00	0,00	5,00
CO [ppm]	/	0,00	1,00	0,00
H_2S [ppm]	/	0,00	0,00	0,00
Bal [%]	/	75,90	75,70	80,30
Relativni pritisak [mb]	/	-0,21	-0,18	-0,16

Tablica 7.

Zdenac 4 - travanj	Duljina cjevčice instrumenta [m]			
Plinovi	4,5	1	Pri vrhu cijevi	Izvan cijevi
CH_4 [%]	/	5,50	4,60	0,20
CO_2 [%]	/	3,60	3,10	0,20
O_2 [%]	/	14,60	16,20	17,40
NH_3 [ppm]	/	0,00	11,00	11,00
CO [ppm]	/	0,00	0,00	0,00
H_2S [ppm]	/	1,00	1,00	1,00
Bal [%]	/	76,30	80,20	82,20
Relativni pritisak [mb]	/	/	/	/

Tablica 8.

Zdenac 7 - ožujak	Duljina cjevčice instrumenta [m]			
Plinovi	4,5	3	2	Izvan cijevi
CH_4 [%]	15,60	9,90	8,60	0,20
CO_2 [%]	9,10	5,60	4,80	0,10
O_2 [%]	13,20	15,60	16,10	19,40
NH_3 [ppm]	0,00	0,00	0,00	13,00
CO [ppm]	7,00	4,00	4,00	0,00
H_2S [ppm]	0,00	0,00	0,00	0,00
Bal [%]	62,10	68,90	70,40	80,20
Relativni pritisak [mb]	-0,28	-0,21	-0,18	-0,16

Tablica 9.

Zdenac 7 - travanj	Duljina cjevčice instrumenta [m]			
Plinovi	4,5	3	2	Izvan cijevi
CH_4 [%]	10,10	9,10	7,90	0,20
CO_2 [%]	6,20	5,50	4,60	0,10
O_2 [%]	13,60	13,90	15,10	17,60
NH_3 [ppm]	0,00	0,00	0,00	21,00
CO [ppm]	8,00	7,00	5,00	0,00
H_2S [ppm]	1,00	1,00	1,00	1,00
Bal [%]	70,20	71,40	76,50	82,10
Relativni pritisak [mb]	0,23	0,23	0,23	0,18

Tablica 10.

Zdenac 10 – ožujak	Duljina cjevčice instrumenta [m]			
Plinovi	4,5	3	2	Izvan cijevi
CH_4 [%]	1,20	1,10	1,00	0,20
CO_2 [%]	0,90	0,70	0,70	0,10
O_2 [%]	18,70	18,80	18,90	19,30
NH_3 [ppm]	5,00	3,00	2,00	3,00
CO [ppm]	0,00	0,00	0,00	0,00
H_2S [ppm]	0,00	0,00	0,00	0,00
Bal [%]	79,30	79,40	79,50	80,30
Relativni pritisak [mb]	-0,20	-0,12	-0,18	-0,16

Tablica 11.

Zdenac 10 - travanj	Duljina cjevčice instrumenta [m]			
Plinovi	4,5	3	2	Izvan cijevi
CH_4 [%]	9,10	1,00	1,00	0,70
CO_2 [%]	5,50	1,10	1,00	0,70
O_2 [%]	13,90	16,80	16,80	17,30
NH_3 [ppm]	0,00	3,00	2,00	4,00
CO [ppm]	7,00	0,00	0,00	0,00
H_2S [ppm]	1,00	1,00	1,00	1,00
Bal [%]	71,40	81,10	81,10	81,40
Relativni pritisak [mb]	0,23	0,61	-57,90	0,50

U zdencu br. 4 mjerenje na dubini od 4,5 m nije bilo moguće zbog začepljenosti zdenca otpadnim materijalom.

Na temelju izmjerenih rezultata može se utvrditi da na samoj površini odlagališta nisu uočene emisije metana i ugljičnog dioksida, iako je s povećanjem dubine uočeno smanjenje kisika i porast spomenutih plinova. Pojava metana i ugljičnog dioksida u dubljim dijelovima starijeg dijela odlagališta sugerira da je tijelo odlagališta još uvijek u manjoj mjeri biološki aktivno ili čak dolazi do horizontalne migracije plinova iz novijeg u stariji dio odlagališta.

Treba istaknuti da je na površini odlagališta uočen porast koncentracije amonijaka, iako postojanje ovog plina nije utvrđeno niti u jednom zdencu.Amonijak je pri normalnim uvjetima tlaka i temperature plin bez boje, oštrog i karakterističnog mirisa te je lakši od zraka i topiv je u vodi. Također je opasan jer je toksičan i korozivan prema pojedinim materijalima. Nastaje kao produkt procesa raspadanja organskog materijala koji sadrži dušik i prisustvo amonijaka u zraku se može zamijetiti po snažnom mirisu. Amonijak se koristi u različitim industrijskim i poljoprivrednim aktivnostima. Amonijak može biti štetan za okoliš (eutrofikacija i acidifikacija osjetljivih ekosustava). Na primjer, visoke koncentracije amonijaka u zraku imaju toksičan učinak na vegetaciju. Također, prilikom određenih uvjeta (ovisno o pH-u vode i temperaturi) amonijak može biti vrlo otrovan spoj za ribe i ostale životinje koje su nastanjene u vodi. [9] Iz toga proizlazi zaključak da se amonijak nalazi izvan cijevi zdenca zbog činjenice da je lakši od zraka i da je produkt u procesu raspadanja organskog materijala koji se nalazi u tijelu odlagališta, te se nalazi i kao otopljena komponenta u procjednoj vodi. Pojava ovog plina na površini odlagališta može se objasniti i činjenicom da je odlagalište okruženo poljoprivrednim površinama na kojima se provodila gnojidba tla.

Također je zanimljivo napomenuti da je u travnju, tijekom mjerenja odlagališnog plina na zdencu 1, uočena znatna koncentracija ugljičnog monoksida i vrlo niska koncentracija kisika, što je možda bilo u vezi s pojavom manjeg požara na novijem

dijelu odlagališta. Brzom intervencijom djelatnika odlagališta požar je vrlo brzo ugašen.

5.2 REZULTATI MJERENJA NA NOVOM DIJELU ODLAGALIŠTA

Tablica 12.

Zdenac 11a – ožujak	**Duljina cjevčice instrumenta [m]**			
Plinovi	4,5	3	2	Pri vrhu cijevi
CH_4 [%]	/	/	/	0,20
CO_2 [%]	/	/	/	0,10
O_2 [%]	/	/	/	19,40
NH_3 [ppm]	/	/	/	3,00
CO [ppm]	/	/	/	0,00
H_2S [ppm]	/	/	/	3,00
Bal [%]	/	/	/	80,20
Relativni pritisak [mb]	/	/	/	-0,23

Tablica 13.

Zdenac 11b - ožujak	**Duljina cjevčice instrumenta [m]**			
Plinovi	4,5	3	2	Pri vrhu cijevi
CH_4 [%]	/	/	/	0,30
CO_2 [%]	/	/	/	0,20
O_2 [%]	/	/	/	19,40
NH_3 [ppm]	/	/	/	1,00
CO [ppm]	/	/	/	0,00
H_2S [ppm]	/	/	/	1,00
Bal [%]	/	/	/	80,20
Relativni pritisak [mb]	/	/	/	-0,18

Tablica 14.

Zdenac 11b - travanj	Duljina cjevčice instrumenta [m]			
Plinovi	4,5	3	Pri vrhu cijevi	Izvan cijevi
CH_4 [%]	/	/	0,40	0,40
CO_2 [%]	/	/	0,40	0,40
O_2 [%]	/	/	18,10	18,10
NH_3 [ppm]	/	/	0,00	0,00
CO [ppm]	/	/	0,00	0,00
H_2S [ppm]	/	/	1,00	1,00
Bal [%]	/	/	81,10	81,10
Relativni pritisak [mb]	/	/	0,43	0,43

Zbog činjenice da je u novijem dijelu odlagališta razina procjedne vode bila vrlo visoka, mjerenja plinova na većim dubinama nisu bila moguća jer je prilikom mjerenja na većoj dubini uhvaćen filtrat u samu cijev uređaja. Kako ne bi došlo do oštećenja instrumenta preporuča se za daljnja mjerenja odlagališnih plinova prvo izmjeriti razinu filtrata u zdencima, a tek potom pristupiti mjerenju plinova.

Kao i u slučaju starijeg dijela odlagališta, na temelju izmjerenih rezultata može se utvrditi da na samoj površini odlagališta nisu uočene značajnije emisije metana i ugljičnog dioksida.

Uređaj je kalibriran nakon mjerenja radi uočenih nepravilnosti u izmjerenim rezultatima. Kalibracija je provedena za čisti zrak te se može uočiti kako je

koncentracija O_2 u zraku porasla. U sljedećoj tablici su prikazani podaci kalibracije (tablica 15).

Tablica 15. Kalibracija uređaja za čisti zrak

CH_4 [%]	**CO_2 [%]**	**O_2 [%]**	**NH_3 ppm**	**CO ppm**	**H_2S ppm**	**Bal [%]**
0	0,1	20,5	0	0	0	79,3

Uočeno da uređaj sa značajnom nepreciznošću mjeri sadržaj kisika na otvorenom te je prije daljnjih mjerenja potrebno provesti kalibraciju samog mjernog instrumenta za spomenuti plin.

6 ZAKLJUČAK

Obzirom da odlagališni plin ovisi o sastavu i svojstvima odloženog materijal, starosti otpada te njegovom vremenskom periodu razgradnje i u određenim uvjetima, očekivano je da su rezultati mjerenja različiti. Starenjem otpada mijenjaju se njegove karakteristike, pa tako plin koji izlazi iz takvog otpada može biti opasan. Odlagalište na kojem su provedena mjerenja je relativno male površine, stoga je dovoljno plin kontrolirati, odnosno nije potrebna njegova energetska oporaba. Svrha otplinjavanja je prvenstveno sprječavanje nastanka eksplozija i požara koji se mogu dogoditi na odlagalištu.

7 LITERATURA

[1] Pravilnik o načinima i uvjetima odlaganja otpada, kategorijama i uvjetima rada odlagališta. Narodne novine. 2015. Broj 114. [21.10.2015.]
Dostupno na: https://narodne-ovine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2015_10_114_2184.html.

[2] Milanović Z. Deponij, Trajno odlaganje otpada. ZGO-Zagreb, svibanj 1992.

[3] INGOLAB d.o.o., Plan gospodarenja otpadom Grada Čakovca za razdoblje od 2018. godine do 2023., Čakovec, prosinac 2017. godine.
Dostupno na:
https://www.esavjetovanja.Cakovechr/dokumenti/nacrti/acrt_PGO_Grada_Cakovca.pdf.
Datum pristupa: 18.07.2018.

[4] Interna skripta - Geotehničko-ekološki zahvati - doc. dr. sc. Boris Kavur. Geotehnički fakultet u Varaždinu. Sveučilište u Zagrebu, 2018. godine.

[5] Interna skripta - Površinska odlagališta otpada - dr. sc. Želimir Veinović, Prof. dr. Predrag Kvasnička, Zagreb, 2007.,
Dostupno na: http://rgn.hr/~pkvasnic/Povrsinska_odlagalista_otpada_20 07.pdf.
Datum pristupa: 19.07.2018.

[6] XuedeQian, Robert M. Koerner, Donald H. Gray. Geotehnicalaspectsoflandfill design andconstruction. Prentice Hall. UpperSaddleRiver, New Jersey 07458. Str. 333.-338.

[7] Uklanjanje amonijakalnog dušika iz procjednih voda odlagališta otpada fizikalno kemijskim postupcima, Jovanović Toni, Zagreb, siječanj 2016.
Dostupno na:
https://repozitorij.fkit.unizg.hr/islandora/object/fkit%3A247/datastream/PDF/view
Datum pristupa: 19.08.2018.

[8] GA5000 Gas AnalyserOperating Manual. Dostupno na: www.Manualslib.com

[9] Državni hidrometeorološki zavod, Kemijski spojevi, Amonijak NH_3.
Dostupno na: http://vrijeme.hr/kz/zrak.php?id=polutanti&param=NH3
Datum pristupa: 19.08.2018.

8 POPIS SLIKA

Slika 1. Građevina za gospodarenje otpadom s kompostanom i odlagalište neopasnog otpada

Slika 2. Presjek odlagališta otpada

Slika 3. Slojevi temeljnog zaštitnog sustava

Slika 4. Slojevi pokrovnog zaštitnog sustava

Slika 5. Pasivno otplinjavanje

Slika 6. Aktivno otplinjavanje

Slika 7. Analizator plina GA5000

Slika 8. Priključne toke instrumenta (opisane u tablici 4.)

Slika 9. Skica odlagališta sa pripadajućim zdencima

9 POPIS TABLICA

Tablica 1.Sastav odlagališnog plina

Tablica 2. Nastanak odlagališnog plina s obzirom na vrstu organske tvari

Tablica 3. Priključne točke instrumenta

Tablica 4. Zdenac 1.

Tablica 5. Zdenac 4

Tablica 6. Zdenac 7.

Tablica 7. Zdenac 10.

Tablica 8. Zdenac 11a.

Tablica 9. Zdenac 11b.

Tablica 10. Zdenac 1.

Tablica 11. Zdenac 4.

Tablica 12. Zdenac 7.

Tablica 13. Zdenac 10.

Tablica 14. Zdenac 11b.

Tablica 15. Kalibracija uređaja za čisti zrak

10 POPIS GRAFIKONA

Grafikon 1. Promjene u sastavu odlagališnih plinova tijekom vremena