

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Prometna smer

Kandidat:

Martin Ponikvar

Tehnologije odstranjevanje metana na odlagališčih

Diplomska naloga št.: 3015

Mentor:
prof. dr. Boris Kompare

Somentor:
Darinka Ignjatović

Ljubljana, 23. 6. 2008

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **MARTIN PONIKVAR** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
»TEHNOLOGIJE ODSTRANJEVANJA METANA NA ODLAGALIŠČIH«.

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 22.5.2008

(podpis)

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 628.47(043.2)

Avtor: Martin Ponikvar

Mentor: izr. prof. dr. Boris Kompare univ. dipl. inž.grad.

Somentor: Darinka Ignjatović, univ.dipl.inž.grad.

Naslov: Tehnologije odstranjevanja metana na odlagališčih

Obseg in oprema: 67 str., 11 preg., 9 sl., 7 graf., 6 en.

Ključne besede: odlagališčni plin, biofilter, bakla, produkcija metana

Izvleček

Med osnovnimi cilji varstva okolja na področju ravnanja z odpadki sta povečanje snovne in energetske izrabe odpadkov, kar zmanjšuje tudi emisije t. im. toplogrednih plinov. Slovenska zakonodaja opredeljuje, da v kolikor se zajetih odlagališčnih plinov ne more uporabiti za pridobivanje energije, jih je treba sežigati na območju odlagališča ali preprečiti njihovo emisijo v zrak z uporabo drugih postopkov, ki so enakovredni sežiganju plinov. Diplomaska naloga temelji na problemu obstoječega odlagališča komunalnih odpadkov Volče, kjer je potrebno poskrbeti za najustreznejšo obliko eliminacije odlagališčnih plinov. Izvedli smo računsko napoved nastajanja odlagališčnih plinov na starem zaključenem in novem aktivnem delu odlagališča in analizirali rezultatom primerne možnosti eliminacije odlagališčnih plinov v času obratovanja in po zapiranju odlagališča. Modelni izračun emisije metana smo izvedli na podlagi poznavanja kemijske kinetike razgradnje organskih snovi v odpadkih, pri izračunu količine odlagališčnih plinov pa smo si pomagali s programom LandGem (Landfill Gas Emissions Model), različico 3.02, ki deluje v okolju Microsoft Excel in omogoča uporabniku izračun celotnega odlagališčnega plina: metana, ogljikovega dioksida in drugih onesnaževal v plinih, tipičnih za odlagališča mešanih komunalnih odpadkov. Na podlagi izračunov smo definirali tri možne načine eliminacije metana in sicer varianta A: uporaba biofiltra za pline zaključene in aktivne površine; varianta B: sežig plinov na bakli iz zaključene in aktivne površine ter varianta C: uporaba biofiltra za pline zaključene površine in sežig plinov iz aktivne površine na bakli. Na podlagi ekonomskih, okoljskih in prostorskih kriterijev smo kot najugodnejšo možnost za odlagališče Volče, predlagali varianto C.

BIBLIOGRAFIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 628.47(043.2)

Author: Martin Ponikvar

Supervisor: Assoc. prof. Boris Kompare, CE, Ph.D

Co-supervisor: Darinka Ignjatović, CE

Title: Methane elimination methods on landfills

Notes: 67 p., 11 tab., 9 fig., 7 graph., 6 eq.

Key words: landfill gas, biofilter, gas flare, methane oxidation,

Abstract

Increase in substance and energy exploitation from waste which reduces the greenhouse gas emissions are one of the main goals of environmental protection. Slovenian legislation defines that in case captured landfill gas cannot be used for energy acquisition, incineration on the landfill itself or some other equivalent procedure must be used to prevent gas emissions into the air. The graduation thesis is based on existing municipal landfill Volče where suitable gas elimination is yet to be arranged. Based on calculations we predicted gas formation in new and old part of the landfill and proposed suitable alternatives for gas elimination during operational period and after closing of the landfill. For modelling methane emissions we used LandGem (Landfill Gas Emissions Model), version 3.2 which operates in Microsoft Excel environment and enables calculations of total gas: methane, carbon dioxide and other pollutants in gas, typical for communal landfills with mixed type of waste. Based on the calculations, we determined three various ways for gas elimination - variant A: use of biofilter for gas from active and closed surface; variant B: incineration of gas from active and closed surface using gas flare and variant C: use of biofilter for gas from closed surface and incineration of gas from active surface using gas flare. Based on economical, environmental and spatial criteria, we chose variant C as the most suitable for landfill Volče.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Borisu Komparetu in somentorici Darinki Ignjatović za strokovno vodenje in podporo pri pripravi diplomske naloge.

Hvala staršema, da sta bila poredna tisto noč in potem vsaj še enkrat, ko je bila ustvarjena moja preljuba sestra.

Hvala podjetju IEI d.o.o., ki prenaša mojo študijsko odsotnost.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	ZAKONSKA REGULATIVA	2
3	SPLOŠNO O METANU	4
3.1	Nastanek in sestava odlagališčnega plina	5
3.2	Anaerobni procesi.....	6
3.3	Kemijske in fizikalne lastnosti glavnih sestavin odlagališčnega plina.....	10
3.4	Vplivi na okolje.....	14
4	ZAJEM IN ELIMINACIJA ODLAGALIŠČNEGA PLINA	15
4.1	Plinjak.....	15
4.2	Visokotemperaturna bakla.....	16
4.3	Biofilter.....	19
4.3.1	Parametri ki definirajo delovanje biofiltra.....	19
4.3.1.1	Razmerja materiala v biofiltru	19
4.3.1.2	Vlaga	20
4.3.1.3	Temperatura	21
4.3.1.4	Lastnosti komposta.....	21
4.3.1.5	Učinkovitost biofiltra	22
4.3.2	Dimenzioniranje biofiltra	22
5	UREDITEV ODPLINJEVANJA NA ODLAGALIŠČU VOLČE	26
5.1	Povzetek v programu prilagoditve načrtovanih in že izvedenih sanacijskih ukrepov na zaključenih površinah.....	27
5.1.1	Brežine.....	27

5.1.2	Pokrov odlagališča.....	28
5.1.3	Dno odlagališča zaključenih in aktivnih površin.....	28
5.1.4	Razplinjevanje odlagališča	28
6	IZRAČUN EMISIJ.....	31
6.1	Opis modelnega izračuna.....	31
6.2	Rezultati izračunov.....	32
6.2.1	Vhodni podatki	32
6.2.2	Izračun emisij	33
6.2.2.1	Zaključene površine	34
6.2.2.2	Aktivne površine.....	35
7	MOŽNE TEHNOLOGIJE ELIMINACIJE METANA	37
7.1	Zasnova nadomestnega sistema za eliminacijo plinov z biofiltrom na zaključenih in aktivnih površinah	37
7.1.1	Sestava zaključenih prekrivnih slojev površine	37
7.1.2	Dimenzioniranje biofiltra za oksidacijo metana – zaključene površine.....	38
7.1.3	Dimenzioniranje biofiltra za oksidacijo metana – aktivne površine	40
7.2	Zasnova sistema za eliminacijo plinov z baklo na zaključenih in aktivnih površinah.....	42
7.2.1	Izračun odlagališčnih plinov.....	42
7.3	Zasnova sistema za eliminacijo plinov z biofiltrom na zaključenih površinah in z baklo na aktivnih površinah.....	43
7.3.1	Biofilter kot alternativa bakli.....	43
7.4	Primerjava variant	44
7.5	Slabosti variante A	47
7.6	Slabosti variante B.....	47
7.7	Slabosti variante C	47
7.8	Izbira variante	48

8	TEHNOLOGIJA IZVEDBE	49
8.1	Izvedba biofiltra	49
8.2	Izvedba priključkov na plinjake	50
8.2.1	Zaključek plinjakov in povezave plinjakov z biofiltrom	51
8.3	Izvedba bakle	51
8.3.1	Vertikalni sistem.....	51
8.3.2	Horizontalni sistem.....	52
9	POPIS DEL S PROJEKTANTSKIH PREDRAČUNOM	53
9.1	Skupna rekapitulacija stroškov	53
9.2	Popis del in projektantski predračun stroškov.....	54
10	ZAKLJUČKI	59
11	PREDVIDENE POSLEDICE SPREJETE ZAKONODAJE	61

VIRI

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Tipična sestava odlagališčnega plina (Mortensen, 1995).....	9
Preglednica 2: Kinetični koeficienti degradacije metana	24
Preglednica 3: Maksimalna obremenitev biofiltra.....	24
Preglednica 4: Količina odpadkov na zaključenih površinah.....	32
Preglednica 5: Količina odpadkov na aktivnih površinah	33
Preglednica 6: Dimenzioniranje biofiltra . zaključene površine – izračun 1	38
Preglednica 7: Dimenzioniranje biofiltra . zaključene površine – izračun 2.....	39
Preglednica 8: Dimenzioniranje biofiltra . aktivne površine – izračun 1	40
Preglednica 9: Dimenzioniranje biofiltra . aktivne površine – izračun 2	41
Preglednica 10: Okvirne ocene stroškov za posamezne variante (vse cene so v €).....	44
Preglednica 11: Vrednotenje posameznih variant	46

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Diagram letnih emisij metana – zaključene površine	34
Grafikon 2: Diagram urnih emisij metana – zaključene površine	35
Grafikon 3: Diagram letnih emisij metana – aktivne površine.....	36
Grafikon 4: Diagram urnih emisij metana – aktivne površine	36
Grafikon 5: Diagram urnih emisij metana – zaključene in aktivne površine	42
Grafikon 6: Diagram urnih emisij metana – aktivne površine	43
Grafikon 7: Dejanske emisije metana iz odlagališč komunalnih odpadkov v obdobju 1986-2005 in projekcije teh emisij do leta 2020 (OP, 2008).....	62

KAZALO SLIK

Slika 1: Nastanek in sestava odlagališčnega plina (Spillmann, 2007).	5
Slika 2: Večstopenjski proces metanogeneze pri anaerobni presnovi (Rodošek, 2006)	7
Slika 3: Vpliv temperature na začetek razgradnje (Spillmann, 2007).....	8
Slika 4: Vplivi na okolje (Spillmann, 2007).....	14
Slika 5: Princip vgrajevanja plinske sonde s povezavo (Kotnik M., 2001)	16
Slika 6: Primer zajema in energetske izrabe odlagališčnega plina (Spillmann, 2007).....	18
Slika 7: Prikaz sprotne izgradnje brežine aktivnega polja odlagališča.....	27
Slika 8: Situacijski prikaz obstoječih uvrtenih vertikalnih plinjakov.....	29
Slika 9: Začasni izpust obstoječega plinjaka.	30

KAZALO PRILOG

Priloga A: Prikaz območja

A. 1	Pregledna situacija	M	1:10000
A. 2	Geodetski posnetek	M	1:500
A. 3	Katastrska situacija	M	1:500

Priloga B: Situacijski prikaz možnih tehnologij eliminacije metana

B. 1	Situacija odlagališča – varianta A	M	1:1000
B. 2	Situacija odlagališča – varianta B	M	1:1000
B. 3	Situacija odlagališča – varianta C	M	1:1000

Priloga C: Izbrana varianta C - biofilter za pline zaključene površine in sežig plinov iz aktivne površine na bakli

C. 1	Situacija odlagališča C	M	1:500
C. 2	Situacija plošče za baklo	M	1:100
C. 3	Karakteristični prečni prerez odlagališča – varianta C	M	1:200/200
C. 4	Karakteristični vzdolžni prerez odlagališča – varianta C	M	1:200/200
C. 5	Načrt biofiltra	M	1:100
C. 6	Načrt plinjaka	M	1:20

1 UVOD

Odlagališče nenevarnih odpadkov Volče se je v skladu z veljavno zakonodajo, ki pokriva področje odstranjevanja odpadkov v Republiki Sloveniji, v vlogi za pridobitev okoljevarstvenega dovoljenja za obratovanje odlagališča in programom prilagoditve iz leta 2004 zavezalo, da bo odlagališče s svojimi ureditvami sproti prilagajalo aktualni zakonodaji. Ena od ugotovitev recenzije je bila, da je potrebno poskrbeti za sežig odlagališčnih plinov z izgradnjo povezav med posameznimi plinjaki in njihovo eliminacijo na bakli do leta 2008.

Ravnanje z odpadki se vse bolj usmerja v predelavo in reciklažo, a še vedno ostaja velik delež odpadkov, ki jih je treba odložiti. Nepredelani mešani odpadki so se v Republiki Sloveniji doslej večinoma odlagali v nezadostno urejena odlagališča. Pri njihovi razgradnji se sproščajo plini, katerih sestava je značilna za povzročitelje učinka tople grede. Naša zakonodaja zahteva, da je odlagališčne pline potrebno nadzorovano odvesti iz telesa odlagališča in jih koristno uporabiti, sežgati ali jih eliminirati na drugačen način.

Koristna izraba plina, ki ga lahko pretvarjamo v električno energijo in toploto, je mogoča na odlagališčih z relativno veliko prostornino odpadkov. Pri manjših odlagališčih zaradi nezadostne proizvodnje plina njegova izraba ni zadostna za kontinuiran sežig in je potrebno poskrbeti za eliminacijo njihove emisije v zrak z uporabo drugih postopkov, ki so enakovredni sežiganju.

Tako je tema te diplomske naloge izdelati projektno dokumentacijo za izdelavo projekta ureditve razplinjevanja odlagališča na najprimernejši način, to je v skladu z veljavno zakonodajo.

Potrebne podatke za izdelavo naloge je v Septembru 2007 posredovala komunala Tolmin.

2 ZAKONSKA REGULATIVA

Dolgoročni cilji, usmeritve in naloge na področju varstva okolja so opredeljeni v Resoluciji o nacionalnem programu varstva okolja (v nadaljevanju ReNPVO), ki jo skladno z zakonom o varstvu okolja na predlog vlade sprejme Državni zbor Republike Slovenije. To je strateški dokument, katerega cilj je zastaviti ukrepe za splošno izboljšanje okolja in kakovosti življenja ter varstvo naravnih virov.

Za izvedbo ReNPVO ali za izvrševanje obveznosti iz ratificiranih in objavljenih mednarodnih pogodb, strategij, programov in predpisov Evropske Unije (v nadaljevanju: EU), ki se nanašajo na oblikovanje programov na področju varstva okolja, ministrstvo pripravi operativne programe varstva okolja (v nadaljevanju: OP), ki jih sprejme vlada. V OP se praviloma za obdobje štirih let razčlenijo cilji, usmeritve in naloge v celoti, na posameznem področju ali za posamezno vprašanje varstva okolja.

Med štirimi osnovnimi cilji varstva okolja na področju ravnanja z odpadki sta tudi povečanje snovne in energetske izrabe odpadkov, kar zmanjšuje tudi emisije toplogrednih plinov (v nadaljevanju TGP). Iz biorazgradljivih odpadkov (v nadaljevanju BIOO) na odlagališčih se zaradi anaerobne presnove tvori odlagališčni plin, ki je sestavljen pretežno iz CH₄ (metan) in CO₂, drugih sestavin je zanemarljivo malo. Predvsem metan je zelo učinkovit TGP saj ima 23x večji toplogredni učinek kot CO₂. Emisije metana je možno omejiti predvsem z izločanjem BIOO iz odpadkov, namenjenih odlaganju, termično obdelavo, delno pa tudi z zajemanjem in ustreznim ravnanjem ali energetsko izrabo že nastalega metana v odlagališčih.

Pravilnik o odlaganju odpadkov na odlagališčih je opredelil rok za ureditev kontroliranega zajema in uporabo ali sežig odlagališčnega plina na obstoječih odlagališčih do konca leta 2005. Za izvedbo teh del je bilo možno porabiti sredstva zbrana z okoljsko dajatvijo. K ureditvi odplinjevanja pa niso bila zavezana odlagališča v zapiranju. Zato bodo emisije odlagališčnega plina na takih odlagališčih v naslednjih nekaj letih še naraščale. Hkrati pa tudi obdelani odloženi odpadki še producirajo pline, čeprav so njihove količine bistveno manjše.

Ob uvedbi ukrepov ločenega zbiranja, predelave odpadkov in zajema odlagališčnega plina bodo emisije priče upadati šele po letu 2007 in bodo v letu 2030 še vedno dosežale več kot polovico današnjih. Nadaljnje zmanjšanje emisij TGP je možno učinkovito dosežati s termično obdelavo odpadkov in izrabo energetske vrednosti odpadkov.

Z uveljavitvijo zahtev Pravilnika o odlaganju odpadkov (UL RS, št. 5/00), ki je predhodnik Uredbe o odlaganju odpadkov na odlagališčih (UL RS, št. 32/06) je bilo doseženo, da so se upravljavci odlagališč, ki ne izpolnjujejo tehničnih zahtev glede delovanja odlagališča, morali odločiti za zaprtje odlagališč, drugi pa se morajo zahtevam pravilnika/ uredbe prilagoditi do konca leta 2008. Ureditev odplinjevanja odlagališč je bila s Pravilnikom o odlaganju odpadkov (UL RS, št. 5/00) zahtevana že do konca leta 2005.

3 SPLOŠNO O METANU

Metan prispeva 22% k napredujočemu globalnemu segrevanju (Lelieveld et al., 1998). V primerjavi s CO₂ absorbira in izžareva 23x toliko energije če uporabimo sto letno časovno obdobje. (IPCC, 2001). Koncentracija metana v atmosferi se je od začetnih 700 ppb v letu 1750 povečala na 1745 ppb v današnjem času (IPCC, 2001).

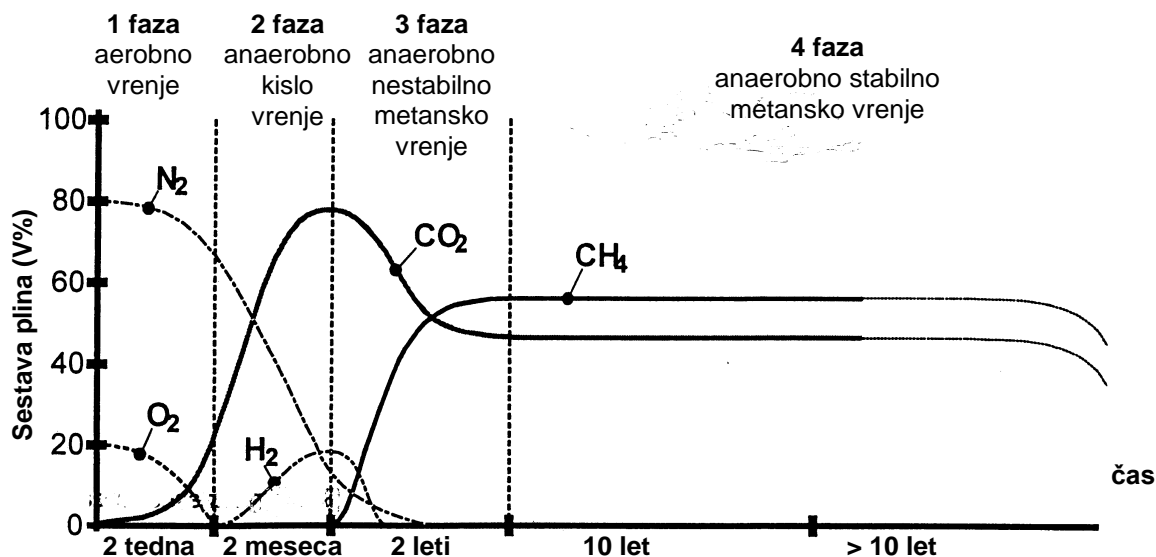
Odlagališča so pomemben globalni vir, ki prispeva k toplogrednemu efektu. Emisije metana iz odlagališč so po velikosti tretje najmočnejše, če upoštevamo antropogene izvore metana. Njihove vrednosti so med 19 in 40 Tg/leto (Doorn, 1995). Te emisije so v glavnem posledica neustreznega sistema zbiranja odlagališčnih plinov, nenadzorovanih emisij starih odlagališč in nezakonitega odlaganja odpadkov. Zaradi rasti prebivalstva v državah v razvoju se bodo emisije metana povečale za 60% v naslednjih dveh desetletjih (Meadows et al., 1996). Metan se je tako kot ostali toplogredni plini hitro akumuliral v preteklem stoletju in dosegel rekordno koncentracijo v človeški zgodovini (Petit et al., 1999). Bakterije, ki so zmožne oksidirati metan – metanotrofni mikroorganizmi - so prisotne v mnogih biotopih in igrajo pomembno vlogo v 'metanovem ciklu' (Heyer et al., 1984).

Nastajanje odlagališčnega plina je posledica biološke razgradnje organskih snovi, ki so odložene na odlagališču. Velik delež komunalnih odpadkov predstavljajo biološko razgradljive organske snovi, kot so papir, ostanki hrane, les in podobno. Povprečno je delež takih snovi 120 do 250 kg v eni toni gospodinjskih odpadkov. Proces nastajanja odlagališčnega plina je poleg deleža oziroma količine organskih snovi odvisen tudi od:

- vlažnosti odpadkov,
- temperature v telesu odlagališča,
- tesnosti telesa odlagališča,
- kompaktiranja odpadkov,
- deleža organskih odpadkov, ki se razkroji aerobno in
- stopnje mehanske in biološke predobdelave.

3.1 Nastanek in sestava odlagališčnega plina

Sestava odlagališčnega plina med posameznimi fazami razgradnje je prikazana na Sliki 1:



Slika 1: Nastanek in sestava odlagališčnega plina (Spillmann, 2007).

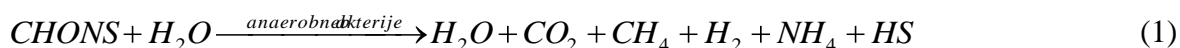
V **prvi fazi** vsebuje odlagališčno telo še kisik iz zraka (aerobna faza). Zrak je postopoma izrinjen s CO₂. Opažen je dvig temperature za 15–20 °C. Traja nekaj dni do nekaj tednov. Sledi razgradnja anaerobne faze.

Druga faza je imenovana kislno vrenje, saj se pH zmanjša na štiri oz šest zaradi tvorbe organskih kislin, najprej kot maščobne kisline, ki se kasneje pretvorijo v lahkohlapne maščobne kisline (ocetna kislina). Ta faza traja od nekaj tednov do nekaj mesecev, če procesov ne pospešujemo. Tu se sestavine kot maščobe, celuloza in proteini razkrojijo v vmesne produkte, ki so vključeni pri razgradnji v klasične produkte vretja lahkohlapnih maščobnih kislin. Proizvodnja CO₂ in H₂ doseže svoj maksimum. Že med kislno vrenjem se pričnejo razvijati metanske (metanogene) bakterije.

V **tretji fazi** se začnejo razvijati metanogene bakterije, ki pretvarjajo preproste kisline kot (ocetna kislina) in metanol v metan. Ta faza je nestabilna dokler se ne vzpostavi ravnotežje med tvorbo kislin in proizvodnjo metana. To običajno traja tri do pet let. Če je pH zadostno

znižan (v drugi fazi), je potrebno več časa, da se proces stabilizira, saj so optimalni pogoji za metanogenezo pri pH 6-8, kar je primerljivo s pogoji anaerobnega procesa razgradnje. Začetek anaerobnega procesa uplinjevanja v tretji fazi se v povprečju prične po treh do štirih mesecih, stabilni potek pa doseže po dveh do treh letih.

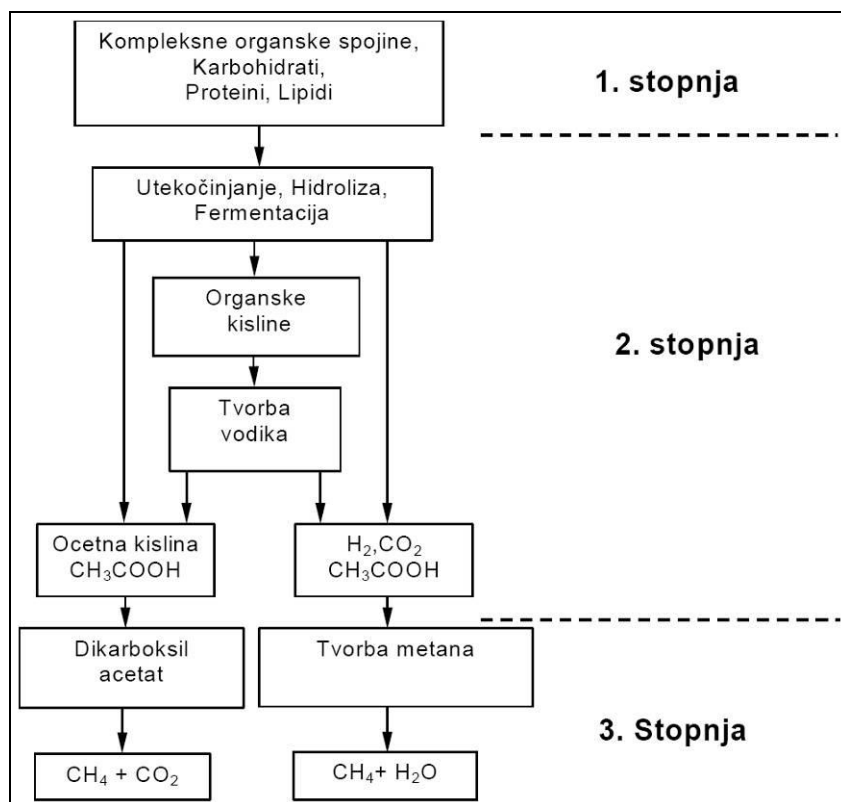
V četrta fazi se v odlagališčnem telesu kot v nekem reaktorju ustvarja odlagališčni plin, ki je daljše obdobje konstantne vsebine. Ta faza je stabilna, saj se vse organske kisline pretvarjajo s pomočjo metanogenih bakterij. To fazo lahko opišemo s pomočjo enačbe 1:



Produkte procesa stabilizacije lahko najdemo v izcednih vodah in plinu. V tej fazi sta CH_4 in CO_2 v razmerju 35% : 65%.

3.2 Anaerobni procesi

Anaerobno vrenje je večstopenjski biološki proces, kjer mikroorganizmi fermentirajo organske spojine v odpadkih brez prisotnosti kisika. Proces je razdeljen v tri faze. Proteini, ogljikovi hidrati in druge kompleksne organske spojine najprej hidrolizirajo v topno obliko. V drugi stopnji se pretvorijo v nižje maščobne kisline in alkohole. Ti dve fazi sta včasih imenovani tudi kislinska faza – kislno vrenje. Metanogene bakterije presnovijo nižje maščobne kisline in alkohole v metan, ogljikov dioksid in sledove ostalih plinov, kar je druga ali metanogena faza presnove – metansko vrenje. Razkroj je odvisen od ravnotežja med tvorbo in porabo vmesnih presnovnih produktov. Prikaz metanogeneze je na sliki 2.



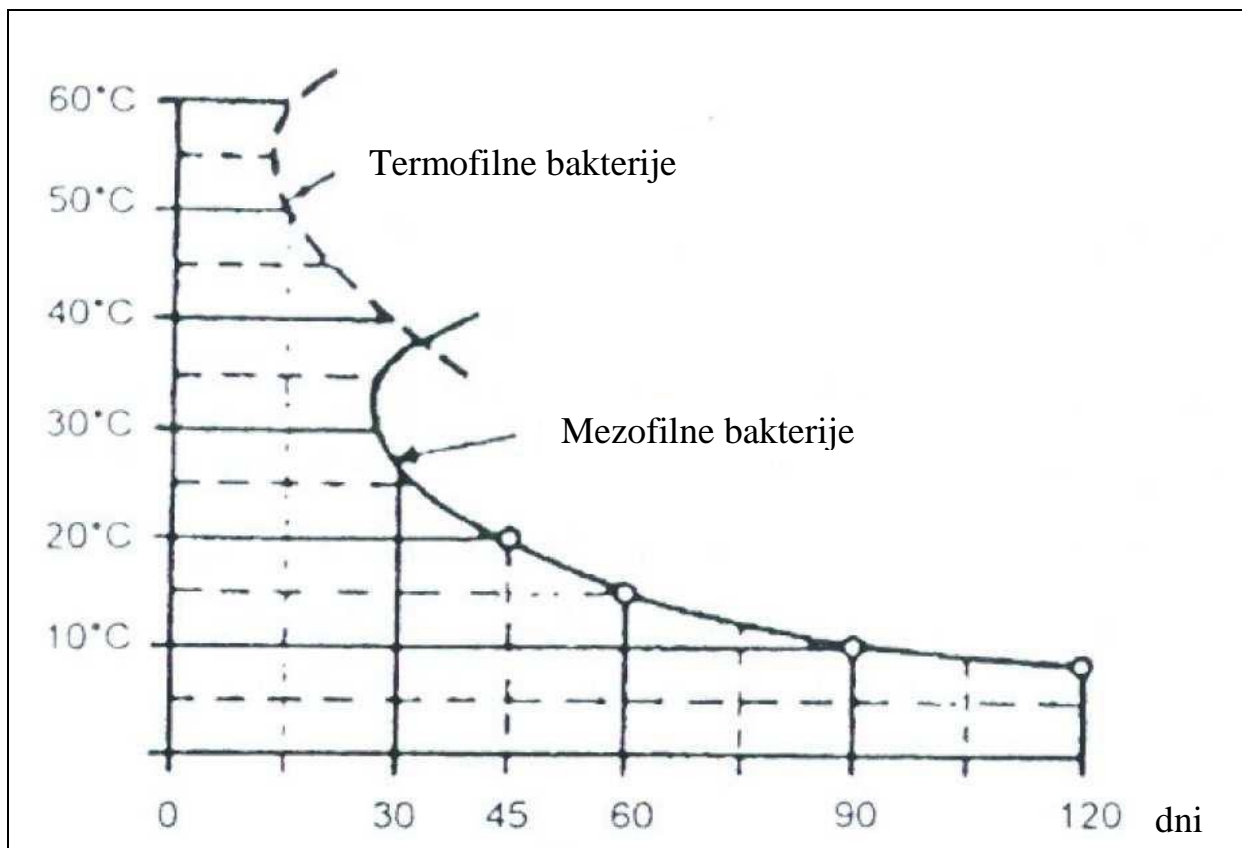
Slika 2: Večstopnjski proces metanogeneze pri anaerobni presnovi (Rodošek, 2006)

Čeprav so mikroorganizmi, ki proizvajajo encime za katalizacijo procesa razgradnje kompleksnih organskih spojin (večinoma celuloze) v organske maščobne kisline, hitro razmnožujejo, poteka prva stopnja presnove malo počasneje. Lignin preprečuje dostop encimov do celuloze in tako upočasnjuje pretvorbo organskih kompleksov. Drugi vzrok za počasnejšo presnovo lahko iščemo v nizki temperaturi, pod $20\text{ }^\circ\text{C}$, pri kateri proces poteka .

Druga stopnja, v kateri poteka pretvorba maščobnih kislin v lahkohlapne organske kisline, večinoma v očetno kislino, poteka hitro. Mikroorganizmi (kislinske bakterije) se hitro razmnožujejo in hitro presnavljajo. Kot je opisano zgoraj, sta prva in druga stopnja imenovani tudi kislinska faza, ker presnovo v tej fazi vršijo kislinske bakterije. Te so tudi do 15–krat hitrejše v presnovnih procesih kot metanogene bakterije.

Hlapne organske kisline, ki jih proizvajajo kislinske bakterije, so hrana za metanogene bakterije, ki pričnejo svojo rast v tretji stopnji procesa. Njihova rast pa je počasna, ker so zelo občutljive na pH, temperaturo in redoks pogoje. To pomeni, da so metanogene bakterije najbolj občutljiva kolonija mikroorganizmov v procesu.

Pomemben fizikalni parameter pri anaerobnem razkroju je temperatura. Anaerobna presnova lahko poteka v dveh temperaturnih območjih. Večina gnilišč deluje v mezofilnem območju pri 32–37 °C, manj običajen postopek pa je potek presnove v termofilnem temperaturnem območju 50–60 °C. Slika 3 prikazuje vpliv temperature na začetek razgradnje in tipe bakterij, ki se pri določeni temperaturi razvijejo.



Slika 3: Vpliv temperature na začetek razgradnje (Spillmann, 2007)

Optimalna hitrost anaerobne razgradnje se dogaja v pH območju med 6 in 8. Vrednost pH pod 6 močno vpliva na zmanjšanje hitrosti produciranja metana pri metanogenih bakterijah. Pri pH 5,5 se produkcija metana popolnoma ustavi.

Sestava odlagališčnega plina med stabilno tvorbo metana je iz naslednjih glavnih komponent:

- metan CH₄ cca. 50-65 vol %
- ogljikov dioksid CO₂ cca. 35-50 vol %

Če se odlagališčni plin daljše obdobje nadzorovano odsesava, se pri reguliranem odvzemu doseže povprečne sestavine plina, kot so prikazane v preglednici 1.

Preglednica 1: Tipična sestava odlagališčnega plina (Mortensen, 1995, cit. Po Kiely, G., 1998).

Komponenta	Povprečna vrednost [% V/V]	Zaznani maksimumi [% V/V]
Metan [CH ₄]	63,8	77,1
Ogljikov dioksid [CO ₂]	33,6	89,3
Kisik [O ₂]	0,16	20,93
Dušik [N ₂]	2,4	80,3
Vodik [H ₂]	0,05	21,1
Ogljikov monoksid [CO]	0,001	-
Zasičen ogljikov vodik []	0,005	0,074
Nezasičen ogljikov vodik[]	0,009	0,048
Halogene komponente	0,00002	0,032
Vodikov sulfid	0,00002	0,0014
Spojine žvepla [_S]	0,00001	0,028
Alkoholi	-	0,127
Temperatura [°C]	38-50	
Specifična teža[kg/m ³]	1,02-1,06	
Vsebnost vlage[%]	Saturirano	
HHV (Hawf) [kJ/L]	15-38*	

* Vrednost 38 kJ/L je energijska vrednost čistega metana, medtem ko se nižja vrednost (15) sklada z odlagališčnim plinom z vsemi tipičnimi komponentami.

Kot je razvidno iz preglednice 1, se v sestavi odlagališčnega plina pojavlja mnogo sestavin, ki so po količini neznatne, vendar je problem njihovega vpliva možno zaznati predvsem v obliki smradnih emisij (npr. spojine žvepla).

3.3 Kemijske in fizikalne lastnosti glavnih sestavin odlagališčnega plina

Metan:

Kemijska formula:	CH ₄
Molekulska masa:	16,04
Vrelišče:	- 161,5 °C
Tališče:	- 183,2 °C
Gostota (voda =1):	0,415 (pri -164 °C)
Gostota plina pri normalnih pogojih:	0,714 g/dm ³
Relativna gostota plina (zrak = 1):	0,55
Topnost v vodi:	praktično netopen
Plamenišče:	-187,7 °C (vnetljiv plin)
Vžigalna temperatura:	537,8 °C
Eksplozijska mešanica z zrakom:	5-15 vol%
Izgled in organoleptične lastnosti:	brez barve, vonja in okusa.
Mešanje z vodo:	v vodi ni topen, zato se iz vode zelo hitro dviga in tvori nad gladino eksplozijske mešanice.

Dušik:

Kemijska formula:	N ₂
Molekulska masa:	28,02
Vrelišče:	- 195,8 °C
Tališče:	- 210,0 °C
Gostota:	1,2506 g/l (pri normal. pogojih)
Relativna gostota (zrak = 1):	0,966
Gostota tekoče faze (pri - 195,8 °C):	0,808 kg/l
Mešanje z vodo:	neznatno (0,03 g/kg)
Plamenišče:	
Eksplozijske mešanice z zrakom:	ne gori
Vžigalna temperatura:	Dušik se pojavi kot brezbarvni plin. Pri nizkih temperaturah nastopa kot brezbarvna tekočina oz. v trdni obliki kot rombski kristali.

Vodik:

Kemijska formula:	H ₂
Molekulska masa:	2,016
Vrelišče:	- 252,8 °C
Tališče:	- 259,18 °C
Relativna gostota plinske faze (zrak = 1):	0,069
Plamenišče:	praktično pri vseh tehnično dosegljivih temperaturah (vnetljiv plin)
Eksplozijske mešanice z zrakom:	4-75,6 vol%
Vžigalna temperatura:	560 °C
Izgled in organoleptične lastnosti:	plin brez barve, vonja in okusa
Mešanje z vodo:	topnost vodika v vodi je zelo majhna, zato iz vode zelo hitro uhaja in tvori zelo obsežne eksplozijske cone

Ogljikov dioksid:

Sinonim:	"Ogljikova kislina", suhi led, ogljikov dvokis, anhidrid ogljikove kisline.		
Kemijska formula:	CO ₂		
Molekulska masa:	44,0		
Vrelišče:	- 78,2 °C (sublimacija brez taljenja)		
Tališče:	- 56,7 °C (5,0 bar)		
Kritični pogoji:	T _{kr} = 31,3 °C, p _{kr} = 72,9 bar, ρ _{kr} = 0,464 g/cm ³		
Endotermni razpad na ogljikov monoksid in kisik:			
1205 °C : 0,032	2367 °C : 21,0%	2606 °C : 51,7%	
Relativna gostota hlapov (zrak = 1): 1,52			
Gostota (trd- "suhi led"), (voda =1): 1,56			
Topnost v vodi: 1 vol. del vode raztopi pri 20 °C			
0,88 vol. delov plinastega CO ₂ (1,73g/dm ³)			
Plamenišče:			
Vžigalna temperatura: ne gori			
Eksplozijske zmesi z zrakom:			
Izgled in organoleptične lastnosti: plinasti CO ₂ je brez barve in okusa.			
Utekočinjen CO ₂ je tudi brezbarven.			
MDK: 5000 ppm (9000 mg/m ³)			
Zaznavna koncentracija: brez vonja			

Ogljikov monoksid:

Sinonim:	Ogljikov oksid
Kemijska formula:	CO
Molekulska masa:	28,01
Vrelišče:	- 191,3 °C

Tališče:	- 207 °C
Relativna gostota plina (zrak = 1):	0,97
Plamenišče:	< -191 °C (vnetljiv plin)
Vžigalna temperatura:	605 °C
Eksplozijske meje:	12,5- 74,2 vol.%
Topnost v vodi:	0,033l (0,04 g) v 1l vode pri 20 °C
Izgled in organoleptične lastnosti:	plin brez barve in vonja
MDK:	50 ppm (58 mg/m ³)
Zaznavna koncentracija:	brez vonja

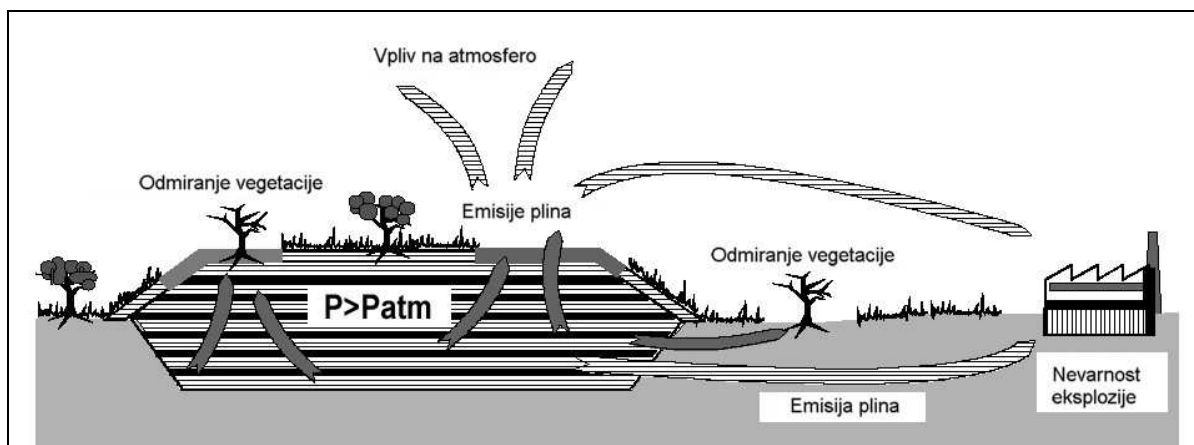
Vodikov sulfid:

Sinonim:	žveplovodik
Kemijska formula:	H ₂ S
Molekulska masa:	34,08
Tališče:	- 85,5 °C
Relativna gostota plina (zrak = 1):	1,175
Gostota plina pri normalnih pogojih:	1,52 kg/ m ³
Gostota utekočinjenega plina (voda =1):	0,99
Plamenišče:	vnetljiv plin
Vžigalna temperatura:	260 °C
Eksplozijske meje:	4,3- 46 vol.%
Topnost v vodi:	zmerna (pri 0 °C se raztopi v 1l vode 4,65l (7,1g), pri 20 °C pa 2,61l (4,0g) H ₂ S
Tlak plina pri 20 °C:	19 bar
MDK:	7 ppm (10 mg/m ³)
Zaznavna koncentracija:	0,01 ppm

3.4 Vplivi na okolje

Sestavini odlagališčnega plina, metan (CH_4) in ogljikov dioksid (CO_2), sta toplogredna plina in povečujeta tako imenovani učinek tople grede. Učinek tople grede je pojav v zemeljski atmosferi, zaradi katerega se ozračje prekomerno segreva. Pri tem ima metan (CH_4) 23-krat večji vpliv na pojav tople grede kot enaka količina ogljikovega dioksida. Razen vpliva na atmosfero, povzroča metan (CH_4), kot najmočnejša komponenta odlagališčnega plina, tudi odmiranje vegetacije na območju telesa odlagališča. Metan je lahkovnetljiv plin, zaradi nadtlaka v telesu odlagališča pa se lahko hitro širi do bližnjih industrijskih ali naseljenih področij ter zaradi tega povzroča veliko eksplozijsko ogroženost širše okolice odlagališčnega telesa, kot je prikazano v sliki 4. Zaradi vsebnosti metana je lahko odlagališčni plin tudi požarno nevaren in lahko v določenih mešanica z zrakom (5-15%) povzroča nevarnost požarov v notranjosti ali površini odlagališča.

Odlagališčni plin lahko povzroči tudi onesnaženje podtalne vode, nenazadnje pa povzroča tudi smrad (vodikov sulfid - H_2S in ostale žveplove komponente (npr. merkaptani – organska snov, ki se dodaja zemeljskemu plinu za lažjo zaznavo)).



Slika 4: Vplivi na okolje (Spillmann, 2007)

4 ZAJEM IN ELIMINACIJA ODLAGALIŠČNEGA PLINA

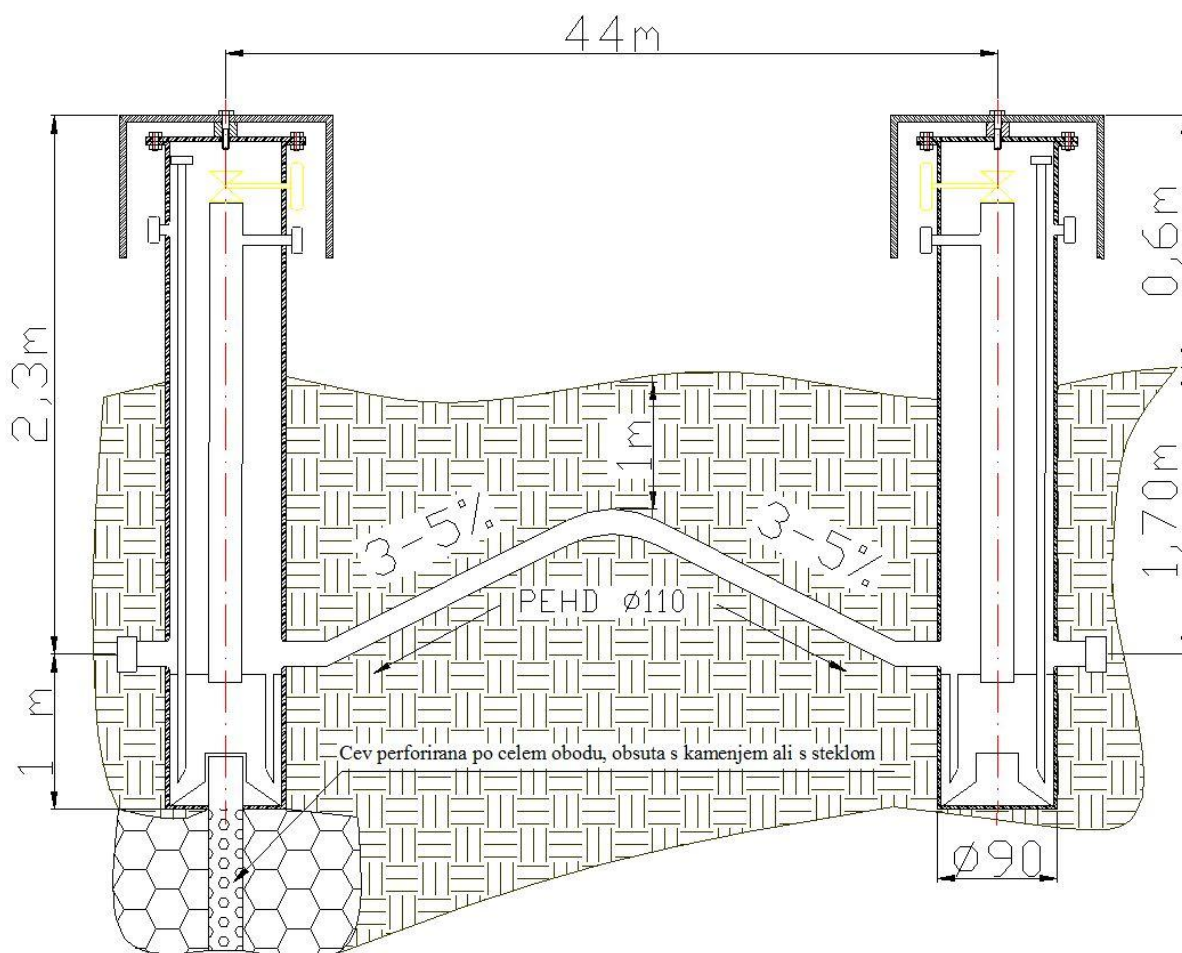
4.1 Plinjak

Odlagališčni plin v odlagališčnem telesu ne sme ustvarjati nadtlaka, ker je v tem primeru izsesavanje plina nenadzorovano. Zaradi navedenega je v odlagališčnem telesu potrebno doseči takšne razmere, da je možno nadzorovano odvajati in uničevati odlagališčni plin. To dosežemo s prisilnim odsesavanjem le-tega, s čimer dosežemo določen podtlak v telesu odlagališča napram atmosferskemu tlaku. Da minimaliziramo nevarnost nenadzorovane širitve odlagališčnega plina, v telo odlagališčnega telesa vgradimo cevovode – plinjake. Tipski plinski jaški se gradijo sprotno z rastjo odpadkov. To so dvoplaščne perforirane PEHD (polietilen visoke gostote) cevi premera 800 mm ali več, s sredinsko cevjo manjšega premera DN 110–125 mm pritrjeno na distančniku. Obodna cev je namenjena izsesavanju plinov, sredinska pa odvodu plinov, sočasno pa zbiranju izcednih vod po vertikali. Med obema cevema je prostor zasut z eruptivnim okroglozrnatim materialom ali lomljencem zrnavosti 30/100 mm brez primesi apnenca. Cevi se postavijo na tamponsko gramozno podlago (zrnavost 0/60 mm) debeline 50 cm in tlorisnih dimenzij premera cca 2,0 m. Uvaljan tampon se prekrije s plastjo geotekstila 800 gr/m², da se prepreči zaklinjanje prodca v cev.

Cev se zasidra v armiranobetonski prstan, ki ima nameščene sidrne vijake za pritrditev prve cevi dolžine 4,0 m. Obe cevi sta na vrhu zaključeni s plinotesnimi pokrovi in opremljeni z zasunom in nastavkom za priključek cevi, ki odvaja plin. Zmogljivost odsesavanja plina skozi plinjak je v dosegu radiusa 25–30 m, raster na 40 m pa zagotavlja prekrivanje vplivnih območij posameznih plinjakov. V plinjakih permanentno vzdržujemo minimalni podtlak 0,05 mbar in na ta način ustvarjamo možnost vsesavanja nastalega odlagališčnega plina in njegovo eliminacijo na bakli oz. mikrobiološko oksidacijo na biofiltru.

V posameznih gradbenih fazah so za začetek obratovanja potrebni le nastavki za plinjake, ki so izvedeni kot točkovne gramozne blazine tlorisnih dimenzij s premerom 2,0 m in debeline 50 cm. Na blazine se postavijo zgoraj opisane izvlečne cevi premera 800 mm ali več, s sredinsko perforirano cevjo manjšega premera DN 110 mm. Prazen prostor med notranjo in

zunanjo cevjo se zasuje z drenažnim prodcem. Na sliki 5 je slikovni prikaz vgrajevanja plinske sonde.



Slika 5: Princip vgrajevanja plinske sonde s povezavo (Kotnik M., 2001)

4.2 Visokotemperaturna bakla

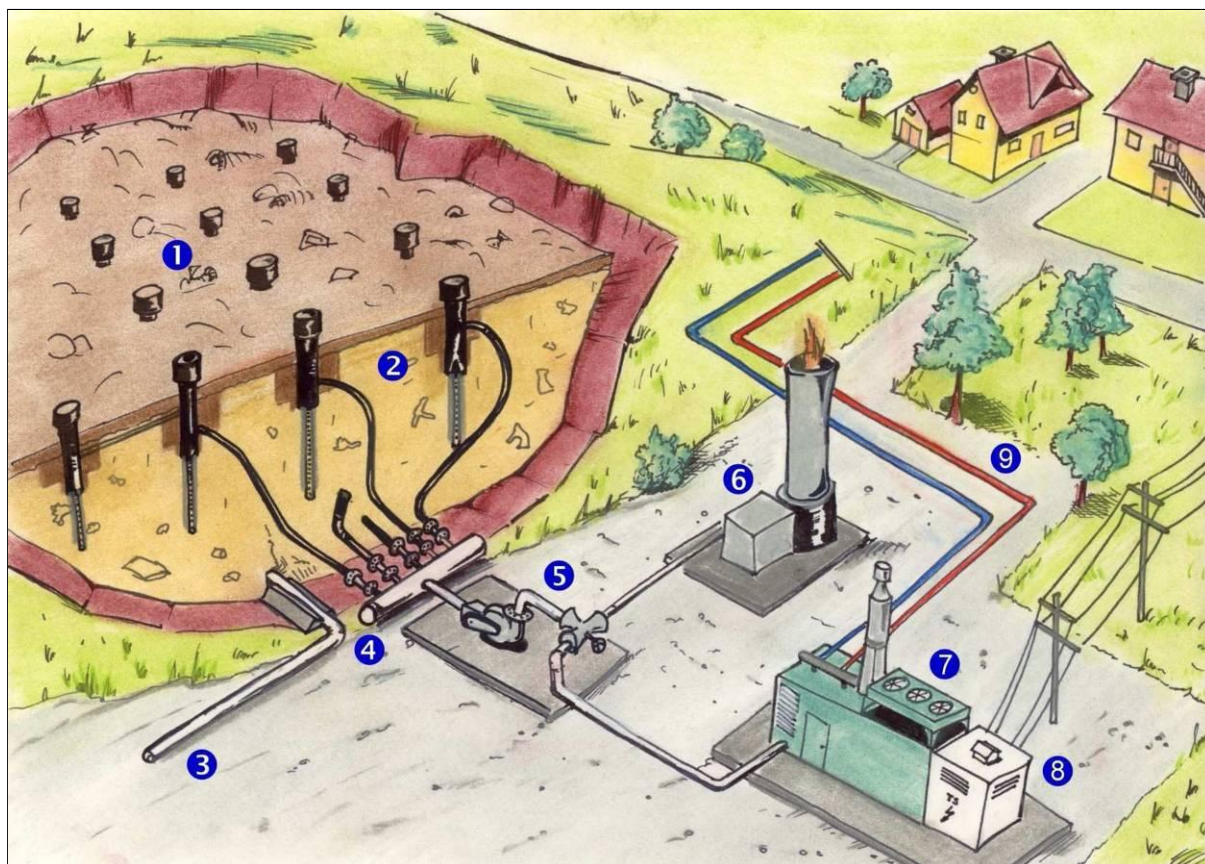
V primeru zadostne količine zajetega odlagališčnega plina je bakla edini učinkovit način za zajem in uničenje plina. Proizvodnja plinov določa obratovalno območje črpalke. Glede na značilnosti proizvajalcev je bakla učinkovit sistem eliminacije metana v kolikor je pretok odlagališčnega plina na bakli vsaj 40 Nm³/h in ta vsebuje najmanj 30% metana. V kolikor padejo emisije pod to vrednost je potrebno obravnavati alternativne metode eliminacije metana.

Značilne faze obratovanja sistema za zajem in sežig odlagališčnega plina so naslednje (Rodošek S., 2006):

- Na komandno nadzorni plošči v omarici plinske črpalke z baklo se preko glavnega stikala aktivira naprava in s tem povzroči podtlak v telesu odlagališča.
- V zajetem odlagališčnem plinu se z analizatorjem plina ugotavlja, če so izpolnjeni varni pogoji za obratovanje plinske črpalke z baklo (volumenski deleži $\text{CH}_4 > 30\%$ in $\text{O}_2 < 6\%$). V kolikor so pogoji izpolnjeni, se zagon nadaljuje in ko nadtlak doseže 140 mbar, vzmetni membranski ventil odpre dovod plina do bakle. Slednja izvede predregulacijo količine zraka za zgorevanje, samodejni vžig plina in zgorevanje na bakli.
- V primeru, da plamen ugasne ali pa je temperatura izgorevanja neustrezna, se samodejni vklop bakle prekine.
- Po zagonu bakla obratuje samonadzorovano in avtomatizirano. Zgorevanje odlagališčnega plina je optimalno in prilagojeno trenutni vsebnosti CH_4 in O_2 ; temperatura plamena je vedno med $1000\text{ }^\circ\text{C}$ in $1200\text{ }^\circ\text{C}$.

Razvoj vse večjih odlagališč glede na operativni program, ki opredeljuje razvoj regijskih središč (Operativni program, 2007), zagotavlja gospodarsko skalo in ekonomske kriterije uporabnosti odlagališčnega plina. Glede na kurilno vrednost metana je možno kurilno vrednost odlagališčnega plina oz. metana, ki znaša $4,5\text{ kWh/Nm}^3$ (en kubični meter odlagališčnega plina privarčuje približno pol kubičnega metra zemeljskega plina) uporabljati na agregatih za proizvodnjo električne in/ali toplotne energije oziroma motor generatorskih enotah. Glede na dejstvo, da je količina zajetega odlagališčnega plina podana v velikem tolerančnem območju, se izbira ustreznega agregata izvede kasneje ob stabiliziranju sistema zajema odlagališčnega plina.

Za energetsko izrabo je glede na razpoložljivo odstopanje od nazivne moči vgrajenega agregata bolj ugodna enakomerna količina nastalega odlagališčnega plina. Shematski prikaz zajema in izrabe odlagališčnega plina je podan na sliki 6.



Slika 6: Primer zajema in energetske izrabe odlagališčnega plina (Spillmann, 2007)

- Legenda:
- 1 – Odlagališčno telo
 - 2 – Plinske sonde
 - 3 – Odvod izcednih vod
 - 4 – Plinski zbiralnik
 - 5 – Plinska črpalka
 - 6 – Visokotemperaturna bakla
 - 7 – Motor - generatorska kontejnerska enota
 - 8 – Transformatorska postaja
 - 9 – Koriščenje odpadne toplote

4.3 Biofilter

Za mala in slabo tesnjena odlagališča je značilno, da proizvajajo majhne količine odlagališčnega plina, ki ga ni mogoče sežigati ali kako drugače izrabiti. Če ga ni mogoče pretvarjati v energijo ali vsaj sežigati, ga je smiselno eliminirati s katero od alternativnih metod. Možnost uporabe alternativnih metod se pojavi, ko pretok odlagališčnega plina pade pod $40 \text{ Nm}^3/\text{h}$ oz pretok metana pod $12 \text{ Nm}^3/\text{h}$. Pri teh vrednostih tudi najmanjše visokotemperaturne bakle ne zagotavljajo več učinkovite eliminacije odlagališčnih plinov. Ena od uveljavljenih alternativnih metod v evropskih državah je razgradnja metana s pomočjo biooksidacije v biofiltrih, katere princip temelji na v naravi dobro poznanih procesih. Ti potekajo povsod tam, kjer se skupaj pojavljata metan in CO_2 , na primer v zgornjih slojih močvirij.

Proces razgradnje metana s pomočjo metanotrofnih bakterij poteka po naslednji stehiometrični formuli:



Ta proces lahko izkoristimo pri zgoraj navedenih starih, netesnjenih odlagališčih, kjer s tehničnimi prijemi ustvarimo umetne pogoje za oksidacijo metana in sicer s pravilno izbranim prekrivnim slojem, ki služi kot filter nad odloženimi biorazgradljivimi odpadki.

4.3.1 Parametri ki definirajo delovanje biofiltra

4.3.1.1 Razmerja materiala v biofiltru

Potrebno je doseči takšno razmerje materialov, da ustvarimo optimalne oksidacijske razmere na kratki in dolgi rok. Pri tem je potrebno paziti, da zaradi nastajanja eksopolimetričnih substanc (v nadaljevanju EPS) ne prihaja do mašenja biofiltra. EPS so substance, sestavljene večinoma iz polisaharidov, njihov natančen izvor pa ni pojasnjen. Verjetno se pojavljajo, da se prepreči formacija formaldehidov v primeru pomanjkanja hranil (Linton et al, 1986, cit. po Kiely, G., 1998). Mehanizem, ki vodi k nastanku EPS ni povsem razjasnjen in zato mora biti

biofiltrski material takšen, da omogoča zadosten pretok tudi po obširnem tvorjenju EPS. Temeljne zahteve pri izbiri biofiltrskega materiala so (Streese, 2003):

- material mora ustvarjati primerne pogoje za življenje metanotrofnih mikroorganizmov
- material mora ustvarjati veliko površino, kar pomeni, da mora biti dobre zrnivosti
- mašenje zaradi EPS mora biti kar se da zreducirano
- material, ki te zahteve izpolnjuje, je sestavljen iz (Dever et al., 2007):
 - a) komposta, ki zagotavlja okolje, primerno za življenje mikroorganizmov,
 - b) šote s sposobnostjo uskladičenja vode in
 - c) lesnih sekancev, ki zagotavljajo zadostno poroznost za dotok kisika in preprečujejo mašenje.

Za izpolnitev teh zahtev tako prihaja do različnih kombinacij mešanja zgoraj naštetih materialov. Najbolj pogoste kombinacije, ki s testi potrjujejo sposobnost biooksidacije so (Dammann, 1997, cit. po Kiely, G., 1998):

- a) kompost (1/3 vol/vol), šota (1/3 vol/vol), lesni sekanci (1/3 vol/vol)
- b) kompost (2/3 vol/vol) in lesni sekanci (1/3 vol/vol)
- c) kompost (15 cm) z vmesnimi razplinjevalnimi plastmi lesnih sekancev (3 cm)

4.3.1.2 Vlaga

Eksotermni procesi degradacije metana povzročijo dvig temperature filtrskega materiala na 50 °C ali več. Ta temperatura suši filtrski material, česar ne moremo kompenzirati z vlaženjem odlagališčnega plina. Potrebno je poskrbeti za sistem vlaženja, najboljše avtomatiziranega, ki s tenziometričnim merjenjem uravnava količino dodatne vode. Rezultati laboratorijskih testov navajajo naslednje optimalne lastnosti biofiltrskega materiala (Mor, 2006):

- optimalna vsebnost vlage je med 45-85%
- vsebnost organskih snovi je ključni faktor pri določanju optimalne vlage, večja kot je, večja je priporočljiva vsebnost vode (kompost, ki vsebuje okoli 30% organske snovi (v nadaljevanju OS) ima optimalno vlažnost med 45-85%, medtem ko komposti z

vsebnostjo OS okoli 50% dosegajo najboljše rezultate pri vsebnosti vlage >110%). Hkrati imajo komposti z visoko vsebnostjo OS dolgoročno boljše rezultate in večje oksidacijske vrednosti.

4.3.1.3 Temperatura

Z nihanjem temperature se v biofiltrski mešanici spreminja sestava mikroorganizmov. Metanotrofne bakterije se pojavljajo v dveh oblikah, vsaka s svojo optimalno temperaturo, ki je okoli 20 ali 35 °C. Rezultati laboratorijskih testov kažejo (Mor, 2006):

- Če kompost izkazuje nizko vsebnost OS, ima optimalno temperaturo okoli 20°C, komposti z visoko vsebnostjo OS pa imajo optimalno temperaturo okoli 35°C. Te vrednosti sovpadajo s pojavnostjo metanotrofnih bakterij in njihovih optimalnih temperatur.
- Priporočljivo je, da temperatura ne pade pod 20°C. (Streese, 2001)

Cenovna primerjava investicijskih in obratovalnih stroškov pokaže, da je biofilter, ki obratuje pri optimalni temperaturi (30 °C), cenejši kot tisti, ki obratuje pri prenizki temperaturi (20 °C). Poleg tega, da je potrebna prostornina biofiltra manjša, se z optimalno temperaturo izognemo potrebi po menjavi biofiltrskega materiala. V primerjavi s tem prihrankom je strošek za dodatno električno energijo in porabo vode manjši (Streese, 2005).

4.3.1.4 Lastnosti komposta

Kompost mora primerne značilnosti izkazovati z naslednjimi lastnostmi:

- respiratorni indeks $AT_4 < 8 \text{ mg O}_2/\text{g s}$. To je pokazatelj biološke aktivnosti organskih snovi, ki pokaže koliko kisika porabijo mikroorganizmi v štirih dneh pri razgradnji (dekompoziciji) nekega vzorca - npr. komposta (Adani, 2004);
- dušik sme biti prisoten le v stabilni obliki. V naravi se pojavlja dušikov cikel in znotraj cikla se zaradi oksidacijsko - redukcijskih procesov pojavljajo oblike, ki niso stabilne. Takšna oblika je npr. nitrit;

- celotni (celokupni) organski ogljik (TOC) mora biti nad 8%,
- razmerje ogljik:dušik (C:N) \approx 15:1,
- koncentracija amonijevega dušika NH_4^+ -N ne sme presegati 350 mg/kg s.s.(Huber-Humer, 2008),
- pH vrednosti morajo biti nevtralne ali rahlo kisle (Bender, 1995, cit. po Kiely, G., 1998).

4.3.1.5 Učinkovitost biofiltra

Učinkovitost eliminacije je odvisna od več zgoraj opisanih parametrov. V kolikor so izpolnjene zahteve za optimalno delovanje, je možno doseči 95 % degradacije metana (Stresse, 2001, cit. po Kiely, G., 1998).

4.3.2 Dimenzioniranje biofiltra

Pri dimenzioniranju biofiltra navajamo dve možnosti izračuna:

Potrebno prostornino lahko izračunamo na podlagi poznavanja kinetike in empirično določenih koeficientov. Potrebno prostornino biofiltra lahko dobimo s spodnjo izpeljavo (Streese, 2005):

Biofilter lahko obravnavamo kot fiksirani reaktor. Njegovo celotno delovanje lahko izračunamo z enačbo 3:

$$r = (c_{in} - c_{out}) \frac{V}{V} \quad (3)$$

r - hitrost poteka reakcije [$\text{mg}/\text{m}^3\text{h}$]

V - pretok odlagališčnega plina [m^3]

V - prostornina biofiltra [m^3]

c_{in} - vhodna koncentracija [g/m^3]

c_{out} - izhodna koncentracija [g/m^3]

Enačbo lahko izrazimo tudi v odvisnosti od stopnje reakcije s pojmom, ki označuje srednjo koncentracijo, in enim ali več koeficientov. Stopnja reakcije je odvisna od vrste aplikacije. Za veliko mikrobioloških procesov stopnja reakcije variira od '1' pri nizkih koncentracijah do '0' pri višjih koncentracijah, kar lahko razložimo z enačbo 4:

$$r = \frac{k_1 c_m}{1 + k_2 c_m} \quad (4)$$

c_m - srednja koncentracija [mg/m^3]

$$c_m = \frac{c_{in} - c_{out}}{\ln \frac{c_{in}}{c_{out}}}$$

k_1 - koeficient 1 [h^{-1}]

k_2 - koeficient 2 [m^3/mg]

Stopnjo reakcije moramo izdelati iterativno s primerjavo eksperimentalnih rezultatov in pričakovanimi izsledki. Tako lahko koeficiente 1 in 2 določimo grafično ali numerično. S primerjavo enačb 1 in 2 in uporabo koeficientov, ki jih dobimo z eksperimenti, lahko potrebno prostornino biofiltra za določen primer določimo z enačbo 5;

$$V = \frac{\ln \left(\frac{c_{in}}{c_{out}} \right) + k_2 (c_{in} - c_{out})}{k_1} V \quad (5)$$

Eksperimentalni poskusi dajo naslednje rezultate pri določevanju koeficientov 1 in 2. Ti koeficienti opisujejo učinkovitost biofiltra neodvisno od njegove prostornine, pretoka odlagališčnega plina in koncentracije (Preglednica 2):

Preglednica 2: Kinetični koeficienti degradacije metana

Temperaturno območje	$k_1[h^{-1}]$	$k_2[m^3/g]$
23,7 – 25,5	8,7	0,53
26,0 – 28,0	10	0,44
28,0 - 29,7	16	0,54

Potrebno površino biofiltra lahko izračunamo s pomočjo empiričnega koeficienta, ki deklarira maksimalno obremenitev biofiltra, sestavljenega iz mešanice komposta in lesnih sekancev z volumenskim pretokom metana na enoto površine na dan.. Podoben koeficient najdemo v več različnih literaturah oz. lahko le te koeficiente prevedemo na skupni imenovalec. Preglednica 3 navaja različne vrednosti koeficienta stopnje odstranjevanja metana.

Preglednica 3: Maksimalna obremenitev biofiltra

Obremenitev biofiltra	$m^3CH_4/(m^2*dan)$	Avtor
	0,40	Scharff, 2001
	0,25	Haubrichs, 2006
	2,69*	Gebert 2006

Koeficienta, ki ga navaja Gebert v kasnejših izračunih nismo upoštevali, saj je bil koeficient izračunan na primeru aeriranega biofiltra. Pri tem biofiltru odlagališčni plin razredčimo z zunanjim zrakom in je tako procentualna vsebnost metana toliko manjša. Prav tako je bila časovna skala opravljenega eksperimenta prekratka. Pri izračunu, ki ga navaja Haubrichs (2006) so bile izhodne vrednosti metana nične, temu pripisujemo tudi tako nizko vrednost koeficienta.

Pri kasnejšem računu si bomo pomagali s pogojem, ki ga podaja Scharff (2001). Odločitev argumentiramo z okoliščinami, ki jih avtor opisuje v članku (mešanica kompost – lesni sekanci, časovna skala poizkusa je bila 250 dni...), saj so le te najbolj istovetne našemu primeru.

Pri računanju potrebne površine in prostornine biofiltra moramo upoštevati prostorske omejitve (npr. plinjaki so že uvrtni, nezmožnost prestavitve internih cest...) in željo

investitorja, ki si ne želi nerealnih investicijskih stroškov (z večanjem površine/prostornine se stroški linearno povečujejo).

5 UREDITEV ODPLINJEVANJA NA ODLAGALIŠČU VOLČE

Odlagališče komunalnih odpadkov Volče leži približno 400 m SV od naselja Volče v opuščeni gramoznici in v neposredni bližini reguliranega potoka Hotavlja. Pregledna situacija odlagališča z bližnjo okolico je prikazana v prilogi (grafika A.1). Na odlagališču je bila v oktobru 1994 izvedena prva sanacija, ki je poleg širitve vključevala tudi sanacijo obstoječega stanja. Stari del so v celoti pokrili in zatesnili, izvedli so tudi vertikalno odplinjevanje. Katastrska situacija, ki prikazuje mejo med zaključenimi (stari del) in aktivnimi površinami ter končno stanje z zaključenimi in aktivnimi površinami, je prikazano v prilogi A.3. Novo odlagalno polje so izvedli z večplastnim tesnjenjem, z zajemom izcednih vod, zajemom in odvodnjo zalednih vod, odplinjevanjem v ozračje in s sodobno tehnologijo vgrajevanja odpadkov. Izvaja se tudi nadzor nad vplivi na okolje. Izcedne vode se zbirajo v bazenu, od koder se črpajo na čistilno napravo (v nadaljevanju ČN) v okviru odlagališča. Odplinjevanje na neaktivnem delu odlagališča se izvaja s petimi plinjaki.

Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih (UL RS 32/06, 98/07) v 41. členu opredeljuje:

- Če se zajetih odlagališčnih plinov ne more uporabiti za pridobivanje energije, jih je treba sežigati na območju odlagališča ali preprečiti njihovo emisijo v zrak z uporabo drugih postopkov, ki so enakovredni sežiganju plinov.

Na odlagališču je potrebno urediti povezavo plinjakov in poskrbeti za razgradnjo odlagališčnih plinov. Tako je namen naloge najprej ugotoviti, kolikšne količine plinov lahko pričakujemo iz zaključenega dela odlagališča in kolikšne iz trenutno aktivnega, nato pa načrtovati ustrezen način eliminacije plinov.

Geodetsko podlago, ki je bila osnova za izris višinskega poteka točk za vzdolžne in prečne profile, je decembra 2007 posredovala Komunala Tolmin. Geodetski posnetek je prikazan v prilogi A.2.

Izvedli smo računsko napoved nastajanja odlagališčnih plinov na starem in novem delu odlagališča in analizirali rezultatom primerne možnosti razgradnje odlagališčnih plinov v času obratovanja in po zapiranju odlagališča.

5.1 Povzetek v programu prilagoditve načrtovanih in že izvedenih sanacijskih ukrepov na zaključenih površinah

5.1.1 Brežine

Odlagališčno telo je oblikovano tako, da je naklon bokov 1:1,5 in z bermami na vsakih 5 višinskih metrov, tako da se doseže povprečni nagib 1:3. Dno in boki so oblikovani v obliki kadunje in zatesnjeni s kombiniranim tesnilom PEHD folije (PEHD – polietilen visoke gostote, v nadaljevanju PEHD), položene na mineralno tesnilo. Na sliki 7 je prikazano sprotno grajenje brežine aktivnega polja.



Slika 7: Prikaz sprotne izgradnje brežine aktivnega polja odlagališča

5.1.2 Pokrov odlagališča

Na odlagališču komunalnih odpadkov Volče je prekrito staro polje odlagališča in zapolnjena prva faza novega polja odlagališča. Površine zapolnjenih delov so urejene v skladu z 38. čl. Uredbe o odlaganju odpadkov na odlagališčih (UL RS 32/06 in 98/07). Zapolnjeni deli odlagališča so tesnjeni (od odpadkov navzgor):

- izravnalni sloj gramoznega nasipa debeline 45 cm, ki služi tudi kot drenaža odlagališčnega plina,
- geotekstil gostote 400 gr/m²,
- dva sloja mineralnega tesnila (gline) debeline 2 x 25 cm do dosežene gostote 105 % Proctorja,
- drenažni sloj iz prodca zrnivosti 16/32 mm debeline 30 cm z odtokom v obrobno drenažo,
- geotekstil gostote 400 gr/m² ter
- rekultivacijski sloj zemljine debeline 75 cm.

5.1.3 Dno odlagališča zaključenih in aktivnih površin

Dno je tesnjeno v naslednjem sestavu (od podloge proti odlagališčnemu telesu):

- geološka podlaga naravno vodoneprepustnega terena, načrtovana in komprimirana do nosilnosti $E_2=50$ MPa,
- trije sloji mineralnega tesnila (gline) debeline 3 x 25 cm do dosežene gostote 105 % Proctorja in dosežene vodoneprepustnosti $k_5 < 2 \times 10^{-9}$ m/s,
- PEHD folija debeline 2,5 mm z varjenimi stiki,
- geotekstil gostote 500 gr/m², armirani,
- filtrski nasip prodca zrnivosti 16/32 mm debeline 60 cm z obsipom ob ceveh v debelini 2 Φ 300 mm,
- geotekstil gostote 400 gr/m² in
- sloj odpadkov.

5.1.4 Razplinjevanje odlagališča

Odplinjevanje obstoječega telesa odlagališča je bilo načrtovano in izvedeno z uvrtnjem petih plinjakov v rastru 50 m x 35 m po sistemu Benotto, nato pa so v sredo vrtine vstavili perforirane cevi PEHD, premera 110 mm. Te so zasuli s filtrnim materialom premera zrn

32/64 mm. Zaključke plinjakov so izvedli s polnimi cevmi. Načrtovano je bilo odsesavanje plinov in njihov sežig na bakli.

Uvrtani plinjaki trenutno odvajajo pline iz osrčja telesa odlagališča na prosto s pomočjo enostavnega sistema prezračevanja. S tem je eliminirana nevarnost eksplozije ali požara zaradi nenadzorovanih koncentracij plinov v tako imenovanih »žepih«, ki nastajajo pri vgrajevanju odpadkov. Ni pa izpolnjena zahteva po zmanjšanju emisij toplogrednih plinov in emisij vonjav v ozračje.

Po zaprtju dela odlagališča so v telo odlagališča uvtali plinjake tako, kot je prikazano na sliki 8 in 9.



Slika 8: Situacijski prikaz obstoječih uvtanih vertikalnih plinjakov.



Slika 9: Začasni izpust obstoječega plinjaka.

6 IZRAČUN EMISIJ

6.1 Opis modelnega izračuna

Modelni izračun emisije metana smo izvedli na podlagi poznavanja kemijske kinetike razgradnje organskih snovi v odpadkih. Razgradnja odpadkov poteka z integrirano reakcijo za določeno časovno obdobje in jo opišemo z naslednjo enačbo (Alexander, 2005):

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k L_o \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-k t_{ij}} \quad (6)$$

Kjer je:

Q_{CH_4} - celotna emisija metana iz odlagališča v letu izračuna [m^3/a]

i - 1 letni časovni prirastek

n - leto kalkulacije – začetno leto sprejema odpadkov

j - časovni prirastek 0,1 leta

k - stopnja generacije metana [a^{-1}]

L_o - potencial generacije metana [m^3/t]

M_i - masa vlažnih odpadkov, odloženih v i -tem letu [t]

t_{ij} - starost sektorja j , mase odpadkov odložene v i -tem letu (leta decimalno natančno, npr 3,2 leta)

6.2 Rezultati izračunov

6.2.1 Vhodni podatki

Podatke o količini odpadkov smo pridobili z osebno komunikacijo v obliki elektronskih sporočil med 1.12.2007 in 11.12.2007 (Rutar, 2007). Količina odpadkov je do leta 2002 ocenjena, saj se niso tehtali. Količine odpadkov za obdobje od leta 1982 do 2001 so bile ocenjene na podlagi odloženih odpadkov v letu 2002. Dovoljeno je odlaganje odpadkov, ki po klasifikacijskih številkah spadajo v skupino 20 (Komunalni odpadki in njim podobni odpadki iz industrije, obrti in storitvenih dejavnosti, vključno z ločeno zbranimi frakcijami). Po poslovniku za obratovanje odlagališča je dovoljeno tudi odlaganje nekaterih vrst odpadkov iz skupine 12 (Opadki iz mehanskih postopkov obdelovanja in površinske obdelave kovin in plastike) in 19 (Opadki iz naprav za obdelavo odpadkov, naprav za čiščenje odpadne vode in objektov vodooskrbe) (UL. RS, št 84/98). V preglednicah 4 in 5 so prikazane letne količine in parametri, ki smo jih upoštevali v modelnem izračunu.

Preglednica 4: Količina odpadkov na zaključenih površinah

ZNAČILNOSTI ODLAGALIŠČA		KOLIČINA ODPADKOV	
Leto odprtja odlagališča	1982	Leto	(t/leto)
Leto zaprtja odlagališča	1998	1982	5350
		1983	5350
		1984	5350
		1985	5350
		1986	5350
		1987	5350
		1988	5350
		1989	5350
		1990	5350
		1991	5350
		1992	5350
		1993	5350
		1994	7000
		1995	7000
		1996	7000
		1997	7000
		1998	7000

PARAMETERI			
Stopnja generacije metana, k	0,05 leto ⁻¹		
Potencial generacije metana, L ₀	170 m ³ /t		
Delež metana	50 % volumna		

Preglednica 5: Količina odpadkov na aktivnih površinah

ZNAČILNOSTI ODLAGALIŠČA		KOLIČINA ODPADKOV	
Leto odprtja odlagališča	1998	Leto	(t/leto)
Leto zaprtja odlagališča	2013	1998	7.000
		1999	7.000
		2000	7.100
		2001	4.350
		2002	5.480
		2003	6.100
PARAMETERI		2004	6.770
Stopnja generacije metana, k	0,05 leto ⁻¹	2005	6.800
Potencial generacije metana, L ₀	170 m ³ /t	2006	7.400
Delež metana	50 % volumna	2007	7.900
		2008	8.300
		2009	8.300
		2010	8.300
		2011	8.300
		2012	8.300
		2013	8.300
		2014	0

6.2.2 Izračun emisij

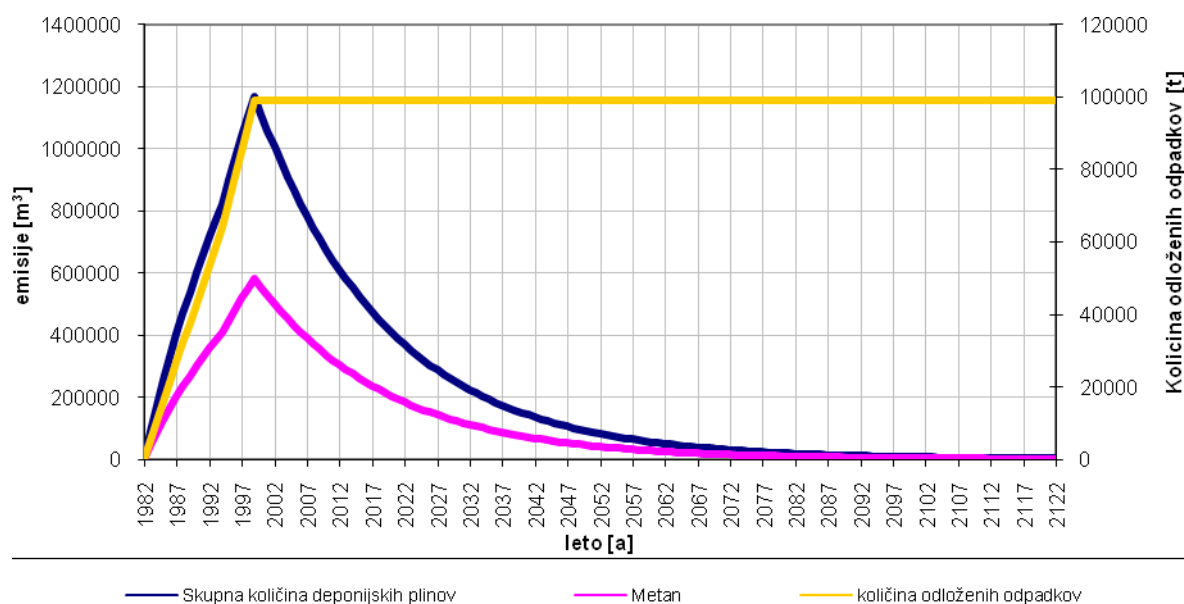
Zaradi pomanjkljivih podatkov meritve odlagališčnih plinov navedenih v letnem poročilu o obratovalnem monitoringu emisije snovi v zrak iz nepremičnih virov onesnaževanja za leto 2003, 2004 in 2005, ki ga izvaja upravljalec odlagališča, smo si pri izračunu količine odlagališčnih plinov pomagali s 'freeware' programom LandGem (Landfill Gas Emissions Model), različico 3.02, ki je dosegljiva na internetnih straneh ameriške okoljevarstvene agencije EPA (United States Environmental Protection Agency - EPA,2008). LandGem deluje v okolju Microsoft Excel in uporabniku omogoča izračun celotnega odlagališčnega plina, metana, ogljikovega dioksida in individualnih onesnaževalcev iz odlagališč mešanih komunalnih odpadkov. Ker nimamo izmerjenih vrednosti, smo parametre, navedene v preglednici, ki prikazuje vhodne podatke, za izračun povzeli na podlagi empirično pridobljenih priporočljivih vrednosti, ki jih podaja sam program. Pri izračunu smo upoštevali naslednje predpostavke:

- domače in tuje izkušnje zajemanja plinov na odlagališčih kažejo, da je pri odlagališčih, ki so tesnjena v dnu, na bokih ter na pokrovu, mogoče zajeti le 60% odlagališčnih plinov

- vsebnost metana v odlagališčnem plinu je približno 50%

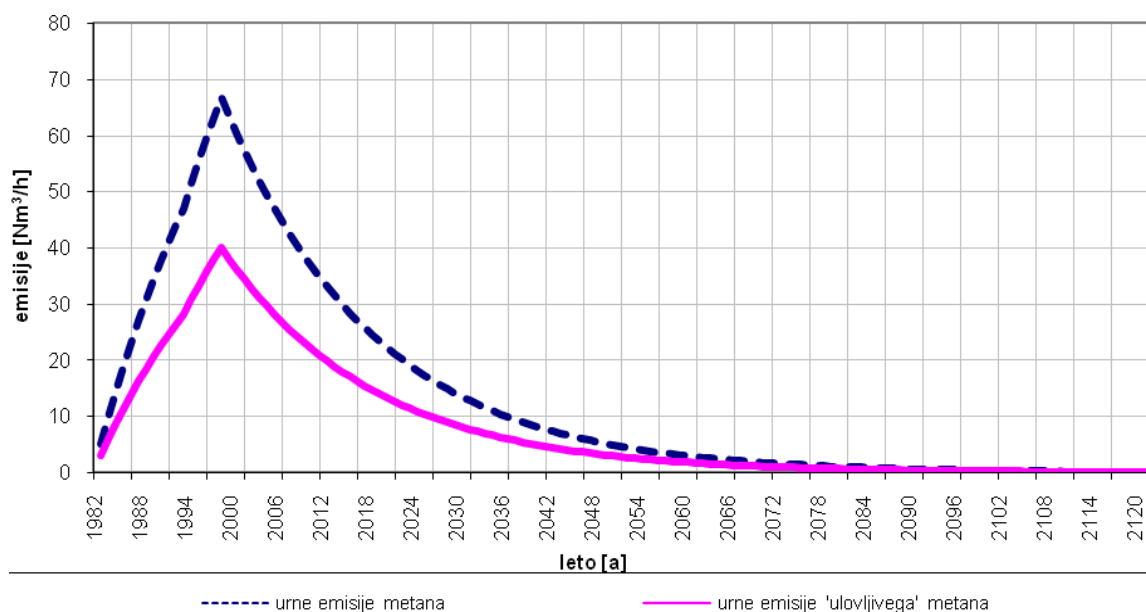
6.2.2.1 Zaključene površine

Izračun skupne količine odloženih odpadkov [t], skupne količine odlagališčnih plinov [m^3] in skupne količine metana [m^3] je prikazan v Grafikonu 1.



Grafikon 1: Diagram letnih emisij metana – zaključene površine

Za potrebe izračuna potrebne površine in prostornine biofiltra oz potrebne kapacitete bakle smo v diagramu podali urne emisije metana in ob upoštevanju druge alineje točke 6.2.2 urne emisije ulovljivega metana v grafikonu 2.

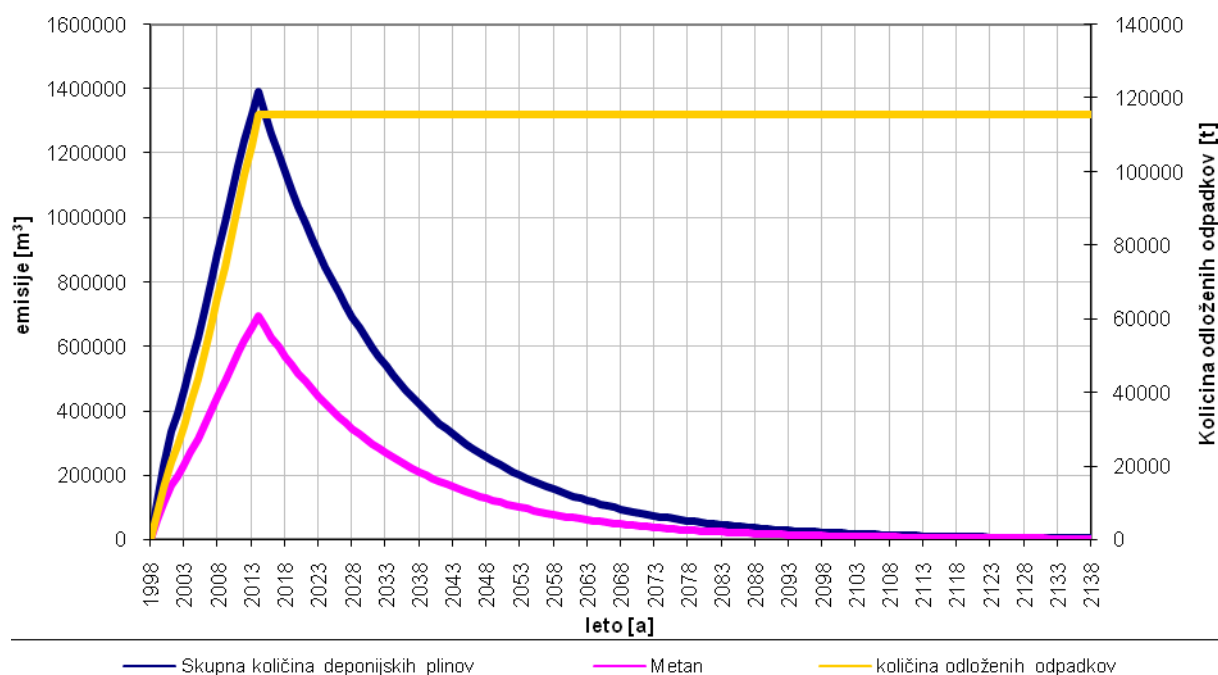


Grafikon 2: Diagram urnih emisij metana – zaključene površine

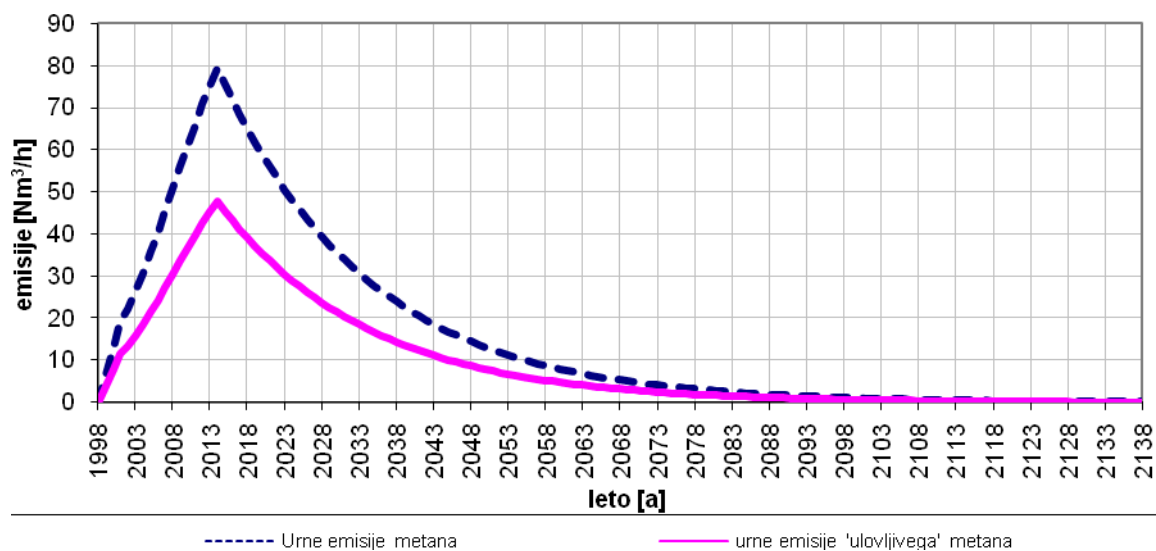
Iz naslednjih diagramov je razvidno, da je maksimalna proizvodnja plinov na zaključenih površinah odlagališča že mimo. Na vrhuncu je bila leta 1999, ko je znašala $66,7 \text{ m}^3/\text{h}$, danes pa je krivulja generacije plinov že v upadanju.

6.2.2.2 Aktivne površine

Ker bo dejanski čas zaprtja aktivnega odlagališča leto 2013, so podatki o količinah odloženih odpadkov rezultat predvidevanj. Izračun skupne količine odloženih odpadkov [t], skupne količine odlagališčnih plinov [m^3] in skupne količine metana [m^3], je prikazan v grafikonu 3, urne emisije, potrebne za izračun značilnosti bakle oz biofiltra, pa v grafikonu 4.



Grafikon 3: Diagram letnih emisij metana – aktivne površine



Grafikon 4: Diagram urnih emisij metana – aktivne površine

7 MOŽNE TEHNOLOGIJE ELIMINACIJE METANA

Kot smo prikazali v opisu sistema delovanja bakle in biofiltra, ima vsak sistem s svojimi značilnostmi optimalno območje delovanja. Tako dajejo rezultati izračunov tri možnosti eliminacije metana:

- biofilter za zaključene in aktivne površine,
- sežig plinov zaključene in aktivne površine na bakli in
- biofilter za pline zaključene površine in sežig plinov iz aktivne površine na bakli.

7.1 Zasnova nadomestnega sistema za eliminacijo plinov z biofiltrom na zaključenih in aktivnih površinah

7.1.1 Sestava zaključenih prekrivnih slojev površine

Prekrivanje površine odlagališča smo razmejili na prekrivanje brežin in na prekrivne sloje pokrova odlagališča, na katerem se bo uredil sistem za zajem in biooksidacijo plinov.

Izvedba zaključnih plasti je naslednja:

Zaključni sloj odloženih odpadkov je od sredine proti robovom površine oblikovan stožčasto v 4%-ih padcih. Sledi izravnalna plast gramoznega materiala, ki sočasno služi kot plinska drenaža. Nad njo se v dveh plasteh oblikujeta sloja mineralnega tesnila (gline), ki se ju za zmanjšanje poroznosti in s tem prepustnosti zgosti. Sposobnost zgoščevanja je pri določeni energiji odvisna od vlažnosti zemljine. Proctorjev preizkus je namenjen določitvi optimalne vlažnosti, ki mora biti 98% maksimalne suhe prostorninske teže. Sledi izvedba drenažnega sloja iz prodca zrnivosti 16/32 mm z odtokom v obrobno drenažo, debeline 30 cm, ločevalni geotekstil gostote 400 gr/m³ in vrhnji rekultivacijski sloj debeline 75 cm, primerne sestave za hitro zatravitev.

7.1.2 Dimenzioniranje biofiltra za oksidacijo metana – zaključene površine

Potrebno površino oz prostornino biofiltra smo izračunali s pomočjo dveh empiričnih formul iz točke 4.3.2. Pri tem smo upoštevali končno stanje odlagališča, predvsem lokacijo plinjakov, ki je prikazana na sliki 8. Preglednici 6 in 7 prikazujeta izračun konstrukcije biofiltra. Kot relevantni izračun smo izbrali izračun, ki podaja strožje pogoje, to je večjo površino biofiltra.

Preglednica 6: Dimenzioniranje biofiltra . zaključene površine – izračun 1

dimenzioniranje biofiltra:		
povprečna letna količina odlagališčnega plina	230.000,00	m ³ /leto
povprečna urna količina odlagališčnega plina:	26,26	m ³ /uro
delež metana:	50,00	%
emisija metana - urna:	13,13	m ³ /uro
emisija metana - dnevna:	315,07	m ³ CH ₄ /dan
emisija metana - ulovljiva - dnevna:	189,04	m ³ CH ₄ /dan
obremenitev biofiltra:	0,40	m ³ CH ₄ /(m ² *dan)
potrebna biooksidacijska površina:	472,60	m²
konstrukcija biofiltra:		
dolžina	34,00	m
širina	14,00	m
višina kompostne mešanice	1,50	m
biooksidacijska površina	476,00	
prostornina kompostne mešanice	714,00	m ³

Preglednica 7: Dimenzioniranje biofiltra . zaključene površine – izračun 2

dimenzioniranje biofiltra:		
povprečna letna količina odlagališčnega plina	230.000,00	m ³ /leto
povprečna urna količina odlagališčnega plina:	26,26	m ³ /uro
delež metana:	50,00	%
vhodna koncentracija CH ₄	360,00	gCH ₄ /m ³
zahtevana učinkovitost biofiltra	95,00	%
izhodna koncentracija CH ₄	18,00	gCH ₄ /m ³
kinetični koeficienti (24 °C)		
k ₁ *	8,70	h ⁻¹
k ₂ *	0,53	m ³ /h
potrebna prostornina biofiltra	556,06	m³
višine kompostne mešanice**	1,50	m
potrebna biooksidacijska površina	463,39	m ²
konstrukcija biofiltra:		
dolžina	34,00	m
širina	14,00	m
višina kompostne mešanice	1,50	m
biooksidacijska površina	476,00	
prostornina kompostne mešanice	714,00	m ³

*kinetične koeficiente smo izbrali na podlagi povprečnih temperatur na letni ravni

**upoštevamo, da glede na vremenske značilnosti Tolminskega področja pri biooksidaciji aktivno sodeluje le 1,2 m višine kompostne mešanice

7.1.3 Dimenzioniranje biofiltra za oksidacijo metana – aktivne površine

Preglednici 8 in 9 prikazujeta izračun konstrukcije biofiltra za aktivne površine.

Preglednica 8: Dimenzioniranje biofiltra . aktivne površine – izračun 1

dimenzioniranje biofiltra:		
povprečna letna količina odlagališčnega plina	380.000,00	m ³ /leto
povprečna urna količina odlagališčnega plina:	43,38	m ³ /uro
delež metana:	50,00	%
emisija metana - urna:	21,69	m ³ /uro
emisija metana - dnevna:	520,55	m ³ CH ₄ /dan
emisija metana - ulovljiva - dnevna:	312,33	m ³ CH ₄ /dan
obremenitev biofiltra:	0,40	m ³ CH ₄ /(m ² *dan)
potrebna biooksidacijska površina:	780,82	m ²
konstrukcija biofiltra:		
dolžina	49,00	m
širina	16,00	m
višina kompostne mešanice	1,50	m
biooksidacijska površina	784,00	
prostornina kompostne mešanice	1.176,00	m ³

Preglednica 9: Dimenzioniranje biofiltra . aktivne površine – izračun 2

dimenzioniranje biofiltra:		
povprečna letna količina odlagališčnega plina	380.000,00	m ³ /leto
povprečna urna količina odlagališčnega plina:	43,38	m ³ /uro
delež metana:	50,00	%
vhodna koncentracija CH ₄	360,00	gCH ₄ /m ³
zahtevana učinkovitost biofiltra	95,00	%
izhodna koncentracija CH ₄	18,00	gCH ₄ /m ³
kinetični koeficienti (24 °C)		
k ₁ *	8,70	h ⁻¹
k ₂ *	0,53	m ³ /h
Potrebna prostornina biofiltra	918,72	m ³
višine kompostne mešanice**	1,50	m
potrebna biooksidacijska površina	765,60	m
konstrukcija biofiltra:		
dolžina	49,00	m
širina	16,00	m
višina kompostne mešanice	1,50	m
biooksidacijska površina	784,00	
prostornina kompostne mešanice	1.176,00	m ³

*kinetične koeficiente smo izbrali na podlagi povprečnih temperatur na letni ravni

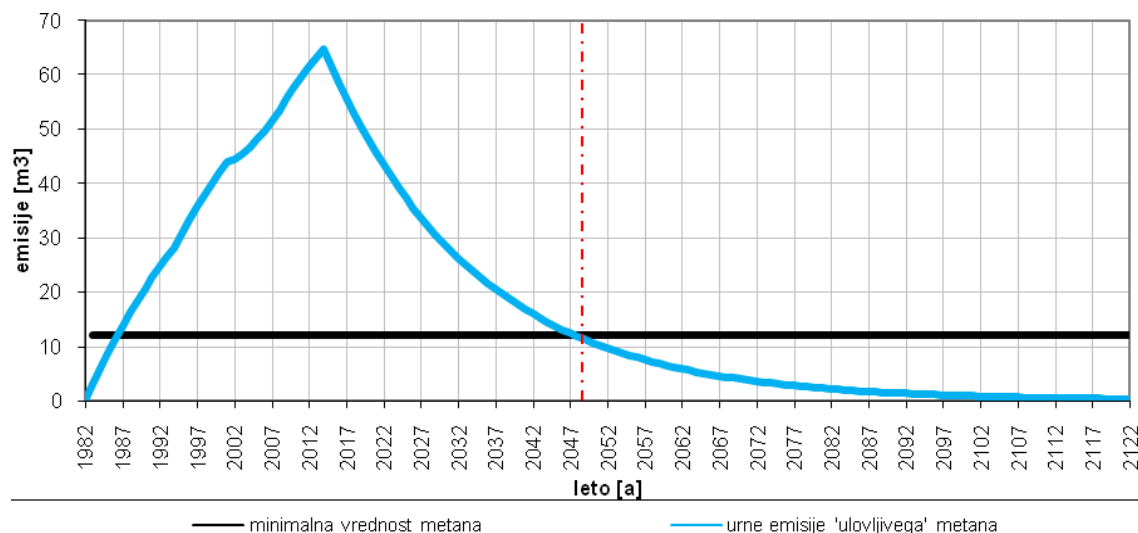
**upoštevamo, da glede na vremenske značilnosti Tolminskega področja pri biooksidaciji aktivno sodeluje le 1,2 m višine kompostne mešanice

Izračun količine plinov v sedaj aktivnem polju kaže, da biofiltra glede na situacijo končnega stanja odlagalnega polja ni možno umestiti v prostor. Izračunane emisije metana, prikazane na grafikonu 8 kažejo, da je produkcija zadostna za postavitev bakle. V nadaljevanju smo izračunali stroške izgradnje drugega biofiltra in jih primerjali s stroški postavitve bakle.

Situacija sistema za eliminacijo plinov z biofiltrom na aktivnih in zaključenih površinah je prikazana na prilogi B.1.

7.2 Zasnova sistema za eliminacijo plinov z baklo na zaključenih in aktivnih površinah

7.2.1 Izračun odlagališčnih plinov



Grafikon 5: Diagram urnih emisij metana – zaključene in aktivne površine

Rezultati prikazani v grafikonu 5 kažejo urne emisije metana za zaključene in aktivne površine in minimalne vrednosti metana za izgorevanje na bakli. Presek krivulj kaže, da bi lahko izgorevanje odlagališčnih plinov na bakli potekalo do leta 2050, kasneje bi bile vrednosti ulovljivega metana tako majhne, da to ne bi bilo več mogoče. Te količine bi se prosto izpuščale v ozračje, kar pa je glede na vse strožjo zakonodajo, ki opredeljuje izpuste TGP vprašljivo. Gradnjo plinjakov na aktivnem odlagalnem polju je možno izvesti postopoma. Že sedaj bi bilo možno uvrstati dva plinjaka (J7 in J8), ki bi stala na že zaključeni brežini. Maksimalna produkcija metana bi bila v letu 2014 in bi se kasneje z leti zmanjševala.

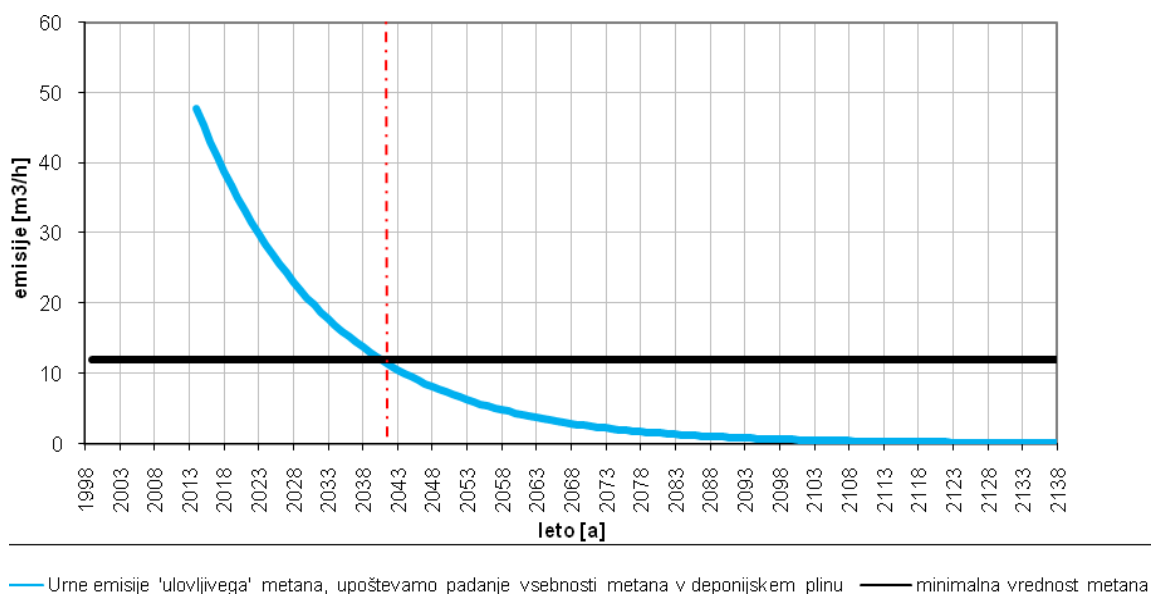
Minimalna vrednost metana je podana na podlagi elektronske poizvedbe pri proizvajalcu, ki navaja vrednost $12 \text{ Nm}^3/\text{h}$ kot minimalno vrednost pretoka metana, pri kateri bakla še obratuje.

Situacija sistema za eliminacijo plinov z baklo na aktivnih in zaključenih površinah je prikazana v prilogi B.2.

7.3 Zasnova sistema za eliminacijo plinov z biofiltrom na zaključenih površinah in z baklo na aktivnih površinah

7.3.1 Biofilter kot alternativa bakli

Kot tretjo varianto smo preučili kombinacijo sistemov odplinjevanja. Za odplinjevanje in eliminacijo plinov iz zaključenega in zaprtega starega polja odlagališča smo uporabili biofilter, za zajem in eliminacijo plinov iz novega sedaj aktivnega polja pa sežig plinov na bakli. Izračun potrebne površine biofiltra, njegove dimenzije in ostale lastnosti so opisane v prvi varianti v točki 6.3.2. Glede na kombinirani sistem eliminacije metana smo v nadaljevanju izračunali le količine odlagališčnega plina, ki jih lahko pričakujemo na aktivnem delu odlagališča. Količine metana so prikazane v grafikonu 6.



Grafikon 6: Diagram urnih emisij metana – aktivne površine

Rezultati meritev kažejo, da je vsebnost metana ob zaprtju odlagališča oz. ob največjem pretoku odlagališčnih plinov okoli 50%. Količina odlagališčnih plinov in prav tako vsebnost metana v njem z leti eksponentno pada in se asimptotično približuje nični vrednosti. Izračun pokaže, da bodo urne vrednosti metana v odlagališčnem plinu največje kmalu po zaprtju odlagališčnega telesa in sicer leta 2014, ko bo urna količina 'ulovljivega' metana $80 \text{ m}^3/\text{h}$. Te vrednosti z leti eksponentno padajo, leta 2040 pa emisije metana padejo pod vrednost 12

Nm³/h, ki je deklarirana kot minimalna vrednost za sežig na bakli. Ker obravnavamo kombiniran sistem eliminacije metana je možna rešitev priključitev na biofilter na starem polju odlagališča.

Situacija sistema za eliminacijo plinov z biofiltrom ne zaključenih površinah in z baklo na aktivnih površinah je prikazana na prilogi B.3.

7.4 Primerjava variant

V poglavjih točke 7.1, 7.2 in 7.3. sta opisana dva možna postopka eliminacije metana in s kombinacijo obeh pa tri različne variante odplinjevanja in eliminacije plinov iz odlagališča komunalnih odpadkov Volče. Pri vsaki od njih smo ocenili prednosti in slabosti.

Da bi lahko izvedli tudi ekonomsko vrednotenje, smo za vsako od njih v grobem izračunali stroške izgradnje. Stroške vzdrževanja smo le primerjalno ocenili na osnovi inženirskih izkušenj. Stroški izgradnje so podani v preglednici 10 z rekapitulacijami posameznih variant.

Preglednica 10: Okvirne ocene stroškov za posamezne variante (vse cene so v €)

	Varianta A biofilter za zaključene in aktivne površine	Varianta B sežig plinov zaključene in aktivne površine	Varianta C biofilter za zaključeno površino in sežig plinov aktivne površine na bakli
1.0 Pripravljalna dela odlagalnega polja	500,00	500,00	500,00
2.0 Izkop prekrivnih slojev pokrova obstoječega odlagališča	5.415,00		2.515,00
3.0 Izvedba plinjakov	21.950,00	21.950,00	21.950,00
4.0 Izvedba zaključka plinjakov in povezava z biofiltrom/baklo	12.512,00	16.230,00	14.580,00
5.0 Izvedba biofiltra/bakle	116.636,00	47.780,00	102.240,00
6.0 Nepredvidena dela, 5%	7.851,00	4.323,00	7.089,00
7.0 Nadzori, 2%	3.140,00	1.729,00	2.836,00
Skupaj od 1.0 do 7.0	168.004,00	92.512,00	151.710,00
DDV 20%	33.601,00	18.502,00	30.342,00
Skupaj	€ 201.605,00	€ 111.015,00	€ 182.052,00
8.0 Obratovalni stroški	2500/leto	4000/leto	1000/leto + 3000/leto
Skupaj (30 letno obdobje)	€ 276,605.00	€ 231,015.00	€ 302,052.00

Prednosti in slabosti posameznih variant so prikazane v preglednici 11 in v točkah 7.5, 7.6 in 7.7.

V okviru celovite večkriterijske analize smo pri vrednotenju posameznih variant upoštevali naslednje kriterije:

- Ekonomski: 30% (ponder 0,30)
 - o hitrost izvedbe
 - o samodejno delovanje sistema
 - o uporaba komposta lastne proizvodnje
 - o možnost razporeditve investicije na daljše obdobje
 - o zahtevnost vzdrževanja opreme
 - o cena izgradnje
 - o cena vzdrževanja
- okoljski 60% (ponder 0,60)
 - o zanesljivost delovanja sistema
 - o nezanesljivost v času minimalne proizvodnje plinov – vplivi na okolje
 - o nezanesljivost v času maksimalne proizvodnje plinov – vplivi na okolje
 - o kontinuirana razgradnja plina
- Prostorski: 10% (ponder 0,10)
 - o Razpolaganje s potrebno površino

Primernost posamezne variante smo ocenjevali v preglednici 11, pri čemer smo ocenjevali pomembnost dejavnika z oceno od 1 do 10 (0 neugodno, 10 najbolj ugodno), Ocena predstavlja težo posameznega dejavnika pri odločanju.

Preglednica 11: Vrednotenje posameznih variant

Kriteriji	Podkriteriji	Varianta A Biofilter za zaključene in aktivne površine	Varianta B sežig plinov zaključene in aktivne površine	Varianta C biofilter za zaključeno površino in sežig plinov aktivne površine na bakli
ekonomski	hitra izvedba	8	3	9
	samodejno delovanje sistema	9	6	7
	uporaba komposta lastne proizvodnje	10	0	7
	možnost razporeditve investicije na daljše obdobje	9	4	6
	zahtevno vzdrževanje–upravljavec odlagališča	9	5	6
	cena izgradnje	6	8	4
	cena vzdrževanja	8	5	5
okoljski	zanesljivost delovanja sistema	7	4	7
	nezanesljivost delovanja v času največje proizvodnje plinov – povečani vplivi na okolje	3	10	8
	nezanesljivost v času minimalne proizvodnje plinov - povečani vplivi na okolje	10	0	8
	kontinuirana razgradnja plina	5	5	9
prostorski	razpolaganje s potrebno površino; kontinuirana razgradnja plina	3	10	8
	število točk	30,6	21,7	33,2

Ne glede na vrednotenje posameznih variant, predstavlja učinkovito zagotavljanje varovanja okolja oziroma preprečevanje emisij TPG v zrak skozi vse obdobje večjo težo od ekonomskih prednosti.

Izbrana najugodnejša varianta bo v zaključku obdelana s podrobnejšimi popisi del.

7.5 Slabosti variante A

Račun v točki 6.3.3 za aktivno polje pokaže, da bi potrebna biooksidacijska površina znašala 780 m², kar bi lahko dosegli z gradnjo enega biofiltra tlorisne površine 16 x 49 m ali gradnjo dveh manjših, površine 30 x 13 m. Zaradi velike količine odlagališčnega plina je gradnja dveh biofiltrrov bolj smotrna, a situacija zaključnih površin gradnje dveh biofiltrrov ni mogoča zaradi prostorskih omejitev. Glede na stanje končnih površin, je maksimalna površina biofiltra 35 x 16 m. Nezanosljivo delovanje filtra v zimskih mesecih, ko je težko zaščititi filter pred zmrzaljo, lahko povzroči prekomerne emisije nerazgrajenih plinov. Biofilter na sedaj aktivni površini se lahko izvede šele po končnem prekritju odlagališča, medtem plini prosto uhajajo v ozračje. Razpoložljiva površina ni zadostna za postavitev zadosti velikega filtra za eliminacijo celotne količine metana v začetnih letih po zaprtju sedaj še aktivnega dela, ko bo proizvodnja plinov največja.

7.6 Slabosti variante B

Poglavitna slabost variante B so izpusti toplogrednega plina metana v ozračje, ko količine plinov ne bodo več zadostne za sežig na bakli. Proizvodnja plinov na že zaključeni površini starega polja še ne zagotavlja kontinuiranega izgorevanja na bakli. Zanesljivost izgorevanja zagotavlja šele vsaj delni priključek nekaj plinjakov iz sedaj aktivnega polja. V primeru nezadostne proizvodnje plina, bi plini starega odlagališča še naprej prosto uhajali v ozračje.

7.7 Slabosti variante C

Občutljivost filtra na zmrzal lahko moti delovanje biofiltra v zimskih mesecih, saj je število dni s temperaturo pod lediščem 84 dni. Za učinkovito delovanje filtra je potrebno zagotoviti minimalno temperaturo (10 °C) v debelini filtra vsaj 1,0 m. Potrebno je zavarovanje filtra pred zmrzaljo z nasutjem dodatne plasti filtrne mešanice. Visoki so investicijski stroški, vendar jih izravna relativno nizko vzdrževanje. Investicijski stroški so razporejeni na daljše obdobje.

Največja prednost variante C je zagotavljanje kontinuirnega delovanja odplinjevanja. Filter deluje v času majhne proizvodnje plinov (v letih 2008 -2012). Po zaključku odlaganja na

trenutno aktivnih površinah, se namesti bakla, na katero se priključita obe polji dokler proizvodnja ne pade pod mejo izgorevanja. Takrat pa se obnovi biofilter in eliminira zaostale pline iz obeh polj.

7.8 Izbira variante

Predlagamo izbiro variante C, to je odplinjevanje starega dela odlagališča z razgradnjo plinov z biofiltrom, zajem plinov na sedaj aktivnem delu odlagališča z uvrtnjem plinjakov in odsesavanjem ter sežigom plinov na bakli.

8 TEHNOLOGIJA IZVEDBE

8.1 Izvedba biofiltra

Biofilter bodo zgradili na vrhu odlagališča, kot je razvidno na situaciji v prilogi C.1. Njegova osnovnica nad drenažnim filtrom bo tlorisne dimenzije 15,00 m x 32,00 m, proti vrhu pa se razširi na 20,00 m x 37,00 m. Pline bodo dovajali s priključki na pet plinjakov in s horizontalnim cevni sistemom, ki bo dovajal pline neposredno pod biofilter v plinski drenažni sloj, ki je pod njim. Slednjega bo sestavljal okroglozrnati filtrni kamniti material zrnivosti $\Phi=16/32$ mm brez primesi (alternativno se lahko uporabijo zdrobljeni in presejani gradbeni betonski odpadki enake zrnivosti). Debelina plinskega filtrirnega sloja ne sme biti manjša od 0,5 m.

Območje filtra bo s štirih strani omejeno z 1,8 m visokimi zemeljskimi nasipi, zgrajenimi po plasteh z nagibi brežin 1 : 1,5 in s krono širine vsaj 1,00 m. Notranje brežine nasipov bodo »oblečene« v folijo PEHD debeline 2,0 mm. Folija PEHD bo privarjena na tesnilno folijo. Kot nasipni material se lahko uporabi sestavni del tesnjenja pokrova odlagališča in sicer mineralno tesnilo (glina). Masna bilanca je pokazala, da je količina odkopanega materiala enaka 260 m³, medtem ko za izgradnjo nasipa potrebujemo 550 m³ nasipnega materiala. Takšno tesnjenje varuje biofilter pred izsuševanjem skozi porozne boke nasipov.

Znotraj nasipov bodo nasuli substrat - mešanico komposta in lesnih sekancev v razmerju 66 : 33 do 75 : 25. V poglavju 4.3.1.4 so opisane potrebne lastnosti komposta, lesni sekanci pa morajo imeti primerno sestavo in zrnavost 20 – 63 mm ter predpisano vlažnost. Barvan ali impregniran les ni primeren za biofilter.

Debelina sloja biofiltra je izbrana glede na klimatske pogoje, pri čemer mora biti zagotovljeno, da tudi v ekstremnih zimskih razmerah v spodnjem sloju biofiltra temperatura ne pade pod 10 °C, sicer se oksidacijski procesi prekinajo. V konkretnem primeru je bila izbrana debelina filtra 1,5 m. Filter bo razgrnjen brez vmesnih slojev v rahlem nasipnem stanju po omejeni površini.

Substrat biofiltra se zaradi mineralizacijskih procesov sčasoma sesede za približno 20-30%, zato ga je potrebno občasno enkrat na tri leta prerahljati in nasuti do osnovne višine, ki varuje spodnji sloj pred prekomernim ohlajevanjem. V sušnem obdobju je potrebno substrat vlažiti s čisto vodo, da bo dosežena stopnja vlažnosti 60-80%, pozimi pa varovati pred zmrzovanjem, kar je možno doseči z dosipavanjem filtrne mase. Konstrukcija in lastnosti biofiltra so razvidne iz opisa njegove izgradnje in prilog v načrtu C 5.

Za vzdrževanje biofiltra je na vznožju obodnega nasipa na zunanji strani predvidena izgradnja vzdrževalne poti širine 2,0 m, za delovne stroje. Grafične priloge, ki opisujejo biofilter in njegovo umestitev v prostor, so v prilogah C3 – karakteristični prečni prerez odlagališča, C4 – karakteristični vzdolžni prerez odlagališča.

8.2 Izvedba priključkov na plinjake

Horizontalne priključke na vertikalne cevi plinjakov bodo izvedli s T-komadi in z zaključki vertikalnih cevi, ki so tako dolge, da prekrivni sloj presegajo za najmanj 50 cm.

Povezovalne cevi med posameznimi plinjaki in biofiltrom bodo polne cevi PEHD, premera 110 mm. Položene bodo v plinski izravnalni sloj nad odpadki v padcu 3-5 % proti plinjaku, tako, da bodo kondenzne vode lahko odtekle nazaj v plinjak.

V dnu drenažnega sloja pod biofiltrom bo v sredini vzdolžno položena zbirna drenažna cev PEHD, na katero so priključene povezovalne cevi s petih plinjakov. Zbirna cev bo na obeh koncih zaprta. Vzdolžna cev bo imela v rastru po 6 m priključke razdelilnih cevi, ki služijo enakomernejšemu vnosu plinov v biofilter. Tako zbirna cev, kakor tudi razdelilne cevi bodo perforirane z okroglimi luknjami $100 \text{ cm}^2/\text{m}$ cevi. V načrtu v prilogi št C.5 so razvidni podrobnejši načini (detajli) izvedbe priključkov.

8.2.1 Zaključek plinjakov in povezave plinjakov z biofiltrom

Plinjake bodo izvedli tako, kot je prikazano v prilogi C.6. Sedaj se odzračujejo prosto v atmosfero. Perforirana cev premera 110 mm, ki vodi pline iz sredine plinjaka na prosto, je na zgornjih dveh metrih zaščitena z zaščitno cevjo PVC.

Zaščitne cevi plinjakov bodo na vrhu zaprte in nato povezane preko polnih cevi PEHD premera 110 mm z biofiltrom. Te bodo položili v izravnalni plinsko drenažni sloj. Zbirne horizontalne plinske cevi bodo položili v nagibu 3-5% proti najvišji točki odlagališča. Tu bo v prekrivne sloje vgrajen biofilter, skozi katerega se bodo plini filtrirali v ozračje. Na poti skozi filter pa se bo izvršila razgradnja metana, CO₂ in smradnih komponent v mešanici plinov.

Kondenzne vode, ki se bodo nabirale v povezovalnih horizontalnih ceveh PEHD, bodo preko plinjakov vračali nazaj v odlagališče. Da se ne ustvari v zaščitni cevi podtlak, bo na vrhu na pokrov privarjena cevka za zračenje, kot je podrobneje prikazano v prilogi C.6.

8.3 Izvedba bakle

Za odlagališče Volče lahko glede na izvedeno talno in predpostavljeno površinsko tesnjenje kot eno od možnosti eliminacije metana ugotovimo, da je količina plinov primerna za sežig na bakli, zato smo izbrali kombinacijo vertikalnega odplinjevanja s plinjaki ter horizontalni sistem za odsesavanje plinov, ki se zaključi s sežigom na bakli. Situacija plošče za baklo je prikazana v prilogi C.2.

8.3.1 Vertikalni sistem

Na aktivnem delu odlagališča sistem plinjakov ni uvertavan sproti. Po zaprtju odlagališča leta 2013 načrtujemo izgradnjo petih plinjakov glede na končne tlorisne mere odlagališča. Plinjaki se bodo gradili po sistemu Benotto, primernem za uvertavanje večjih dimenzij. Sama izvedba plinjakov bo takšna, kot je prikazano v načrtu plinjaka C.6. Glede na eksponentno rast proizvodnje metana s količino odloženih odpadkov je takšen sistem smotrni. Sprotno uvertavanje bi prineslo dodatne stroške in moteno delovanje odlagališča.

8.3.2 Horizontalni sistem

Na vertikalno cev bodo s T - komadom preko lopute (U/EPDM DN110), priključili horizontalno povezovalno cev PEHD Φ 110 mm. Povezovalne cevi bodo vodile pline na rob odlagališča in naprej preko črpalke za izsesavanje plinov v baklo. Povezovalna cev bo imela na najnižjih točkah urejen iztok kondenzne vode z vertikalno cevko, ki bo kondenzne vode vračala nazaj v odlagališče preko kondenznega lonca. Vsi detajli se bodo izvedli po delavniških načrtih dobavitelja strojne opreme.

Črpalka in vse instalacije za črpalke bodo izvedli v črpalnem jašku iz betonske cevi premera 150 cm, ki bo opremljen po zahtevah dobavitelja črpalke oziroma bakle.

Izbrali smo visokotemperaturno baklo z zmogljivostjo max 40 m^3 odlagališnega plina na uro. Baklo bodo postavili na talno ploščo AB, velikosti $6,0 \times 4,0 \text{ m}$ in debeline 20 cm. Ploščo bodo izvedli v betonu MB 30 in bo armirana zgoraj in spodaj z armaturnimi mrežami Q 308. Talno ploščo bodo položili na 5 cm podbetona in na tamponsko podlago debeline 40 cm, pod njo bodo utrdili gramozno nasutje do globine zmrzovalne cone. Baklo bodo postavili montažno po montažnem načrtu dobavitelja bakle.

Območje bakle bodo ogradili s tipsko, 1,6 m visoko ograjo iz žičnega pletiva, ki ga bodo pritrdili na samonosne aluminijaste stebričke z razstojem 3,5 m. Vhod v ograjen prostor bo urejen s tipskimi dvokrilnimi vrati širine 4,0 m.

9 POPIS DEL S PROJEKTANTSKIH PREDRAČUNOM

9.1 Skupna rekapitulacija stroškov

Izbrana varianta C: ODPLINJEVANJE Z BIOFILTROM IN BAKLO (vse cene so v €):

1.0	PRIPRAVLJALNA DELA NA ZAKLJUČENEM POLJU				500,00
2.0	IZKOP PREKRIVNIH SLOJEV POKROVA OBSTOJEČEGA ODLAGALIŠČA				2.515,00
3.0	IZVEDBA PLINJAKOV				21.950,00
4.0	IZVEDBA ZAKLJUČKOV PLINJAKOV IN POVEZAVE Z BIOFILTROM				3.392,00
5.0	IZVEDBA BIOFILTRA				54.460,00
6.0	IZVEDBA ZAKLJUČKOV PLINJAKOV NA ZAKLJUČENEM AKTIVNEM POLJU IN POVEZAVA Z BAKLO				11.190,00
7.0	POSTAVITEV BAKLE ZA SEŽIG ODLAGALIŠČNIH PLINOV IN VSEH POTREBNIH INSTALACIJ				47.780,00
	SKUPAJ od 1.0 do 7.0				141.787,00
	Nepredvidena dela 5%				7.090,00
	SKUPAJ				148.877,00

8.0	NADZORI				
8.1	Geomehanski nadzor v času gradnje 1 % vseh del				1.490,00
8.2	Projektantski nadzor v času gradnje 1% vseh del				1.490,00
	NADZORI SKUPAJ				2.980,00
	SKUPAJ od 1.0 do 8.0				151.857,00
	DDV 20%				30.371,00
	SKUPAJ				€ 182.228,00

9.2 Popis del in projektantski predračun stroškov

1.0	PRIPRAVLJALNA DELA NA ZAKLJUČENEM ODLAGALNEM POLJU				
1.1	Geodetska dela na odlagališču, postavljanje profilov za zakoličevanje, vključno z zavarovanjem.		ocenjeno		500,00
	Skupaj pripravljala dela				500,00

2.0	IZKOP PREKRIVNIH SLOJEV POKROVA ODLAGALIŠČA – STARI DEL				
2.1	Površinski izkop (z bagri) z nakladanjem na prevozno sredstvo ter transportom na gradbiščno odlagališče				
	Odkop rekultivacijskega sloja v debelini 75cm	m ³	530	3,00	1.590,00
	Odkop prodca v debelini 30cm	m ³	185	5,00	925,00
	Skupaj prekrivni sloji				2.515,00

3.0	IZVEDBA PLINJAKOV				
3.1	Izkop vrtine po tehnologiji Benotto s profilom 100cm	m'	5x13	100,00€/m'	6.500,00
3.2	Kompletiranje in vgradnja perforirane cevi PEHD in zasipa	kom	5	1.500,00	7.500,00

3.3	Nabava in dostava zasipnega materiala- mačje glave, 16/32 mm	m ³	5*13	30,00€/m'	1.950,00
3.4	Transport stroja in opreme za izdelavo vrtine premera 100 cm	kom	1	5.000,00	5.000,00
3.5	Montaža, demontaža in organizacija	kom	1	1.000,00	1.000,00
	Skupaj izvedba plinjakov in povezava z biofiltrom				21.950,00€

4.0	IZVEDBA POVEZAVE PLINJAKOV Z BIOFILTRROM				
4.1	Izvedba povezave plinjakov z biofiltrom s polnimi cevmi PEHD fi 110 položenimi v plinsko-drenažni sloj v predpisanih 3-5% padcih	m	106,00	32,00	3.392,00
	Skupaj izvedba plinjakov in povezava z biofiltrom				3.392,00€

5.0	IZVEDBA BIOFILTRA				
5.1	Zakoličba lokacije biofiltra		ocenjeno	335,00	335,00
5.2	Izvedba konstrukcijskega obodnega nasipa iz mineralnega tesnila-gline. Širina krone 1.00m, višina 1.80m in naklon brežin min. 1:1.5 z vgrajevanjem po plasteh največ po 30cm s trikratnim prehodom z vibracijsko ploščo				
	(107m x 7.65m ²)-260m ²	m ³	290,00	15,00	4.350,00
5.3	Humiziranje zunanje brežine in krone nasipa s 15cm plastjo humusa, posejanje s travnim semenom in	m ²	300,00	2,00	600,00

	uvaljanje				
5.4	Dobava in položitev perforirane cevi PEHD, fi 110mm v plinsko-drenažni sloj v območju biofiltra in izvedba priključkov s povezovalnimi cevmi po načrtu. Površina perforacij mora znašati 100 cm ² na meter cevi po temenu oboda cevi s središčnim kotom $\alpha=240^\circ$	m	32,00	40,00	880,00
5.5	Dobava in položitev perforiranih cevi PEHD, fi 80 mm v plinsko-drenažni sloj v območju biofiltra na medsebojni razdalji po 6m z izvedbo priključkov na vzdolžno perforirano cev fi 110mm. Površina perforacij mora znašati 100 cm ² na meter cevi po temenu oboda cevi s središčnim kotom $\alpha=240^\circ$	m	90,00	32,00	2.880,00
5.6	Dobava mešanice komposta in lesovine z lastnostmi opisanimi v tehničnem poročilu. V ceno je vključeno iztresanje in razgrinjanje v rahlem gostotnem sestavu z mehanizacijo, ki dela izvaja iz bmočja izven biofiltra				
	34.0 m x 17.0 m x 1.5 m	m ³	867,00	50,00	43.350,00
5.7	Dobava kamnitega lomljenca in izvedba vzdrževalne poti na vznožju obodnega nasipa ob biofiltru. Debelina posteljice cca. 20cm mora zagotavljati zadostno nosilnost za gradbeno mehanizacijo (bager, tovornjak) Me=40MPa	m ³	56,80	18,75	1.065,00
	142 m x 2 m x 0.2 m				
	IZVEDBA BIOFILTRA SKUPAJ				54,460.00
6.0	IZVEDBA ZAKLJUČKOV PLINJAKOV NA ZAKLJUČENEM AKTIVNEM POLJU IN POVEZAVA Z BAKLO				

6.1	Izvedba povezave plinjakov z baklo s polnimi cevmi PEHD, fi 110 položenimi v plinsko-drenažni sloj v predpisanih 3-5% padcih	m	120,00	32,00	3.840,00
6.2	Izvedba povezave plinjakov z baklo s polnimi cevmi PEHD, fi 200 položenimi v plinsko-drenažni sloj v predpisanih 3-5% padcih	m	210,00	35,00	7.350,00
	Skupaj izvedba zaključkov plinjakov na zaključenem aktivnem polju in povezava z baklo				11.190,00€

7.0	POSTAVITEV BAKLE ZA SEŽIG ODLAGALIŠČNIH PLINOV				
7.1	Široki izkop gradbene jame za izvedbo temeljne plošče AB za postavitev bakle za sežig odlagališčnih plinov in transport materiala na odlagališču ob objektu	m ³	35,00	4,80	368,00
7.2	Planiranje dna gradbene jame na točnost +/- 3 cm	m ²	35,00	4,80	368,00
7.3	Vgrajevanje betona MB 10 v nevidne nearmirane konstrukcije z vsemi pomožnimi deli in prenosi - podbeton in izravnalni beton	m ³	1,25	83,00	104,00
7.4	Dobava, montaža in demontaža opaža za temeljno ploščo AB z vsemi pomožnimi deli	m ³	1,25	83,00	104,00
7.5	Dobava in polaganje armaturnih mrež Q309	kom	4,00	62,50	250,00
7.6	Dobava, polaganje in vezanje srednje komplicirane armature GA 400/500, fi 6 mm s prenosi do mesta vgraditve	kg	24,85	17,50	435,00

	in s pomožnimi deli - ocenjeno				
7.7	Vgrajevanje betona MB 30 z vsemi pomožnimi deli in prenosi - temeljna plošča AB	m ³	4,88	104,20	508,50
7.8	Dobava in postavitve visokotemperaturne bakle za sežig odlagališčnih plinov z zmogljivostjo 40 m ³ vključno s plinsko črpalko in ostalo potrebno strojno opremo		ocenjeno		45.000,00
7.9	Dobava stebričkov za varovalno ograjo h=2,00m okoli plinske bakle in zvedba temeljev za stebričke na medsebojni razdalji 3,5 m	kom	10,00	24,00	240,00
7.10	Postavitev stebričkov za ALU ograjo; dim 25/0/60	kom	10,00	15,00	150,00
7.11	Dobava in montaža žičnega pletiva na vbetonirane stebričke	m	36,00	7,00	252,00
	POSTAVITEV BAKLE - SKUPAJ				47.779,50

10 ZAKLJUČKI

Plinjaki so vertikalni drenažni stebri z v sredini vgrajeno perforirano plastično cevjo, po kateri se po principu enostavnega sistema prezračevanja odvajajo deponijski plini iz telesa odlagališča na prosto. Po izkušnjah prodirajo plini skozi odpadke proti poroznemu drenažnemu stebru do oddaljenosti 40 – 50 m. Praviloma se plinjaki gradijo sproti z rastjo plasti odpadkov v rastru 40,0 m x 40,0 m. Če niso zgrajeni sproti, se lahko uvrstijo kasneje, pred prekritjem površine odlagališča. Z odvajanjem plinov iz telesa odlagališča se izognemo nevarnosti eksplozije ali požara. Ta obstaja zaradi morebitnih eksplozijskih koncentracij plinov (5 – 15%), v tako imenovanih »plinskih žepih« med odpadki. S tem pa ni izpolnjena zahteva po zmanjšanju emisij toplogrednih plinov in emisij vonjav v ozračje. Pline je potrebno zajeti in uničiti. Zato se plinjaki pod prekrivnimi sloji na površini odlagališča zaprejo, perforirane cevi se zaključijo s polnimi cevmi, te pa se horizontalno povežejo s črpalko, ki izsesava pline in jih tlači proti bakli, kjer izgorevajo.

Na plinjaki se bodo po programu nadziranja izvajale tudi meritve količin in sestave plinov. V starih, majhnih in neprekritih odlagališčih, kjer so se najbolj intenzivni procesi razgradnje že izvršili, pa je proizvodnja plinov neenakomerna in majhna. Po izkušnjah je izgorevanje plinov na bakli pogosto prekinjeno. Takrat se plini namesto na baklo vodijo skozi biofilter, kjer se razgradi metan. Biofilter je običajno v prekrivni sloj odlagališča vgrajen zemeljski nasip, ki omejuje na osnovi količine pričakovanih plinov izračunano površino biofiltra. Biofilter sestavlja nasuta porozna struktura – mešanica zrelega komposta in zdrobljene lesne mase, v kateri pri prehodu plinov skozi sloj biofiltra potekajo procesi, podobni procesom razgradnje plinov v naravi.

Na odlagališču Volče imamo opravka s starim delom odlagališča, kjer so plinjaki že zgrajeni, vendar proizvodnja plinov že usiha. Novo polje odlagališča, kjer je proizvodnja plinov v porastu, pa še nima urejenega sistema plinjakov.

Po preučitvi treh možnosti, smo za eliminacijo plinov izbrali varianto C, to je kombinacija obeh variant odplinjevanja. Načrtovali smo povezavo obstoječih plinjakov z biofiltrom na

starem zaključenem delu odlagališča, na novem polju pa uvrtnje plinjakov in povezavo letih preko črpalke z baklo.

Na aktivnih površinah odlagališča v Volčah, kjer se zdaj odlagajo odpadki, se bodo plinjaki zgradili ob zaprtju odlagališča, čeprav bi bilo bolj smiselno že prej uvrtni tiste plinjake, katerih pozicija je nakazana na že zaključenih brežinah.

Proizvodnja metana na novem polju že sedaj zagotavlja zadostne količine odlagališčnih plinov za sežig na bakli. Ob primerni izbiri zmogljivosti bakle, bo sežig mogoč najmanj do leta 2040, kot je razvidno iz grafikona 6. Ko pa bo proizvodnja metana premajhna za nemoteno obratovanje bakle, se bodo odlagališčni plini z novega polja priključili na biofilter, zgrajen na zaključeni površini starega odlagališča. Zmogljivost biofiltra na zaključeni površini je dimenzionirana na sedanjo proizvodnjo plinov, ki pa je v precejšnjem upadanju. Skupna proizvodnja metana na stari in aktivni površini bo v letu 2040 znašala približno $10 \text{ m}^3/\text{h}$ in bo naprej v počasnem upadanju. Tako bo neizkoriščena zmogljivost filtra s časom naraščala in dopuščala priključitev in razgradnjo plinov, ki bodo zajeti s plinjaki takrat že usahlega novega polja.

Izbrana je varianta C - uporaba biofiltra za pline zaključene površine in sežig plinov iz aktivne površine na bakli - ki zagotavlja zanesljivo in uspešno eliminacijo tako majhne količine plina, kakor tudi učinkovito eliminacijo v času največje proizvodnje plinov. Omogoča dolgotrajno delovanje sistema z optimalno izrabo biofiltra.

11 PREDVIDENE POSLEDICE SPREJETE ZAKONODAJE

Okvirna konvencija Združenih narodov o klimatskih spremembah (Rio, 1992) je prvi mednarodni dokument na področju varstva zraka. Jasno opredeljuje omejitev naraščanja emisij TGP oziroma njihove koncentracije v ozračju. Republika Slovenija je z ratifikacijo konvencije leta 1995 postala članica konvencije, kasneje pa je s podpisom protokola Kyoto (1998) prevzela konkretne obveznosti za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov v obdobju od 2008 - 2012 za 8% glede na izhodiščno leto 1986.

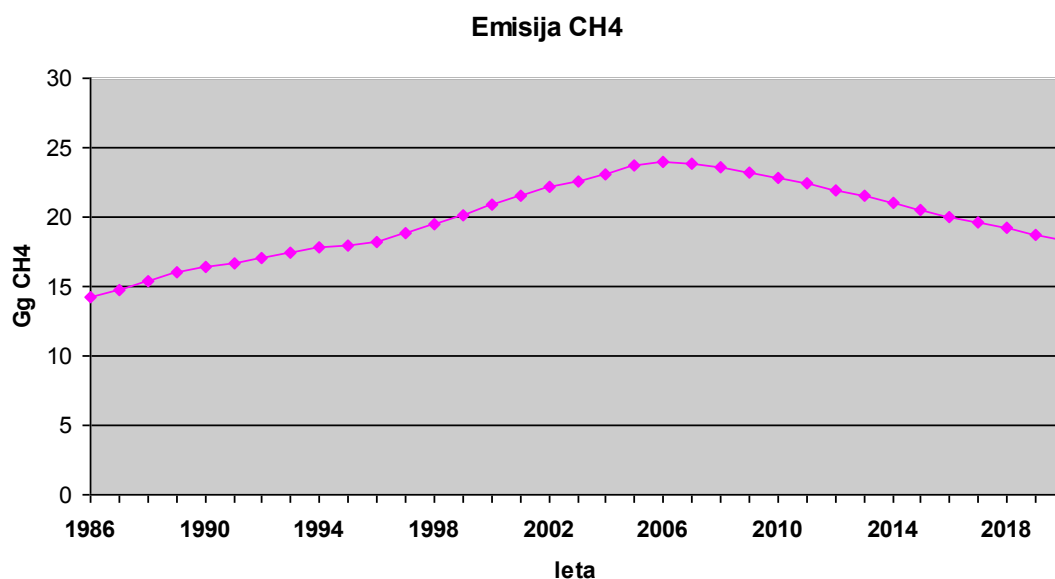
Prav tako je s prilagoditvijo pravnih aktov na področju ravnanja z odpadki evropskim direktivam zagotovila ukrepe za zmanjševanje deleža emisij TGP, ki bi ga v bodoče povzročalo neustrezno ravnanje z odpadki.

Uzakonjeni načini, s katerimi se omejujejo emisije metana iz odpadkov, so naslednji:

- izločevanje biološko razgradljivih odpadkov na viru nastanka,
- termična obdelava,
- povečanje snovne in energetske izrabe odpadkov,
- mehansko biološka obdelava (v nadaljevanju MBO),
- recikliranje,
- sežiganje,
- kompostiranje ter
- zajemanje in eliminacija že nastalega metana na odlagališčih.

S temi ukrepi lahko, kljub naraščajočim količinam komunalnih odpadkov za okoli 25 % v prihodnjih 15 letih, s postopki predelave odpadkov in ob preusmerjanju odpadkov iz odlagališč, računamo na postopno upadanje emisij CH₄ po letu 2008.
2008.

Grafikon 7 prikazuje emisije metana v prihodnjih letih.



Grafikon 7: Dejanske emisije metana iz odlagališč komunalnih odpadkov v obdobju 1986-2005 in projekcije teh emisij do leta 2020 (OP, 2008)

Sprejeta zakonodaja pa sama po sebi še ne zagotavlja želenih rezultatov. Implementacija zakonodaje v prakso zahteva poleg zagotovitve dodatnih virov financiranja velike napore javnega sektorja, ki je zadolžen za ravnanje z odpadki. Ta mora z organizacijo ločenega zbiranja, postavitvijo objektov in naprav za predelavo in obdelavo, povzročiteljem in imetnikom odpadkov omogočiti najprimernejši način za predajo odpadkov s ciljem ustreznega ravnanja z njimi. Pri tem pa je velikega pomena tudi ozaveščanje in poučevanje prebivalcev na vseh stopnjah obveznega in neobveznega izobraževanja in izobraževanja preko vseh razpoložljivih medijev. Danes so reakcije prebivalcev na umeščanje objektov za ravnanje z odpadki v prostor povsod odklonilne, namesto da bi se zavedali, da bodo prav ti objekti zagotovili izboljšanje stanja okolja. Posledice skrbnega ravnanja z odpadki bodo v vsakem gospodinjstvu (ločevanje na posamezne vrste uporabnih sekundarnih surovin, ločevanje kuhinjskih bioloških odpadkov) najhitreje vidne na zmanjšanju količin odpadkov, ki jih je potrebno predelati, da bi se lahko odložili brez škode za okolje.

Skrb za čisto okolje je ekonomska kategorija, ki bo vplivala na vsak družinski proračun, saj velja pravilo, da stroške škode plača povzročitelj. Tukaj pa se skriva nevarnost, da bodo brezvestni prebivalci, ki se pogosto razglašajo za zagovornike narave, svoje odpadke »na črno« odlagali v naravo, gozdove in na obrežja potokov. Ponekod v EU je odkrivanje

brezvestnih onesnaževalcev zaupano posebej organizirani »zeleni policiji«, ki preko pravnih sredstev odkriva in kaznuje povzročitelje škode. Tovrstne prakse v Republiki Sloveniji še ni.

Napovedi torej kažejo, da bo boljše ravnanje s komunalnimi odpadki zmanjšalo emisije TGP v Sloveniji. V skladu s šestim okoljskim akcijskim programom lahko pričakujemo, da bo izpolnjevanje obveznosti, ki izhajajo iz programov varovanja okolja, zmanjšalo pritisk na gospodarstvo in s tem pospešilo gospodarsko rast.

VIRI

Adani, F., Confalonieri, R., Tambone, F. 2004. Dynamic Respiration Index as a Descriptor of the Biological Stability of Organic Wastes. *Journal of Environmental Quality*. 33, 5: 1866-1876.

Alexander, A., Burklin, C., Singleton, A. 2005. Landfill Gas Emission Model (LandGEM) Version 3.02 User's guide. Washington, U.S. Environmental Protection Agency: 55 str.

Bahr, T., Fricke, K., Hillebrecht, K., Kölsch, F., Reinhard, B. Clean Development Mechanism, Abfallbehandlung und Methangasoxidation zur Minimierung von Methangasemissionen. *Müll und Abfall*. 2006, 6: 290 – 297.

Bender, M., Conrad, R. 1992. Kinetics of CH₄ oxidation in oxic soils exposed to ambient air or high CH₄ mixing ratios. *FEMS Microbiology Letters*. 101, 4: 261-269.

Bender, M., Conrad, R. 1993. Kinetics of methane oxidation in oxic soils. *Chemosphere*. 26, 1-4: 687-696.

Dever, S. A., Swarbrick, G. E., Stuetz, R. M. 2007. Passive drainage and biofiltration of landfill gas: Australian field trial. *Waste Management*. 27, 2: 277-286.

Doorn, M., Barlaz, M. 1995. Estimate of Global Methane Emissions from Landfills and Open Dumps, Project Summary. Washington, U.S. Environmental Protection Agency: 3 str.

EPA (U.S. Environmental Protection Agency).

<http://www.epa.gov/methane/sources.html> (07.01. 2008).

Gebert, J., Gröngröft, A. 2005. Influence of mechanical-biological waste pre-treatment methods on the gas formation in landfills. *Waste Management*. 25, 4: 337-343.

Haubrichs, R., Widmann, R. 2006. Evaluation of aerated biofilter systems for microbial methane oxidation of poor landfill gas. *Waste Management*. 26, 4: 408-416.

Heyer, J., Malaschenko, Y., Berger, U., Budkova, E. 1984. Verbreitung methanotropher Bakterien. *Zeitschrift für allgemeine Mikrobiologie*. 24, 10: 725-744.

Huber-Humer, M., Gebert, J., Hilger H. 2008. Biotic systems to mitigate landfill methane emissions. *Waste Management & Research*. 26, 1: 33-46.

IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change).

<http://www.ipcc.ch/about/task-force.htm> (14.12.2007).

Kiely, G. 1998. *Environmental Engineering*. Boston, Burr Ridge, Dubuque, Madison, New York, San Francisco, St. Louis. Irwin/McGraw-Hill: 979 str.

Kotnik, M. 2001. Princip vgradnje plinske sonde s povezavo. Program prilagoditve. Komunalno podjetje Velenje: 19 f.

Lelieveld, J., Crutzen, P., Dentener, F. 1998. Changing concentration, lifetime and climate forcing of atmospheric methane. *Tellus B*. 50, 2: 128-150.

Meadows, M. 1996. Estimating landfill methane emissions. *Energy Conversion and Management*. 37, 6-8: 1099-1104.

Mor, S., De Visscher, A., Ravindra, K., Dahiya, R., Chandra, A., Van Cleemput, O. 2006. Induction of enhanced methane oxidation in compost: Temperature and moisture response. *Waste Management*. 26, 4: 381-388.

Petit, J., Jouzel, J., Raynaud, D., et al. 1999. Climate and atmospheric history of the past 420.000 years from Vostok ice core, Antarctica. *Nature*. 399, 6: 429-436.

Philopoulos, A., Felske, C., McCartney, D., Biogenic Methane Oxidation of Landfill Gas: A Pilot Biofilter Evaluation. University of Alberta.

<http://64.233.183.104/search?q=cache:YghV82QICDYJ:www.ualberta.ca/~eegsa/Andrew%2520Philopoulos.doc+Philopoulos&hl=sl&ct=clnk&cd=8&gl=si> (02.12.2007).

Pravilnik o ravnanju z odpadki. UL RS št. 84/98: 7105-7130.

Pravilnik o spremembah in dopolnitvah pravilnika o ravnanju z odpadki. UL RS št. 45/00: 6283-6285.

Pravilnik o spremembah in dopolnitvah pravilnika o ravnanju z odpadki. UL RS št. 20/01: 1955-1974.

Pravilnik o spremembah in dopolnitvah pravilnika o ravnanju z odpadki. UL RS št. 13/03: 1927-1937.

Prechtl, S., Scholz, R., Faulstich M., Huber, W. 2007. Behandlung von Deponierestgasen durch passiv betriebene Biofilter. Müll und Abfall. 2007, 10: 468 – 475.

Predlog Operativnega programa odstranjevanja odpadkov s ciljem zmanjšanja količin odloženih biorazgradljivih odpadkov za obdobje 2009-2013: 83 str.

<http://www.mop.gov.si/nc/si/splosno/cns/novica/article/12118/6038/> (04.04. 2008).

Rodošek, S. 2006. Odlagališče nenevarnih komunalnih baliranih odpadkov Dogoše. Prilagoditveni program. Maribor, JP Snaga d.o.o.: 33 f.

Rutar, A. Količina odpadkov Volče. Sporočilo za: Ponikvar, M. 11. December 2007. Osebna komunikacija.

Scharff, H., Oonk, H., Vroon, R., Hensen, A, Göschl, R. 2001. Verbesserte Methanoxidation durch Zwangsbelüftung unter einer Deponieabdeckung. Müll und Abfall. 2001, 10: 591 – 595.

Spillmann, P. 2007. Landfill Gas - What is it? Hofstetter Umwelttechnik AG.

http://www.hofstetter-uwat.ch/default.asp?file=KnowHow_Knowhow_07e.htm (16.01.2008).

Streese, J., Stegmann, R. 2003. Microbial oxidation of methane from old landfills in biofilters. Waste Management. 23, 7: 573-580.

Streese, J., Dammann, B., Stegmann, R. 2003. Reduction of methane and trace gas emissions from former landfills in biofilters. Waste Management. 23, 7: 573-580.

Streese, J., Schlegelmilch, M.; Heining, K., Stegmann, R. 2005. A macrokinetic model for dimensioning of biofilters for VOC and odour treatment. Waste Management. 25, 9: 965-974.

Troge, A. 2007. Der Beitrag der Abfallwirtschaft zum Klimaschutz. Müll und Abfall. 2007, 5: 208 – 213.

Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih. UL RS št. 32/06: 3351-3365.

Uredba o spremembah in dopolnitvah Uredbe o odlaganju odpadkov na odlagališčih. UL RS št. 98/07: 13270 - 13270.

Uredba o ravnanju z odpadki. UL RS št. 43/08: 3194-3241.

Zakon o graditvi objektov (ZGO-1-UPB1) (uradno prečiščeno besedilo). UL RS št. 102/04: 12358-12407.

Zakon o spremembah in dopolnitvah Zakona o graditvi objektov (ZGO-1B). UL RS št. 126/07: 18714- 18729.

Zakon o varstvu okolja (uradno prečiščeno besedilo) (ZVO-1-UPB1). UL RS št. 39/2006: 4151-4189.