

Investinženjering d.o.o.	
InvI_283_12_3261	MB
Datum prijema:	31.8.2012.
Potpis primatelja:	MB

Stručno mišljenje s preporukama za daljnje djelovanje

**Odlagalište *Prudinec / Jakuševac* u Zagrebu, na
kojemu zbog problema s odvodnjom dolazi do
nakupljanja procjednih voda na temelju
odlagališta**

izrađeno
za

ZAGREBAČKI HOLDING d.o.o.
Zagreb, Avenija M. Držića 4/IV.

Izradili:

DI Renato Šarc

Mag. Dr. Daniela Sager

O.Univ.Prof.Dipl.-Ing.Dr. Karl E. Lorber

Broj stranica: 70

Izrada: A

Sadržaj

	Stranica
1. BIBLIOGRAFIJA.....	4
1.1. Dokumenti koje je priložio nalogodavac	5
2. POVOD I IZDANJE NALOGA	6
3. PRIKUPLJANJE PODATAKA	7
3.1. Temeljni podaci	7
3.2. Prikaz činjeničnog stanja.....	8
3.3. Tehnički i pravni temelji za odlaganje otpada u Austriji.....	20
3.3.1. Uvažavanje relevantnih tehničkih i pravnih uvjeta.....	22
4. NALAZ	50
4.1. Kritično mišljenje o izvedbi plinskih zdenaca (usporedno rastući plinski zdenci ili bušenje nakon što se dosegne konačna visina odlagališta).....	50
4.2. Kritično mišljenje o ne-odvodnjavanju odlagališta.....	51
4.2.1. Bilanca plina	51
4.2.2. Bilanca procjednih voda.....	53
4.2.3. Poplavljenost plinskih zdenaca.....	56
4.3. Tehnička izvedba donjeg brtvenog sloja uz uzimanje u obzir zemljanog sloja iznad površinskog filtera i filca.....	59
4.4. Tehnička izvedba gornjeg prekrivnog sloja uz uzimanje u obzir izlaza / glave plinskih zdenaca.....	61
4.4.1. Suho stabiliziranje otpada.....	62
5. UTVRĐENO STRUČNO MIŠLJENJE I PREPORUKE	64
5.1. Kritično mišljenje o izvedbi plinskih zdenaca (usporedno rastući plinski zdenci ili bušenje nakon što se dosegne konačna visina odlagališta)	64
5.2. Kritično mišljenje o ne-odvodnjavanju odlagališta	64
5.2.1. Bilanca plina	64
5.2.2. Bilanca procjednih voda	65

5.2.3. Zadržavanje procjednih voda u plinskim zdencima („poplavljenost“)	65
5.3. Tehnička ocjena donjeg brtvenog sloja promatranjem zemljanog sloja preko drenažne površine zaštićene filcom	66
5.4. Tehnička ocjena gornjeg prekrivnog sloja promatranjem izlaza/glave plinskih zdenca	67
5.5. Završni zaključci.....	68
6. OČITOVANJE	I

1. Bibliografija

- [1] Bundeskanzleramt Österreich (2012): Abfallwirtschaftsgesetz 2002 - AWG 2002: Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Stammfassung: BGBl. I Nr. 102/2002 und Novelle 2010: BGBl. I Nr. 9/2011 (vom 15. Februar 2012)).
- [2] Bundeskanzleramt Österreich (2008): Deponieverordnung 2008: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (Stammfassung: BGBl. II Nr. 39/2008 und Novelle 2010: BGBl. II Nr. 178/2010 (vom 16. Juni 2010)).
- [3] Bundeskanzleramt Österreich (2011): Wasserrechtsgesetz 1959 - WRG 1959 (Stammfassung: BGBl. Nr. 215/1959 und Novelle 2011: BGBl. I Nr. 14/2011 (vom 30. März 2011)).
- [4] Bundeskanzleramt Österreich (2010): Altlastensanierungsgesetz 1989: Bundesgesetz zur Finanzierung und Durchführung der Altlastensanierung (Stammfassung: BGBl. Nr. 299/1989 und Novelle 2010: BGBl. I Nr. 111/2010 (vom 30. Dezember 2010)).
- [5] Bundeskanzleramt Österreich (2005): AEV Deponiesickerwasser 2003: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Begrenzung von Sickerwasseremissionen aus Abfalldeponien (Stammfassung: BGBl. II Nr. 263/2003 und Novelle 2005: BGBl. II Nr. 103/2005 (vom 20. April 2005)).
- [6] Austrian Standards Institute (2004): ÖNORM S 2070:2004 Deponien - Hydrogeologische und geotechnische Klassifizierung von Standorten.
- [7] Austrian Standards Institute (2011): ÖNORM S 2073:2011 Deponien - Dichtungsbahnen aus Kunststoff - Anforderungen und Prüfungen.
- [8] Austrian Standards Institute (2004): ÖNORM S 2074-1:2004 Geotechnik im Deponiebau - Teil 1: Standorterkundung.
- [9] Austrian Standards Institute (2004): ÖNORM S 2074-2:2004 Geotechnik im Deponiebau - Teil 2: Erdarbeiten.
- [10] Austrian Standards Institute (1999): ÖNORM S 2076-1:1999 „Deponien – Dichtungsbahnen aus Kunststoff – Verlegung“.
- [11] Austrian Standards Institute (2006): ÖNORM S 2076-2:2006 „Deponien – Geotextile Schutzlagen – Teil 2: Systemanforderungen und Einbaubedingungen“.
- [12] Austrian Standards Institute (1978): ÖNORM B 4400:1978 „Erd- und Grundbau; Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke und Methoden zum Erkennen von Bodengruppen“.
- [13] Austrian Standards Institute (2005): ÖNORM S 2082:2005 „Deponien – Oberflächenabdeckungen – Systemanforderungen“.
- [14] Austrian Standards Institute (2006): ÖNORM S 2081-1:2006 „Deponien – Geosynthetische Tondichtungsbahnen – Teil 1: Anforderungen und Prüfungen“.

- [15] Austrian Standards Institute (2004): ÖNORM S 2081-2:2004 „Deponien – Geosynthetische Tondichtungsbahnen – Teil 2: Verlegung“.
- [16] Reiselhuber, K., Brandstätter, P., Brandl, R. (2011): Besprechungsnotiz vom 14. Oktober 2011 auf der Deponie Rautenweg.
- [17] Rothschedl, R. (2011): Besprechungsnotiz vom 19. Oktober 2011 auf der Deponie Halbenrain.
- [18] Austrian Standards Institute (2011): Vorschlag ÖNORM S 2084: Anforderungen an Entgasungsmaßnahmen für Deponien und Altablagerungen.
- [19] Umweltbundesamt (2008): Deponiegaserfassung auf österreichischen Deponien.
- [20] Rettenberger G. (Hrsg.) (2006): Deponiegastechnik; Bonn: 1993.
- [21] Rettenberger & Stegmann (Hrsg.) (1991): Deponiegasnutzung, Emissionsminimierung, neue Planungen und Technologien; Dokumentation zur Fachtagung in Trier 6. bis 8. März 1991; Bonn: 1991.
- [22] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) (2009): Handlungsempfehlungen zu Oberflächenabdeckung von Deponien in Österreich.
- [23] Lorber, K. E. (2011): Landfill Mining, Vorlesung an der Montanuniversität Leoben.

1.1. Dokumenti koje je priložio nalogodavac

Jahr	Dokument
[I]	Milanović, Z. (2011): Raspoloživi kapaciteti: Proračun raspoloživog prostora za deponiranje otpada. Studeni 2011.
[II]	Institut građevinarstva Hrvatske d.d. (IGH) (2007): Izvedbeni projekt dna ploha 5D i 6, Br. proj. 24-10-013/07. A1; br. 66.
[III]	Zagrebački Holding d.o.o. (2007): Glavni radovi i upravljanje postrojenjima, Svezak III Tehnički dio. A1-269.
[IV]	Institut građevinarstva Hrvatske d.d. (IGH) (2011): Izvedbeni građevinski projekt, Br. proj. 81010-264/11. A4; br. 145.
[V]	Institut IGH d.d. (2011): Glavni radovi i upravljanje postrojenjima na odlagalištu Jakuševac - Razlike u Projektnoj dokumentaciji iz 2000. i 2007. godine vezano za zaštitnu oblogu sustava za sakupljanje procjednih voda - odgovor. Naš broj: 81010-315/11. Datum: 05.09.2011.
[VI]	Marija Novosel (2011): Email za Renato Sarc, Predmet: Jakuševac. Datum: 02.09.2011.
[VII]	Milanović, Z. (2011): Odlagališni plin. Podaci o plinu od listopada 2010 do rujna 2011. Datum: prosinac 2011.

2. Povod i izdavanje naloga

Odlagalište Prudinec/Jakuševac u Zagrebu, koje se nalazi u neposrednoj blizini rijeke Save, je pod upravom ZGOS-a. Temelj odlagališta čini šljunčana podloga, debljine otprilike 10-20 metara, koja je i izvor pitke vode za grad Zagreb. U prošlosti je dolazilo do poteškoća sa zagađenjem zdenca pitke vode. Slijedećih godina (1980-te do 1990-te godine) došlo je do pojačane suradnje sa stanovništvom, osigurana je opskrba pitkom vodom i zbrinjavanje otpadnih voda te se odvijala sanacija odlagališta sve do 2013. godine (13 milijuna €). Prema navodima upravitelja, od 2013. godine javljaju se na nekim dijelovima odlagališta problemi sa sustavom nakupljanja plina (tj. plinski zdenaci poplavljeni procjednim vodama), koji postoji od 2003. godine.

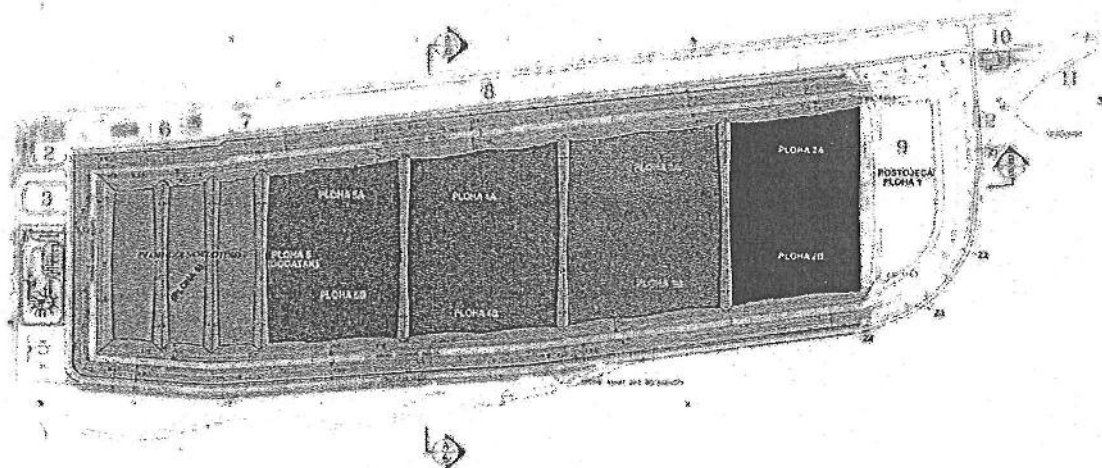
Sukladno pismu od 02.01.2012. godine, IAE (Institut für Nachhaltige Abfallwirtschaft und Entsorgungstechnik) sa Sveučilišta Montan u Leobenu (primalac naloga) je od gosp. dr. Z. Milanovića – voditelja podružnice ZGOS koja upravlja odlagalištem Prudinec/Jakuševac (nalogodavalač) – primio nalog da izradi stručno mišljenje s preporukama za djelovanje u vezi **problema** s nakupljanjem procjednih voda na temelju odlagališta, kojem ne funkcionira sustav odvodnje procjednih voda. Pritom je trebalo prije svega istražiti slijedeća **pitivanja** **tvrtke ZGOS** te na njih odgovoriti STRUČNIM MIŠLJENJEM:

- 1. kritično mišljenje o izvedbi plinskih zdenaca: paralelno s izgradnjom (odlaganjem otpada) ili nakon što se dosegne krajnja visina odlagališta (45 metara);*
- 2. kritično mišljenje o nemogućnosti odvodnje odlagališta (ispumpavanje plinskih zdenaca), bilanca plina i procjednih voda: uzroci, posljedice;*
- 3. tehnička izvedba temeljnog brtvenog sloja: djelovanje odvodnje temelja i djelovanje zemljanog sloja iznad filtrirajućeg sloja i filca;*
- 4. tehnička izvedba gornjeg prekrivnog sloja: uzimanje u obzir izlaza / glave plinskih zdenaca.*

3. Prikupljanje podataka

3.1 Temeljni podaci

Cijelo područje odlagališta (ukupno 46,35 ha) podijeljeno je u šest ploha. Plohe 1 do 4 popunjene su od 2009. godine i površina im je prekrivena (tehn. izvedba bez rekultivacije, usp. tablicu 1). Visina koju su vlasti odobrile za odlagalište iznosi 45 metara. Geomehanička stabilnost odlagališta se, prema navodima voditelja postrojenja, može zajamčiti. Trenutno se popunjava 5. ploha, a 6. ploha će se popunjavati u budućnosti.



Slika 1: Tlocrt odlagališta Zagreb

Iz dokumenata koje je nalogodavac priložio proizlaze površine pojedinih ploha odlagališta te količina otpada koja je na njima odložena (usp. tablicu 1). Prikupljanje procjednih voda odvija se za plohe 1-5, na ploham 1-4 izveden je gornji prekrivni sloj, a na plohi 5 se trenutno odlaže komunalni otpad bez prethodne obrade. Prikupljanje plina vrši se za plohe 1-4 vrši pomoću 60 plinskih zdenaca, koji su djelomično popunjeni vodom, što upućuje na probleme s odvodnjom procjednih voda na odlagalištu.

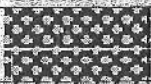




Tablica 1: Površina odlagališta [ha] i volumen odloženog otpada [mil. m³]

Ploha	Površina [ha]	Otpad [mil. m ³]	Gornja površina
1 [#]	5,5	1,5	prekrivena
2 [#]	6,44	1,75	prekrivena
3 [#]	8,18	2,64	prekrivena
4 [#]	9,27	3,08	prekrivena
5 [*]	5,1	1,67	otvorena
Prikupljanje procj. voda	34,49	10,64	
Prikupljanje plina [#] (60 plinskih zdenaca)	29,39	8,97	

3.2. Prikaz činjeničnog stanja

• Tehnički detalji donjeg brtvenog sloja za plohe odlagališta 1 do 4:

Temeljni brtveni sloj je izveden na slijedeći način: na dnu se nalazi kombinirano brtveni sustav s mineralnim brtvenim slojem debljine 1 m te s plastičnom folijom debljine 2,5 mm (HDPE folija), preko toga geotekstil za zaštitu (1.000 g/m^2), preko toga filtrirajući sloj (granulacija 4/32 mm) debljine 50 cm s cijevima za odvodnjavanje, preko toga ponovno filc (400 g/m^2) i međusloj (0,3 metara) iz mineralnog otpadnog materijala između filca i otpada. Odjeli 1 do 4 imaju površinu od ukupno 29,39 ha.






Odjeli 1 do 4					
Struktura temeljnog brtvenog sloja	Ukupna deblj.	1,8025	m		
 Otpad		Komunalni otpad			
 Međusloj/sloj humusa	$h = 0,3$	m	$k_f = 1 \cdot 10^{-9}$	cm/s	
 Filtrirajući sloj i geotekstil	$h = 0,5$	m	$\rho = 400$ $k_f = 1 \cdot 10^{-1}$	g/m^2 cm/s	
 HDPE folija i geotekstil	$h = 0,0025$	m	$\rho = 1.000$ $k_f = 1 \cdot 10^{-10 \text{ bis } -14}$	g/m^2 cm/s	
 Mineralni brtveni sloj	$h = 1,0$	m	$k_f = 1 \cdot 10^{-7}$	cm/s	

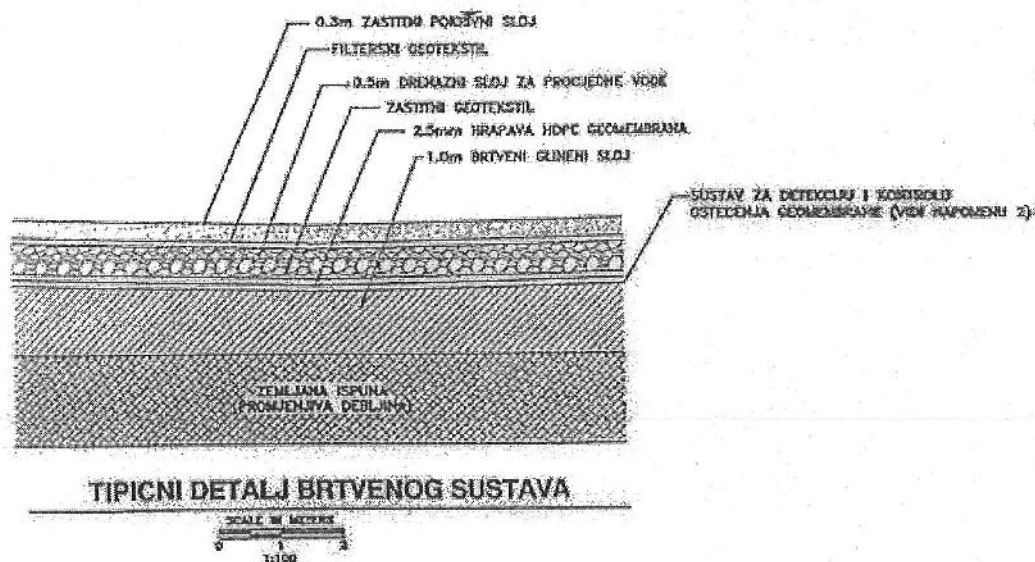
Slika 2: Tehnička izvedba temeljnog brtvenog sloja odjela odlagališta 1 do 4 [III]

Primjedba: Prikupljanje procjednih voda se odvija pomoću više odvodnih cjevovoda, pri čemu plohe 2-4 imaju 4 odvodnih cjevovoda, a ploha 5 je izvedena sa 2 odvodna cjevovoda (sjever/jug). [III]

- Tehnički detalji temeljnog brtvenog sloja na plohama odlagališta 5 do 6:

Za plohe 5 i 6 se već uzelo u obzir da je međusloj / zemljani sloj izveden od materijala s koeficijentom propusnosti $k_f > 1 \cdot 10^{-3}$ cm/s, što odgovara karakteristikama pješčanog šljunka, no ovaj materijal ima, u usporedbi s pješčanim šljunkom, veću propusnost.

Ploha 5			
Struktura donjeg brtvenog sloja	Ukupna deblj.	1,8025	m
 Otpad	Miješani komunalni otpad		
 Međusloj/šljunak	$h = 0,3$	m	$k_f = 1 \cdot 10^{-3}$ cm/s
 Filtrirajući sloj i geotekstil	$h = 0,5$	m	$\rho = 400$ g/m ²
 HDPE folija i geotekstil	$h = 0,0025$	m	$\rho = 1.000$ g/m ² $k_f = 1 \cdot 10^{-10}$ bis -14 cm/s
 Mineralni brtveni sloj	$h = 1,0$	m	$k_f = 1 \cdot 10^{-7}$ cm/s



Slika 3: Tehnička izvedba temeljnog brtvenog sloja odjela odlagališta 5 i 6 [II]

Nadalje treba napomenuti da su specifikacije i zahtjevi za pojedine slojeve koji su ugrađeni u donji brtveni sloj opsežno dokumentirani. [III] Za zaštitni zemljani sloj (usp. slika 3 – međusloj / šljunak), koji se stavlja direktno ispod otpada tj. na koji se nakon odlaganja prvog sloja otpada odlaže ostali otpad, također su izračunati parametri propusnosti te su postavljeni kao zahtjev (usp. [III, S. 02363-1] točka 2. Materijal, 2.1. Zaštitni zemljani sloj):

- Stavak B:

„Granulometrija zaštitnog zemljanog sloja treba biti takova da je 85 % zrna jednakog ili većeg promjera od 0.05 mm.“

- Stavak C:

„Propusnost zaštitnog zemljanog sloja mora biti veća ili jednaka $1 \cdot 10^{-3}$ cm/s, za sloj koji se ugrađuje ispod otpada, te $1 \cdot 10^{-4}$ cm/s za sloj koji se ugrađuje iznad otpada.

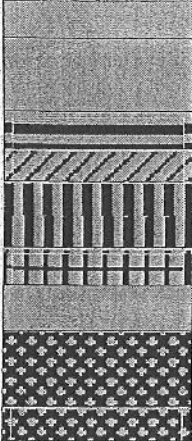
Odgovor tvrtke, Instituta IGH d.d., na pitanje o razlikama u izvedbi brtvenog sustava (međusloj/zemljani sloj tj. međusloj/šljunak) na ploham 2-5 i 5D-6:

- *„Razlike u izvedbi temeljnog brtvenog sustava na ploham 2-5 i 5D-6 sastoje se u **zadanim koeficijentima propusnosti međusloja/zemljanog sloja, koji se na temeljni brtveni sloj nanosi s debljinom od 0,3 m.***
- *Zaštitni sloj služi, sukladno nazivu, tome da se filtrirajući sloj i geotekstil zaštite od oštećenja pri odlaganju tj. ugrađivanju otpada. **Za tu svrhu nije potrebno navesti koeficijente propusnosti za materijal koji se koristi kao zemljani sloj.***
- *Razlike u izvedbi zemljanog sloja proizlaze iz različitih metoda ugradnje otpada na odlagalište te različitih stupnjeva razgradnje otpada (Plohe 2-5: pretežno stari otpad koji je već jednom odložen, plohe 5D-6: samo novi otpad). Kao što se zna, propusnost otpada određuje mehaničko, vertikalno opterećenje tj. propusnost se smanjuje s većom dubinom. Stariji otpad ima i veći udio finih čestica, dakle mali volumen pora, što također utječe na smanjenje propusnosti.*
- *Na ploham 2-5, gdje je otpad ugrađen vrlo brzo, propusnost odloženog otpada utječe na vertikalnu brzinu toka procjednih voda. **Propusnost odloženog otpada je vrlo niska zbog svojstva specifičnih za tu vrstu materijala te stoga nema smisla odrediti i navesti koeficijent propusnosti za zemljani sloj.***

- Na ploham 5D i 6 ugrađuje se „svježi otpad“ i, što je još važnije, taj se otpad ugrađuje sporo. Koeficijent propusnosti „svježeg otpada“, koji nije okomito spriječen, relativno je velik (**PRIMJEDBA: nema podataka**). Zbog toga je brzina protjecanja procjednih voda kroz otpad u smjeru filtrirajućeg sloja veća. Da se ovaj protok ne bi usporilo zbog zemljanog sloja, uvedene su promjene u karakteristikama projektnih materijala (tj. propusnosti). Prilagodбом propusnosti zemljanog sloja spriječilo bi se moguće nakupljanje procjednih voda iznad zemljanog sloja tijekom ugradnje otpada.

• **Tehnički detalji gornjeg prekrivnog sloja ploha 1 do 4 (6) [VIII]**

Na ploham 1- 4 je već izveden temeljni prekrivni sloj, a na ploham 5 i 6 u planu je jednako izvođenje gornjeg prekrivnog sloja (do izravnavajućeg sloja $k_f = 1 \cdot 10^{-4}$ cm/s).

Plohe 1 do 4					
Gornji prekrivni sloj		Ukupna deblj.	1,127	m	
	Sloj humusa	$h = 0,15$	m	$k_f = 3,3 \cdot 10^{-4}$	cm/s
	Sloj zaštite od mraza	$h = 0,65$	m	$k_f = 3,3 \cdot 10^{-5}$	cm/s
	Geosintetski dren za vodu	$h = 0,010$	m	$k_f = 8 \cdot 10^{-4}$	m^2/s
	LLDPE folija i geotekstil	$h = 0,001$	m		
	Mineralni brtveni sloj (Na-Bentonit)	$h = 0,006$	m	$k_f \leq 5 \cdot 10^{-9}$	cm/s
	geosint. Sloj za otplinjavanje	$h = 0,010$	m	$k_f = 8 \cdot 10^{-4}$	m^2/s
	Izravnjavajući sloj	$h = 0,30$	m		
	Otpad	Miješani komunalni otpad			

[PRIMJEDBA: očito m^3/s , geosint. sloj za odvodnjavanje $h = 0,1$ m, mineralni brtveni sloj (Na-bentonit ploče) $h = 0,06$ m, geosint. sloj za drenažu plina $h = 0,1$ m]

Slika 4: tehnička izvedba gornjeg prekrivnog sloja ploha 1 do 6 (plohe 1-4 su već izvedene)

Na ploham 5 i 6, gdje se trenutno odlaže otpad, ne postavlja se nikakav međupokrov u svrhu smanjivanja količine procjednih voda.

Slika 5 pokazuje novu izvedbu plinskih zdenaca uključujući cijev za odvodnju čija je izgradnja predviđena te prekrivni sloj u neposrednoj blizini plinskih zdenaca. Prema novom planu rada i preporukama projektnog partnera IGH d.d., izvest će se dva zdenca tj. jedan zdenac s 2 okomite cijevi za prikupljanje. Iz jedne cijevi će se isisavati voda, a iz druge plin. Cijev (promjer: 160 mm) je perforirana na cca 88% svoje ukupne dužine, a na cca 12% ukupne dužine je izvedena kao puna cijev. Plinski zdenac će se izvesti tako da razmak između plinskog zdenca i temeljnog brtvenog sloja iznosi minimalno 3 m. Širina bušotine iznositi će 1200 mm, a razmak između okomitih cijevi 400 mm. Bušotina će na perforiranome dijelu biti ispunjena s grobim šljunkom, da se omogući strujanje plina k cijevi. Puni će se dio cijevi zabrtviti (u smjeru prekrivnog sloja) s finim šljunkom (visina = 1500 mm) te zatim s bočne strane s glinom (usp. sliku 5).

prestanka odlaganja otpada. Na ploham 1 do 4 nanesen je preko geotekstila preko temeljne drenaže procjednih voda zemljani sloj debljine cca. 0,3 metara, koji štiti drenažu od začepjenja finim česticama odloženog otpada. Pri donošenju te odluke se međutim očito nije vodilo računa o tome da zbog tog izabranog materijala ($k_f = 1 \cdot 10^{-9}$ cm/s) dolazi do jakog ometanja toka procjednih voda prema sustavu prikupljanja procjednih voda koji se nalazi odmah ispod. Kao posljedica toga, plinski su se zdenci napunili s do 30 metara vode, jer ne funkcionira odvodnjavanje preko temeljne drenaže.

Izveštaj tvrtke IGH [IV] pokazuje slijedeće: količina odlagališnog plina za plohe 1 -5 iznosi cca. 52 Nm^3 po toni premještenog otpada (s udjelom vode od $m_{\text{H}_2\text{O}} = 35 \%$), pri čemu udio novog otpada, koji se odlaže odmah nakon dovoza iz grada, čini cca. 12 %-težinskih.

Nakupljanje vode u plinskim zdencima potvrđeno je mjerenjima, koja su provedena 2006. tj. 2008. godine. [IV]

Ploha 1: plinski zdenci: A1 do W6

- Dio plinskog zdenca bez vode: 57,8% - 62,7% (2006) tj. 83% (2008)

Ploha 2: plinski zdenci B1 do D5

- Dio plinskog zdenca bez vode: 30,7 - 36,7 % (2006) tj. 71,2 - 75,2 % (2008)

Ploha 3: plinski zdenci E1 do H5

- Dio plinskog zdenca bez vode: 16,9 - 23,3 % (2006) tj. 54,7 - 59,9 % (2008)

Sažeto možemo utvrditi da su 85 % od 60 plinskih zdenaca (= 51 plinski zdenac) s min. 35 % ukupne visine zdenca ispunjeni vodom. Tablica 2 prikazuje rezultate mjerenja.

Tablica 2: Rezultati mjerenja vodostaja u plinskim zdencima (PZ [IV])

Oznaka zdenca	Visina vrha sonde	Dubina zdenca	Izmjerene vrijednosti vode								Volumen vode u zdencu	Kapacitet pumpe	Vrijeme crpljenja
			Dubina od vrha sonde do lica vode/postotak zdenca izvan vode										
			06/06		07/07		07/08		10/08				
	mnm	m	m	%	m	%	m	%	m	%	m ³	m ³ /h	h

Oznaka zdenca	Visina vrha sonde	Dubina zdenca	Izmjerene vrijednosti vode (prema HIS-u)								Volumen vode u zdencu	Kapacitet pumpe	Vrijeme crpljenja
			Dubina od vrha sonde do lica vode/postotak zdenca izvan vode										
			06/06		07/07		07/08		10/08				
	(mnm)	(m)	(m)	(%)	(m)	(%)	(m)	(%)	(m)	(%)	(m ³)	(m ³ /h)	(h)
A1	135,56	21,56	4,7	21,8	7,0	32,5	17,0	78,8	17,0	73,8	5,153	1,8	2,96
A2	133,08	19,08	13,7	71,8	15,0	78,6	15,0	78,6	14,0	73,4	5,740	1,8	3,19
A3	139,18	25,18	20,0	79,4	19,0	75,5	21,0	83,4	21,0	83,4	4,723	1,8	2,62
A4	139,39	25,39	18,5	72,9	16,0	63,0	21,0	82,7	3,0	11,8	25,301	1,8	14,06
A5	140,46	26,46	17,0	64,2	20,0	75,6	18,0	68,0	18,0	68,0	9,560	1,8	5,31
A6	128,87	14,87	11,8	79,4	9,0	60,5	9,5	63,9	9,5	63,9	6,068	1,8	3,37
A7	142,18	28,18	15,0	53,2	11,0	39,0	17,0	60,3	17,0	60,3	12,633	1,8	7,02
A8	143,74	29,74	9,0	30,3	11,0	37,0	10,5	35,3	10,5	35,3	21,741	1,8	12,08
A9	142,49	28,49					9,0	31,6	9,0	31,6	22,024	1,8	12,24
W1	132,28	18,28	12,1	68,2	12,0	65,6	10,8	59,1	11,0	60,2	8,226	1,8	4,57
W2	141,53	27,53	19,5	70,8	18,0	65,4	19,5	70,8	21,0	76,3	7,379	1,8	4,10
W3	142,26	28,26	20,2	71,4	20,0	70,7	20,5	72,5	21,0	74,3	6,226	1,8	4,57
W4	142,08	28,08	11,5	41,0	7,5	26,7	21,0	74,8	21,0	74,8	8,000	1,8	4,44
W5	139,21	25,21	18,0	71,4	18,0	71,4	3,1	12,3	3,0	11,9	25,097	1,8	13,94
W6	137,53	23,53	16,2	69,8	16,0	69,0	16,0	69,0	15,0	63,7	9,639	1,8	5,35
B1	128,32	14,32	10,7	74,7	12,0	83,8	2,5	17,5	3,0	20,9	12,792	1,8	7,11
B2	153,49	39,49	15,4	39,0	16,0	40,5	17,0	43,0	17,0	43,0	25,414	1,8	14,12
B3	154,60	40,60	13,6	33,5	14,0	34,5	15,5	38,2	15,0	36,9	28,928	1,8	16,07
B4	154,67	40,67	12,3	30,2	10,0	24,6	15,5	38,1	15,0	36,9	29,007	1,8	16,12
B5	133,20	19,20	11,5	59,9	13,0	67,7	12,0	62,5	12,0	62,5	8,136	1,8	4,52
C1	128,98	14,98	5,4	36,1	5,0	33,4	2,5	16,7	2,5	16,7	14,080	1,8	7,82
C2	155,17	41,17	4,7	11,4	4,0	9,7	4,2	10,2	4,0	9,7	42,002	1,8	23,33
C3	155,86	41,86	9,8	23,4	11,5	27,5	11,5	27,5	12,0	28,7	33,742	1,8	18,75
C4	154,56	40,56	10,5	25,9	11,0	27,1	11,8	28,6	12,0	29,6	32,273	1,8	17,93
C5	133,38	19,38	12,0	61,9	9,8	50,6	10,0	51,6	11,0	56,8	9,469	1,8	5,26
D1	128,60	14,60	6,5	44,5	6,0	41,1	2,5	17,1	2,5	17,1	13,673	1,8	7,60
D2	153,35	39,35	6,8	17,3	10,0	25,4	11,0	28,0	10,5	26,7	32,601	1,8	18,11
D3	154,15	40,15	8,2	15,4	7,0	17,4	6,5	16,2	7,0	17,4	37,460	1,8	20,81
D4	152,85	38,85	8,3	21,4	7,5	19,3	7,0	18,0	7,5	19,3	35,426	1,8	19,68
D5	132,84	18,84	7,4	39,3	8,0	47,8	9,0	47,8	10,0	53,1	9,989	1,8	5,55
E1	130,97	18,97	5,2	30,6	6,0	35,4	6,0	35,4	7,0	41,2	11,266	1,8	6,26
E2	155,22	41,22	9,3	22,6	10,0	24,3	10,0	24,3	10,0	24,3	35,279	1,8	19,60
E3	155,92	41,92	6,5	15,5	8,0	19,1	7,7	18,4	7,5	17,9	38,895	1,8	21,61
E4	154,30	40,30	7,4	18,4	9,0	22,3	8,5	21,1	9,0	22,3	35,369	1,8	19,65
E5	134,84	20,84	3,2	15,4	4,9	19,2	3,5	18,8	4,0	19,2	19,029	1,8	10,57
F1	132,07	18,07	2,7	14,9	4,0	22,1	2,5	13,8	2,5	13,8	17,594	1,8	9,77
F2	155,83	41,83	9,0	21,5	8,0	19,1	0,0	0,0	0,0	0,0	47,268	1,8	26,26
F3	156,44	42,44	4,5	10,6	4,0	9,4	4,5	10,6	4,5	10,6	42,872	1,8	23,82
F4	154,33	40,33	9,8	23,8	10,0	24,8	10,5	28,0	11,0	27,3	33,143	1,8	18,41
F5	134,95	20,95	4,0	19,1	6,9	28,6	7,0	33,4	8,0	38,2	14,634	1,8	8,13
G1	130,58	16,58	3,0	18,1	4,0	24,1	2,5	15,1	2,5	15,1	15,910	1,8	8,84
G2	156,82	42,82	5,7	13,3	6,5	15,2	3,5	8,2	7,0	16,3	40,477	1,8	22,49
G3	156,36	42,36	5,3	12,5	6,0	14,2	7,0	16,5	11,0	26,0	35,437	1,8	19,69
G4	155,20	41,20	2,8	6,8	9,0	21,8	4,0	9,7	14,0	34,0	30,736	1,8	17,08
G5	134,42	20,42	2,8	13,7	5,0	24,5	4,8	23,5	5,5	26,9	16,860	1,8	9,37
H1	132,58	18,58	2,8	15,1	5,0	26,9	4,2	22,6	6,0	32,3	14,215	1,8	7,90
H2	152,71	38,71	6,3	16,3	6,0	15,5	3,0	7,7	8,0	20,7	34,702	1,8	19,28
H3	156,01	42,01	4,2	10,0	5,5	13,1	2,0	4,8	12,0	28,6	33,911	1,8	18,84
H4	154,07	40,07	3,0	7,5	6,0	15,0	6,0	15,0	13,0	32,4	30,589	1,8	16,99
H5	134,59	20,59	6,7	32,5	5,0	24,3	4,0	19,4	4,0	19,4	18,747	1,8	10,41

PRIMJEDBA: Kod podataka o volumenu vode u plinskom zdencu treba voditi računa o tome da su rezultati mjereni preko promjera bušotine (1200 mm), to znači da kod izračuna nije uzet u obzir volumen pora šljunka. To se objašnjava pobliže slijedećim izračunom.

npr: zdenac B1: $V = 12,972 \text{ m}^3 = 12.792 \text{ l}$

Volumen zdenca B1 = $0,16^2 * \pi / 4 * (14,32 - 3,0) = 0,2276 \text{ m}^3 = 227,6 \text{ l}$

Volumen zdenca B1 + 50% pora = $B1 + 1/2 * (12.802 - 0,2276) = 6,515 \text{ m}^3 = 6.515 \text{ l}$

Volumen bušotine: B1: $1,2^2 * \pi / 4 * (14,32 - 3,0) = 12,8026 \text{ m}^3 = 12.802 \text{ l}$

Visina razine vode u pojedinim plinskim zdencima:

Tablica 3: Visina razine vode [u %] za odabrane plinske zdence

Plinski zdenac	Udio plinskog zdenca bez vode [%]	Ploha
	10/08	
Uzduž duljine odlagališta		
A3	83,4	1
W2	76,3	1
A2	73,4	1
B4	36,9	2
C4	29,6	2
D4	19,3	2
E4	22,3	3
F4	27,3	3
G4	34,0	3
H4	32,4	3
Koso kroz odlagalište		
D1	17,1	2
D2	26,7	2
D3	17,4	2
D4	19,3	2
D5	53,1	2

Nadalje se navodi da su plinski zdeneci tako konstruirani da količina isisanog plina [primjedba: 30 Nm³/h do 45 Nm³/h] prosječnog plinskog zdenca iznosi 0,5 do 0,75 Nm³/min. Sa smanjenjem efektivne dubine od 35 % očekuje se i smanjenje količine isisanog plina (0,33-0,49 Nm³/min). Iz projektnih je materijala i pripadajućih tablica vidljivo da efektivni radijus isisavanja iznosi 30,8 m čak i pri smanjenoj količini isisanog plina od 0,28 Nm³/min. Izvještaj stoga ukazuje na radijus od 30 m koji je dostatan i za „problematično“ zbrinjavanje plina. [IV]

Slijedeća tablica 4 pokazuje rezultate mjerenja metana 2007. tj. 2008. godine iz neposredne blizine pojedinih plinskih zdenaca. Mjerenja pokazuje da je koncentracija metana [Vol%] u blizini nekoliko zdenaca niža od 3 %. Navodi se da se povišene koncentracije metana oko plinskih zdenaca javljaju na mjestima, gdje su vidljiva jaka slijeganja tijela odlagališta. Kao mogući uzroci istjecanja metanskog plina navodi se oštećenje priključaka na glavi plinskog zdenca te oštećenja na prekrivnom sloju oko plinskih zdenaca.

Tablica 4: Mjerenja metana oko pojedinih plinskih zdenaca
(žuto polje; koncentracija CH₄ > 3 %)

Oznaka zdenca	Visina vriha sonde (mm)	Dubina zdenca (m)	Izmjerene vrijednosti metana					
			GP 05/07		GP 05/08		GP 11/08	
			(ppm)	(%)	(ppm)	(%)	(ppm)	(%)
A1	135,56	21,56	200	0,02	50000	5,00	10000	1,00
A2	133,08	19,08	0	0,00	120000	12,00	50	0,01
A3	139,18	25,18	0	0,00	50	0,01	250	0,03
A4	139,39	25,39	2500	0,25	50000	5,00	30	0,00
A5	140,46	26,46	0	0,00	20000	2,00	0	0,00
A6	128,87	14,87	500	0,05	500	0,05	200	0,02
A7	142,18	28,18	10	0,00	1000	0,10	700	0,07
A8	143,74	29,74	30	0,00	15000	1,50	5000	0,50
A9	142,49	28,49	0	0,00	12000	1,20	0	0,00
W1	132,28	18,28	0	0,00	5000	0,50	0	0,00
W2	141,53	27,53	0	0,00	10000	1,00	0	0,00
W3	142,28	28,28	0	0,00	500	0,05	0	0,00
W4	142,08	28,08	0	0,00	50	0,01	0	0,00
W5	139,21	25,21	10	0,00	30000	3,00	0	0,00
W6	137,53	23,53	0	0,00	10000	1,00	0	0,00
B1	128,32	14,32	28000	2,80	8500	0,85	3000	0,30
B2	153,49	39,49	50	0,01	180000	18,00	72000	7,20
B3	154,60	40,60	800	0,08	320000	32,00	7000	0,70
B4	154,67	40,67	1500	0,15	100000	10,00	50	0,01
B5	133,20	19,20	9500	0,95	80000	8,00	300	0,03
C1	128,96	14,96	68000	6,80	8000	0,80	0	0,00
C2	155,17	41,17	42000	4,20	20000	2,00	76000	7,60
C3	155,86	41,86	124000	12,40	430000	43,00	100000	10,00
C4	154,56	40,56	64000	6,40	110000	11,00	100000	10,00
C5	133,38	19,38	62000	6,20	120000	12,00	100000	10,00
D1	128,60	14,60	11000	1,10	30000	3,00	12000	1,20
D2	153,35	39,35	0	0,00	2000	0,20	38000	3,80
D3	154,15	40,15	700	0,07	60000	6,00	50000	5,00
D4	152,85	38,85	1500	0,15	20000	2,00	10000	1,00
D5	132,84	18,84	30	0,00	80000	8,00	0	0,00
E1	130,97	16,97	1500	0,15	220000	22,00	2000	0,20
E2	155,22	41,22	15	0,00	100000	10,00	40	0,00
E3	155,92	41,92	248000	24,80	50000	5,00	60000	6,00
E4	154,30	40,30	50	0,01	30000	3,00	50	0,01
E5	134,84	20,84	8000	0,80	10000	1,00	10000	1,00
F1	132,07	18,07	1000	0,10	5000	0,50	500	0,05
F2	155,83	41,83	0	0,00	5000	0,50	100	0,01
F3	156,44	42,44	10000	1,00	20000	2,00	5000	0,50
F4	154,33	40,33	12000	1,20	90000	9,00	5000	0,50
F5	134,95	20,95	2000	0,20	150000	15,00	5000	0,50
G1	130,58	16,58	500	0,05	50000	5,00	0	0,00
G2	156,82	42,82	9800	0,98	150000	15,00		0,00
G3	156,36	42,36	1000	0,10	20000	2,00	0	0,00
G4	155,20	41,20	20	0,00	50000	5,00	4000	0,40
G5	134,42	20,42	250000	25,00	30000	3,00	5000	0,50
H1	132,58	18,58						
H2	152,71	38,71						
H3	156,01	42,01	382000	38,20	10000	1,00		
H4	154,07	40,07	1000	0,10	8000	0,80		
H5	134,59	20,59	238000	23,80	3000	0,30	200	0,02

- Količina plina koja nastaje na plohama 1-4

Prikupljanje plina se odvija na plohama 1-4 koje imaju ukupnu površinu od cca. 29,39 ha. Na toj je površini ukupno odloženo 8,97 mil. m³ otpada. Plin se na postrojenju iskorištava pomoću plinskih motora te se stvara struja i toplina. Tablica 5 prikazuje podatke o količini i kakvoći plina.

Iz izvještaja [III, str. 02221-5] proizlazi slijedeće: ugrađeni se otpad mora sabiti kompaktiranjem na najmanje 0,6 t/m³. Preračunato za 8,97 mil. m³ ugrađenog otpada dobivamo količinu od 5.382.000 tona otpada.

Tablica 5: Količina plina za vremensko razdoblje rujan 2010. do rujan 2011. godine [VII]

Mjesec	Dani	Količina plina	Količina plina	Udio metana
[m]	[d/m]	[Nm ³ /mjesec]	[Nm ³ /dan] (Nm ³ /h)	[CH ₄ -%]
Ruj 10*	31	896.000	28.903 (1.204)	51,90
Stu 10	30	745.000	33.864 (1.411)	55,04
Pro 10	31	1.045.000	33.710 (1.405)	54,22
Sij 11	31	1.095.000	35.323 (1.472)	56,03
Velj 11	28	1.003.000	35.821 (1.493)	55,48
Ožu 11	31	1.109.500	35.790 (1.491)	57,03
Tra 11	30	1.032.000	34.400 (1.433)	54,30
Svi 11	31	1.043.500	33.661 (1.403)	53,70
Lip 11	30	1.000.000	33.333 (1.389)	53,43
Srp 11	31	997.000	32.161 (1.340)	51,61
Kol 11	31	896.000	28.903 (1.204)	51,90
Ruj 11	30	442.900	27.681 (1.153)	52,56
Ukupno	365	11.304.900		
Prosjek		942.075	32.796	53,94
Volumen otpada		8,97	mil. m ³	
Kompresijski faktor		0,6	t/m ³	
Masa otpada		5,382	mil. t	
Plin/Otpad		1,26	m ³ plin/ m ³ otpada	
		2,10	m ³ plin/ t otpada	
Plin/Vrijeme	=32.796/24	1366,5	Nm ³ plin/ h	
	=1366,5/60	22,78	Nm ³ plin / min	
	60 pl. zden.	0,38	Nm ³ plin / min, PZ	
	70 pl. zden.	0,33	Nm ³ plin / min, PZ	
	80 pl. zden.	0,28	Nm ³ plin / min, PZ	
	90 pl. zden.	0,25	Nm ³ plin / min, PZ	

* zapisani su podaci za rujan 2010. god. umjesto za listopad, jer za listopad ne postoje podaci dovoljne kakvoće.

[Primjedba: točnost podataka je upitna]

U promatranom je razdoblju (rujan 2010. do rujna 2011. godine) na odlagalištu Jakuševac dobiveno 11.304.900 Nm³ odlagališnog plina s prosječnim udjelom metana od 53,94 %.

Kako se vidi iz izračuna, na odlagalištu se Jakuševac proizvodi 1,26 Nm³ plin/m³ otpada tj. 2,1 Nm³ plin/t otpada. Ako se to svede na broj plinskih zdenaca, onda dobivamo vrijednost od 0,38 Nm³ plin/ min, 60 plinskih zdenaca tj. 0,25 Nm³ plin/ min, 90 plinskih zdenaca.

Toplinska vrijednost odlagališnog plina se određuje na slijedeći način:

Toplinska vrijednost odlagališnog plina u standardnom stanju pri 53,9 vol.-% udjela metana (prosječna vrijednost za promatrano razdoblje): $H_{u(\text{plin})}$

$$V_{\text{CH}_4} = \varphi_{\text{CH}_4} \cdot V_{\text{plin}} = 0,53937 \cdot 1 = 0,53937 \text{ Nm}^3$$

$$n_{\text{CH}_4} = V_{\text{CH}_4} / V_{\text{molar}} = 0,53937 / 0,022414 = 24,06398 \text{ mol}$$

$$H_{u(\text{plin})} = H_{u(\text{molar})} \cdot n_{\text{CH}_4} = 802,69 \cdot 24,06398 = 19315,91 \text{ kJ/Nm}^3 = 5,3655 \text{ kW/Nm}^3$$

Toplinska vrijednost odlagališnog plina odlagališta Jakuševac prema tome iznosi 5,37 kW/Nm³.

- **Procjedne vode koje nastaju na plohama 1-5**

Prikupljanje procjednih voda se vrši na plohama 1-5 koje imaju ukupnu površinu od cca. 34,49 ha. Procjedne vode koje nastaju na postrojenju za obradu procjednih voda obrađuju se na tom postrojenju. 2010. godine je u gradu Zagrebu palo 1059,9 mm oborina [VI]. Tablica 6 pokazuje količinu nastale procjedne vode za vremensko razdoblje 2010-2011. Treba napomenuti da u dostavljenim podacima ne postoje vrijednosti za ukupno 24 dana (cca. 6,59 %) tj. upisano je 0 m³ procjednih voda. Razlog tome nije poznat tj. unatoč upita kod nalogodavca nismo uspjeli naći objašnjenje za to.

Tablica 6: Količina procjernih voda u m³ za vremensko razdoblje listopad 2010. do listopada 2011. godine [VI]

Mjesec	Da	Obrađena količina	Dani bez registrirane količine procjernih voda
	[[m ³]	[d]
Lis 10	3	9.981	
Stu 10	3	7.935	
Pro 10	3	11.293	
Sij 11	3	6.151	
Velj 11	2	3.915	
Ožu 11	3	3.826	
Tra 11	3	3.756	7
Svi 11	3	3.419	
Lip 11	3	4.522	2
Srp 11	3	2.839	8
Kol 11	3	3.345	6
Ruj 11	3	3.175	1
Ukupno	3	64.157	24
Količina procj.voda	[m³/	176	

[Primjedba: upitna točnost podataka]

3.3. Tehnički i pravni temelji za odlaganje otpada u Austriji

Zakonske odredbe koje su nadalje navedene relevantne su za ovo MIŠLJENJE.

- **Zakon o gospodarenju otpadom (Abfallwirtschaftsgesetz, AWG, 2002):** austrijski zakon o održivom gospodarenju otpadom (izvorna verzija: BGBl.¹ I br. 102/2002 i dopuna 2010: BGBl. I br. 9/2011 (od 15. veljače 2012.).

Bitni elementi ovog propisa su preuzimanje nove hijerarhije otpada Europske unije s pet stadija, obvezno ispunjenje kvota za pripremu otpada za ponovnu uporabu i recikliranje, pravila za sekundarne sirovine, obvezno odobrenje za prikupljanje i obradu neopasnog otpada ili, među ostalim, obveza država članica da izrade programe za prevenciju stvaranja otpada;

- **Uredba o odlagalištima otpada (Deponieverordnung, 2008):** Uredba ministarstva poljoprivrede, šumarstva, okoliša i vodnog gospodarstva o odlagalištima (izvorna verzija: BGBl. II br. 39/2008 i dopuna iz 2010.: BGBl. II br. 178/2010 (od 16. lipnja 2010.)

Ova uredba sadrži neke ključne odredbe, kao što su zabrana odlaganja organskog, reaktivnog otpada, osnovne zahtjeve za tehniku zbrinjavanja otpada i zaštitu podzemnih

¹ Bundesgesetzblatt - Austrijski službeni vjesnik (nap. prev.)

voda te proces prihvaćanja otpada (koji je točno određen u dodatku 4. Uredbe o odlagalištima iz 2008.), kao i prilagodbe za osiguranje financijske sigurnosti odlagališta. Što se tiče **gornjeg brtvenog sloja**, za njega vrijedi uvjet da godišnja stopa stvaranja procjednih voda na odlagalištu mora biti manja od 5% godišnjih oborina (osim odlagališta koja su i bočno zatvorena).

- **Zakon o vodama (Wasserrechtsgesetz, WRG, 1959)**, (izvorna verzija: BGBl. br. 215/1959 i dopuna 2011.: BGBl. I br. 14/2011 (od 30. ožujka 2011.))

Ova uredba sadrži odredbe o vodi kao temelju života i kao predmetu gospodarenja vodama. Sadašnji Zakon o vodama datira iz 1934. godine te je ponovno objavljen nakon temeljite revizije pod nazivom „Zakon o vodama 1959.“, a 1990 je doživio značajne promjene. Pravno razlikujemo javne i privatne vode. Za svako korištenje voda koje nadilazi javnu uporabi u slučaju javnih voda ili uporabu za kućanstava i gospodarsku aktivnost u slučaju privatnih voda, dakle za svako korištenje voda koje može utjecati na strana prava ili vode, potrebna je dozvola nadležnog tijela za vode. Izdavanje odobrenja za odvodnju otpadnih voda u vodotokove ili kanalizacijski sustavi koji su odobreni prema zakonu o vodama također podliježu pravnom režimu Zakon o vodama (WRG 1959).

- **Zakon o sanaciji okoliša (Altsanierungsgesetz, 1989)**: austrijski zakon za financiranje i provođenje sanacije okoliša (izvorna verzija: BGBl. br. 299/1989 i dopuna 2010.: BGBl. I br. 111/2010 (od 30. prosinca 2010.)).

Ova uredba propisuje pravni temelj za financiranje sanacije okoliša. Osim toga, zakon o sanaciji okoliša sadrži odredbe o nacionalnoj registraciji površina za koja se sumnja da su zagađena i o procjeni koliko su one opasne.

- **Uredba o ispuštanju procjednih voda s odlagališta (AEV Deponiesickerwasser 2003)**: Uredba austrijskog ministarstva poljoprivrede, šumarstva, okoliša i vodnog gospodarstva o ograničenju ispuštanja procjednih voda s odlagališta otpada (izvorna verzija: BGBl. II br. 263/2003 i dopuna 2005.: BGBl. II br. 103/2005 (od 20. travnja 2005.)).

Prema odredbama koje su na snazi u Austriji, odlagališta moraju imati brtveni temelj. Na takvom se brtvenom temelju prikupljaju procjedne vode s odlagališta. Kako ne bi došlo do zagađenja podzemnih voda, vrijednosti procjednih voda s odlagališta moraju ostati u okviru zakonskih graničnih vrijednosti prema Uredbi o ispuštanju procjednih vod s odlagališta.

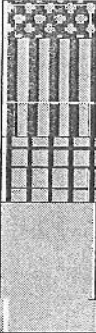
Kod ograničenja koja se tiču ispuštanja procjednih voda s odlagališta radi se o njihovom sastavu na mjestu ispuštanja u vodotok ili u javnu kanalizaciju.

3.3.1. Uvažavanje relevantnih tehničkih i pravnih zahtjeva

U Austriji se prema vrsti i reaktivnosti (utjecaja na okoliš) odloženog otpada razlikuju odlagališta za zemljane iskope, inertne materijale, ostatke građevinskih masa, otpadne materijale i glomazni otpad. Odlagališta za opasni otpad su u Austriji regulirana Odredbom o odlagalištima iz 2008. godine (DepVO 2008), ali nisu realizirana u praksi. Dopušteno je samo odlaganje otpada koji nije reaktivan (inertan) te koji je pretežno anorganskog porijekla. Takav otpad zbog svojih emisijskih svojstava prouzručuje relativno mali negativni utjecaj na okoliš u usporedbi s tzv. reaktorskim odlagalištem, kod kojih se provode dugotrajne mjere kontrole i nadziranja. U Austriji su implementirane sve važeće europske norme minimalnih pravnih zahtjeva u obliku odredbi i smjernica s još djelomično i oštrijim graničnim vrijednostima. U nastavku će biti prikazani zahtjevi koji su na snazi u Austriji, a koji se odnose na izvedbu temeljnog brtvenog sloja i gornjeg prekrivnog sloju u skladu s pravnim okvirom (usp. i prilog):

- Tehnički detalji temeljnog brtvenog sloja u skladu s Uredbom o odlagalištima iz 2008. godine:

Prema definicijama stručnih pojmova iz Uredbe o odlagalištima (2008), pod **Sustavom za brtvljenje temelja odlagališta** podrazumijeva se tehnički sustav za sprečavanje prolaska štetnih materijala u podzemlje, koji se sastoji od temeljnog brtvenog sloja odlagališta i **Sustava za odvodnju temelja odlagališta** (filtrirajući sloj i u njega položeni cjevovodi za procjednu vodu). **Filtrirajući sloj** je filterski stabilni sloj, koji propušta tekućine te sakuplja i odvodi procjednu vodu. Pomoću sustava za odvodnju procjednih voda osigurava se trajno sakupljanje i odvodnja nastalih procjednih voda. **Procjedna voda odlagališta** je voda koja nastaje u dijelovima odlagališta, prije svega od vode od padalina, koja prodire u dijelove odlagališta i koja na sebe veže otopljene tvari i čestice, od viška vode iz otpada s visokim udjelom vode te od vode koja nastaje kao posljedica reakcijskih procesa raspadanja. **Cjevovodi procjednih voda** su cjevovodi za prihvata i odvodnju nakupljene vode u filtrirajućem sloju.

Uredba o odlagalištima (2008): Temeljni brtveni sloj:				
	Ukupna deblj.	1,2525	m	
	Otpad	Odlagalište glomaznog otpada		
	Filtrirajući sloj	$h = >0,5$	m	$k_f = 1 \cdot 10^{-2}$ Grupa zrnatosti 16/32 m/s
	PE-HD brtvene staze od umjetn. materijala i geotekstil	$h = 0,0025$	m	$\rho = 1.200$ $k_f = 1 \cdot 10^{-9}$ Zrnatost <63 3 sloja s min. 20-27 g/m ² m/s mm cm
	Minimalno troslojni mineralni brtveni sloj	$h = >0,75$	m	

Slika 6: Tehnička izvedba temeljnog brtvenog sloja prema Uredbi o odlagalištima (2008)

Kao što proizlazi iz Tablice 6, prema Uredbi o odlagalištima (2008) treba se izvesti temeljni brtveni sloj za glomazni otpad s kombiniranim brtvljenjem, koje se sastoji iz minimalno troslojnog mineralnog brtvenog sloja najmanje 20 cm, a maksimalno 27 cm debljine po sloju u sabijenom stanju, te ukupne debljine od najmanje 75 cm, i preko kojega je direktno položena PE-HD brtvena staza od umjetnog materijala, najmanje debljine 2,5 mm.

Prema definiciji, **kombinirano brtvljenje** je brtvljenje koje se izvodi s različitim brtvenim materijalima čija se svojstva međusobno upotpunjuju. Mineralna brtva je brtva koja je umjetno izgrađena iz jednog ili više sabijenih slojeva od anorganskih (mineralnih) vrsta tla, ako je potrebno uz dodavanje dodatnih tvari.

Koeficijent propusnosti (k_f -Wert) mineralnih brtvenih slojeva kod ispitivanja uzorka in situ ne smije prijeći vrijednost od $1 \cdot 10^{-9}$ m/s.

Kod odlagališta za otpadne materijale i glomazni otpad mineralni brtveni materijal mora sadržavati minimalni udio finoizrnatog dodatka (<2 μ m) od 20 masenih postotaka, pri čemu udio glinenih minerala u finozrnatom dodatku mora iznositi najmanje 50%. Za bentonitom poboljšane brtvene slojeve se smatra da je dovoljan udio glinenih minerala u finozrnatom dodatku od minimalno 40%, ako se postupak miješanja provodi u centralnom postrojenju za miješanje.

Zrnatost veća od 63mm ne smije biti sadržana. Najgornji sloj brtvenog sloja na smije imati zrna oštrih bridova niti zrna veća od 20mm.

Treba ispuniti zahtjeve za ispitivanja pogodnosti, kontrole i ispitivanja uzoraka u skladu s normom ÖNORM S 2074-2 „Geotechnik u izgradnji odlagališta – 2. dio: zemljani radovi“ („Geotechnik im Deponiebau-Teil.2: Erdarbeiten“), točka 6, izdanom 1. rujna 2004. godine.

Treba ispuniti zahtjeve i provesti ispitivanja na PE-HD brtvenim stazama od umjetnog materijala, u skladu s normom ÖNORM S 2073 „Odlagališta – brtvene staze iz umjetnog materijala – zahtjevi i ispitivanja“ („Deponien – Dichtungsbahnen aus Kunststoff – Anforderungen und Prüfungen“), izdanom u lipnju 2006.

Postavljanje i razvlačenje, zavarivanje i zaštita brtvenih staza od umjetnih materijala mora se izvesti u skladu s normom ÖNORM S 2076-1 „Odlagališta – brtvene staze iz umjetnog materijala - postavljanje“ („Deponien – Dichtungsbahnen aus Kunststoff – Verlegung“), izdanom 1. listopada 1999.

Brtvene staze od umjetnih materijala se kao sastavni dio sustava za brtvljenje temelja odlagališta trebaju zaštititi mehanički očvršćenim filcom s minimalnom težinom od 1.200 g/m² od oštećivanja. Dozvoljena je primjena alternativnih zaštitnih sustava, npr. vezivni materijali s geoumjetnim materijalima, ako se može dokazati da je zaštitno djelovanje jednako dobro, kako kod dinamičkog tako i kod statičkog opterećenja koji odgovara težini tijela odlagališta. Treba primijeniti normu ÖNORM S 2076-2 „Odlagališta – Geotekstili kao zaštitni slojevi – 2. dio: Zahtjevi za sustav i uvjeti ugradnje otpada“ („Deponien – Geotextile Schutzlagen – Teil 2: Systemanforderungen und Einbaubedingungen), izdano 1. lipnja 2006.

Filtrirajući sloj treba izvesti iz opranog i na mrvljenje otpornog šljunka, dovoljne čvrstoće zrna i najmanje debljine od 50cm, te on ne smije imati koeficijent propusnosti (k-vrijednost) manji od $1 \cdot 10^{-2}$ m/s.

Udio kalcijevog i magnezijevog karbonata u filternom materijalu ne smije iznositi više od 30%-težinskih. Iznimno su dozvoljeni veći udjeli karbonata i alternativni filterni materijali ovisno o očekivanoj kvaliteti procjednih voda (pH-vrijednosti).

Treba dati prednost okruglom zrnu iz grupe zmatosti 16/32.

Prodiranje odloženog otpada u filtrirajući sloj treba spriječiti odgovarajućim mjerama (z.B. filterni filc, ugradnja otpada rastresanjem).

Cjevovode za procjedne vode treba položiti ravno i tako da ih je moguće ispirati i kontrolirati po cijeloj dužini te s nagibom od najmanje 2%.

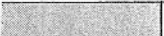
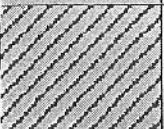

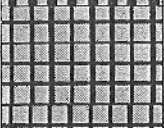


Razmak između cjevovoda za procjedne vode ne smije biti veći od 30 m. Odmak od ove vrijednosti je dozvoljen, ako cjevovodi nisu položeni paralelno.


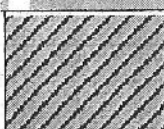




Kao cjevovode za procjedne vode (usisnici) koriste se cijevi s prorezima ili rupama iz umjetnih materijala, promjera najmanje 200 mm, čija ulazna površina za vodu iznosi najmanje 100 cm² po dužnom metru cjevovoda.

• **Tehnički detalji gornjeg prekrivnog sloja u skladu s Uredbom o odlagalištima 2008.:**

Nakon faze odlaganja se kod svih odlagališta izvodi gornji prekrivni sloj, koji omogućuje rekultiviranje i zaštitu od erozije.

Kod nekih odlagališta, primjerice odlagališta glomaznog otpada, gornji prekrivni sloj mora imati gornji brtveni sloj i površinski sustav odvodnjavanja, kako bi se minimalizirao unos padalina. U nastavku slijedi prikaz tehničke izvedbe gornjeg prekrivnog sloja u skladu s Uredbom o odlagalištima (2008) za odlagališta glomaznog otpada:

Uredba o odlagalištima 2008 (Izvedba 1): Gornji prekrivni sloj				
		Ukupn. deblj.	2,106	m
	Rekultivirajući sloj	h = 0,5	m	
	Površinski sustav za odvodnjavanje/filter	h = 0,5	m	$k_f = 1 \cdot 10^{-2}$ m/s Grupa zrnatosti 16/32
	HDPE brtvena staza od umjetn. materijala i geotekstil	h = 0,0025 h = 0,0035	m m	
	višeslojni mineralni brtveni slojevi	h = 0,6	m	$k_f = 1 \cdot 10^{-9}$ m/s maks. veličina zrna 63 mm
	izravnjavajući sloj uključujući dren za otplinjavanje (min. 0,3m)	h = 0,5	m	maks. velič. zrna 100 mm
	Otpad	Odlagalište glomaznog otpada		

Uredba o odlagalištima 2008 (Izvedba 2): Gornji prekrivni sloj				
		Ukupn. deblj.	1,906	m
	Rekultivirajući sloj	h = min. 0.8	m	
	Površinski sustav za odvodnjavanje/filter	h = 0,5	m	$k_f = 1 \cdot 10^{-2}$ m/s Grupa zrnatosti 16/32
	HDPE brtvena staza od umjetn. materijala i geotekstil	h = 0,0025 h = 0,0035	m m	
	geosint. glinena brtvena staza (bentonitne ploče)	h = 0,1	m	$k_f < 1 \cdot 10^{-10}$ m/s
	izravnjavajući sloj uključujući dren za otplinavanje (min. 0,3m)	h = 0,5	m	maks. velič. zrna 100 mm
	Otpad	Odlagalište glomaznog otpada		

Slika 7: Tehnička izvedba gornjeg prekrivnog sloja u skladu s Uredbom o odlagalištima iz 2008. godine (Izvedba 1 s višeslojnim mineralnim brtvenim slojevima i izvedba 2 s geosintetičkom drenažom).

Kao direktni se pokrov izvodi jedan sabijeni izravnjavajući sloj iz gruboznatog materijala debljine najmanje 0,5 m (maksimalna veličina zrna 100 mm prema normi ÖNORM B 4400

„Zemljani radovi i izgradnja temelja; klasifikacija tla za građevinsko-tehničku namjenu i metode prepoznavanja grupa tla“, na njemačkom jeziku: „Erd- und Grundbau; Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke und Methoden zum Erkennen von Bodengruppen“, izdanom 1. studenog 1978. godine). Pri izboru materijala za izravnavajući sloj treba pripaziti na dovoljnu plinopropusnost. Kod odlagališta glomaznog otpada je eventualno potrebna plinodrenaža debljine najmanje 0,3 m, koja se može smatrati dijelom izravnavajućeg sloja.

Udio kalcijevog i magnezijevog karbonata u materijalu sloja za otplinjavanje ne smije iznositi više od 30%-težinskih.

Prodiranje padalina u tijelo odlagališta treba minimalizirati tako da stopa novonastale količine procjednih voda iznosi manje od 5% godišnjih padalina. Ovu vrijednost treba ustanoviti svake godine te ju ostvariti najkasnije pet godina nakon postavljanja gornjeg prekrivnog sloja. Kao osnova za mjerenja uzima se prosječna godišnja vrijednost padalina za prošlih pet godina.

Pod standardnom se izvedbom gornjeg brtvenog sloja za odlagališta glomaznog otpada podrazumijeva višeslojni mineralni brtveni sloj ukupne debljine od najmanje 60 cm u kombinaciji sa brtvom od umjetnog materijala, u balama-stazama. Primjena geosintetičkih slojeva od gline je dozvoljena, ako se pritom uvažavaju zahtjevi norme ÖNORM S 2081-1 „Odlagališta – geosintetičke brtvene staze od gline – zahtjevi i ispitivanja“ („Deponien – Geosynthetische Tondichtungsbahnen – Teil 1: Anforderungen und Prüfungen“), izdanom 1. lipnja 2006. godine, i norme ÖNORM S 2081-2 „Odlagališta – geosintetičke brtvene staze od gline – postavljanje“ („Deponien – Geosynthetische Tondichtungsbahnen – Teil 2: Verlegung“), izdanom 1. rujna 2004. godine.

Koeficijent propusnosti (k_f -vrijednost) mineralnih brtvenih slojeva za gornje brtvene slojeve ne smije prijeći 10^{-9} m/s.

Kod odlagališta za otpadne materijale i glomazni otpad mineralni brtveni materijal mora sadržavati minimalni udio finoizrnatog dodatka ($<2 \mu\text{m}$) od 20 masenih postotaka, pri čemu udio glinenih minerala u finoizrnatom dodatku mora iznositi najmanje 50%. Za bentonitom poboljšane brtvene slojeve smatra se da je dovoljan udio glinenih minerala u finoizrnatom dodatku od minimalno 40%, ako se postupak miješanja provodi u centralnom postrojenju za miješanje

Zrnatost veća od 63mm ne smije biti sadržana. Najgornji sloj brtvenog sloja na smije sadržavati zrna oštih bridova niti zrna veća od 20mm.

Sustav odvodnje gornjeg plohe preko gornjeg brtvenog sloja treba izvesti s debljinom od najmanje 50 cm (filtrirajući sloj i cjevovodi za procjednu vodu, usp. s odvodnjom dna odlagališta). Dozvoljena je primjena odgovarajućih materijala recikliranih iz glomaznih građevinskih materijala. Ako se odvodnja gornje plohe izvodi u obliku geosintetičke drenaže,

rekultivirajući sloj treba izvesti s debljinom koja prelazi mjesnu dubinu smrzavanja, no u svakom slučaju debljina treba iznositi najmanje 0,8 m. Ako nema podastrijetih podataka o mjesnoj dubini smrzavanja, za aproksimaciju se može primijeniti formula nadmorske visine u metrima / 1000. Za geosintetske drenažne elemente treba primijeniti normu ÖNORM S 2082 „Odlagališta – gornji prekrivni slojevi – zahtjevi za sustav“ („Deponien – Oberflächenabdeckungen – Systemanforderungen“), točka 4.4., izdanu u siječnju 2005. godine.

Sukladno lokaciji odlagališta, rekultivirajući sloj za treba izvesti od zemlje (tj. od materijala nastalog iskopavanjem zemlje ili od zemlje proizvedene uz dodatak sastojaka kojih inače nema u zemlji) te s debljinom od najmanje 0,5 m. Rekultivirajućiim se slojem mora osigurati dovoljna zaštita gornjeg brtvenog sloja i sustava odvodnje, osobito protiv utjecaja korova i smrzavanja. Predviđeni biljni pokrov mora osigurati dovoljnu zaštitu protiv erozije tla.

Upotreba geosintetičkih brtvenih slojeva od gline [22]:

Geosintetički brtveni slojevi od gline („bentonitne staze“) ne predstavljaju samostalni brtveni sustav, nego ih se pri pravilnoj izvedbi može upotrijebiti kao alternativa uobičajenim mineralnim brtvenim slojevima pa ih stoga ovdje i spominjemo. Bentonitne staze su industrijski predobrađeni, mehanički povezni sustav. Pritom se glina (bentonit), koja u vlažnom stanju ima svojstvo povećanja volumena, obostrano obuhvati geotekstilnim stazama i mehanički fiksira (spajanjem iglama, šivanjem ili ljepljenjem). Staze su u suhom stanju u pravilu debele između 5 i 10 mm. Po m² upotrijebjava se između 4 i 10 kg bentonita.

U vlažnom stanju (nabubrenom) geosintetičke glinene brtvene staze imaju vrlo nizak koeficijent propusnosti (k_f) od $\leq 1 \cdot 10^{-10}$ m/s. Kod odlagališta za ostatni otpad i glomazni otpad ima smisla upotreba dvije, jedna preko druge položene bentonitne staze, jer je računaska potreba od 60cm mineralnog brtvljenja s jednom stazom teško za ostvariti. Za osigurati bentonitnu stazu od probijanja korjenja, ima smisa upotrijebiti geotekstil kao prepreku za korjenje.

Zahtjevi za materijale tekstil, bentonit i njegova veziva, kao i zahtjevi za polijeganje staza su jako dobro poznati i normirani.

U Austriji ima za navesti nekoliko primjera za primjenu bentonitnih staza kao dijela gornjeg prekrivanja, kao npr. na odlagalištu Am Zigelofen (St. Pölten), Bauer odlagalište (Fischamend) i Redlham (Attnang-Puchheim).

Jedna od primjena bentonitnih staza je kao privremeno pokrov odlagališta. Budući da se u prvoj fazi nakon završetka odlagališta očekuju jaka slijeganja, bentonitne staze mogu zbog svojeg svojstva preoblikovanja bolje pretrpjeti ova slijeganja nego uobičajeni mineralni brtveni slojevi. Za ostvarivanje ciljeva austrijske uredbe o odlagalištima vezanih uz privremeno prekrivanje ipak nije korisna primjena bentonitnih staza, jer uopće ne omogućuju prodiranje vode.

I u Njemačkoj se bentonitne staze već više od 15 godina primjenjuju na odlagalištima. Najčešće se bentonitne staze u Njemačkoj koriste kao privremeni pokrov gornjih površina, a za osiguranje brtvljenja u fazi kada nastupaju najveća slijeganja. Primjeri za to su odlagališta Außernzell (LK Deggendorf), Nevern (LK Nordwest- Mecklenburg), Berndshof (LK Uecker-Randow), Tagewerben (LK Weoßenfels) i Hillern (LK Soltau-Fallingb.ostel).

Bentonitne staze mogu pri izvedbi konačnog gornjeg prekrivnog sloja prema standardnoj izvedbi zamijeniti 40 do 60 cm debeli mineralni brtveni sloj. Jednostavnije ih je postaviti te su time jeftinije. Tako se može dobiti i na volumenu odlagališta, jer su tanje, što prije svega može biti važno kod manjih odlagališta.

Postoji mnogo primjera za upotrebu bentonitnih staza kao dio konačnog prekrivanja gornje plohe u Njemačkoj, kao npr. odlagališta Neu Wulmsdorf (LK Harburg), Großkerbetha (LK Weißenfels), Eichenthal (LK Saale-Orla) i Dorotheenhof (LK Demmin).

Bentonitne staze se također često primjenjuju na kosinama. I ovdje su jednostavnost polaganja i fleksibilnost kod prijelaza prednost.

Mnogobrojne su prednosti primjene bentonitnih staza kod prekrivanja gornjih ploha:

- brzo polaganje i jednostavno rukovanje;
- mala debljina sloja, te time dobitak na volumenu odlagališta;
- čuvanje resursa zemljanih materijala;

- visoko svojstvo brtvljenja;

- bolja otpornost slijeganja nego mineralni brtveni slojevi;

- otpornost prema kemijskim opterećenjima.

Treba navesti slijedeće nedostatke:

- mogućnost mehaničkih oštećenja (npr. kroz probijanje korijenja);
- osjetljivost na isušivanje;
- pogoršanje materijala uslijed starenja;
- smanjenje svojstva brtvljenja kroz pretvorbu natrija u kalcijev bentonit za do najviše desetu potenciju;
- manji kapacitet upijanja u odnosu na uobičajene mineralne brtvene slojeve;
- ugrožena stabilnost kod strmijih kosina.

Da bi se ustanovila sposobnost brtvljenja bentonitnih staza, u laboratoriju se pomoću pokusa propustljivosti utvrđuje dielektričnost. To je propusnost vode u odnosu na debljinu brtvenog sloja.

Dugogodišnja mjerenja na terenu na gornjim prekrivnim slojevima izvedenim iz bentonitnih staza s pokrovom od 1,0 do 1,3 m u obliku sloja za odvodnju i rekultivirajućeg sloja pokazuju da vrijednost novonastalih procjednih voda, ovisno o klimatskim uvjetima, iznosi između 5 i 25 mm/a. Pri količini padalina od 500 mm/a do 1000 mm/a stope novonastale procjedne vode iznose dakle daleko ispod 5%.

Iskustva iz Sjedinjenih američkih država pokazuju da se kombiniranim brtvljenjem iz brtvenih staza od umjetnih materijala i geosintetičkih brtvenih glinenih brtvenih staza, u usporedbi sa svim ostalim sustavima, mogu ostvariti daleko najniže količine procjedne vode.

U slučaju isušivanja može doduše doći do značajnog pada sposobnosti brtvljenja. Ipak, ako je prekrivanje dostatno (opterećenje > 20 kPa), smatra se da se sustav može na pouzdan način sam regenerirati.

Privremeno prekrivanje gornjih ploha:

U Austriji vrijedi kao norma, da se kod otpada s visokim udjelom biološki razgradivog otpada, posebice otpada od kućanstava, izvodi privremeno prekrivanje gornjih ploha na max. 20 godina, kako bi se moglo bolje upravljati sadržajem vode i povećati stupanj prikupljanja odlagališnog plina. **Konačno prekrivanje gornjih ploha se izvodi tek nakon završetka svih mjera za intenziviranje bioloških procesa razgradnje.**

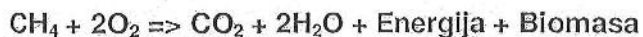
Za privremeno prekrivanje gornjih ploha vrijedi prema austrijskoj Uredbi o odlagalištima (2008, dodatak 3) između ostalog i slijedeće:

- Za izvođenje privremenog pokrova gornjih brtvenih površina ne smije se koristiti kompost proizveden ostalog otpada
- Funkcije privremenog pokrova gornjih brtvenih površina moraju ostati očuvane i u slučaju slijeganja tijela odlagališta (potrebni popravci se moraju odmah izvesti).
- Izvođenje privremenih prekrivanja zahtijeva prije svega optimizaciju što se tiče zadržavanja vode i nastajanja metana.
- Emisije metana preko gornjih ploha < 5 kg CH₄/m²*a
- Dovoljno infiltracije vode za pravilno održavanje odnosno porast anaerobnih (eventualno aerobnih) procesa razgradnje;

Pritom sloj oksidacije metana predstavlja i jedan prirodni sustav, kod kojega će emisije metana ostatnog plina biti mikrobiološki razgrađene. Isti se može vrlo koristno primijeniti kao privremeni pokrov neposredno nakon završetka odlaganja, dok je proizvodnja plina još relevantna, a unos određene količine vode još poželjan.

Sloj oksidacije metana [22]:

Glavna funkcija ovog gornjeg prekrivnog sloja je stvaranje prikladnih životnih uvjeta za mikroorganizme koji oksidiraju metan. Kod toga mikroorganizmi u aerobnoj sredini pretvaraju metan u ugljični dioksid i vodu te toplinu i biomasu, a kroz ovaj se prirodni proces količina metana smanji na mjeru koja je podnošljiva za prirodu:



Za ovaj proces mikroorganizmi trebaju:

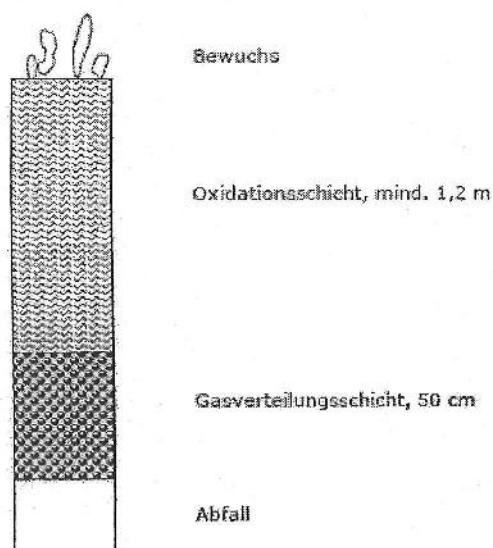
- Metan i kisik;
- Vodu i hranu;
- Prikladnu okolišnu temperaturu.

Struktura sloja metanske oksidacije izgleda kao što slijedi:

- **Sloj raspodjele plina**, s visokom propusnošću plina, kako bi se odlagališni plin homogeno rasporedio na preko toga ležeći sloj za oksidaciju; jamstvo dugoročno visoke propusnosti plina (izvedba: 50 cm, gruba zrnatost (min. 16/32), grubi šljunak siromašan vapnencom)¹. Sloj raspodjele plina je neophodni dio privremenog pokrova. Od velike je važnosti kako ravnomjerno opterećenje privremenog pokrova odlagališnim plinom za oksidaciju metana, tako i homogeno raspoređivanje infiltrirane vode padalina na tijelo odlagališta (za anaerobnu odnosno aerobnu razgradnju).

¹ Upotreba recikliranog materijala (npr. građevinski otpad) moguća; dokaz dugotrajne tehničke ispravnosti (prije svega fizikalne i kemijske stabilnosti); ispitivanje mogućeg negativnog utjecaja na okoliš;

- Sloj za oksidaciju metana, u kojemu su životni uvjeti za mikroorganizme optimizirani te ih se održava što je moguće konstantnijima; izgradnja iz gruboznatog, strukturno stabilnog supstrata s velikim udjelom stabilne organske substance (potrebna je dovoljna propusnost plina, da bi zrak s kisikom odozgo i metan odozdo mogli prodrijeti u sloj); najbolja su iskustva sa **zrelim kompostom** napravljenim sa zadovoljavajućim udjelom strukturnog materijala (usitnjeno nasječeno drvo), visoke strukturne stabilnosti, visoke sposobnosti zadržavanja vode, dobre raspoloživosti hranidbenih tvari i visoke sposobnosti zadržavanja topline (zahtjevi mikroorganizama); najmanje debljine kod gradnje 1,2m (nakon slijeganja i procesa konsolidacije dugoročna debljina najmanje jedan metar) i k tome u cijeli oksidacijski sloj mora prodirati kisik (već prema materijalu osigurati 2-2,5 m); vrsta ozeljenjavanja također utječe na potrebnu debljinu.



Slika 8: Općenita strukture sloja za oksidaciju metana [22]

Objašnjenje slike 8: Bewuchs – *raslinje*;
 Oxidationsschicht, mind. 1,2 m – *sloj za oksidaciju, minimalno 1,2 m*;
 Gasverteilungsschicht, 50 cm – *sloj za raspodjelu plina, 50 cm*,
 Abfall - *otpad*

Treba izbjegavati inhibitore, kao npr. amonij ili nitrit. Sposobnost učinka razgradnje metana jako ovisi o primjenjenim materijalima i izgradnji. Smatra se da su već dosad dobro istraženi zahtjevi koji se tiču primjenjenih materijala i izgradnje sloja za oksidaciju metana. Također postoji nekoliko istraživanja o stopama razgradnje koje se mogu postići u različitim uvjetima. Prema sadašnjim se saznanjima **kod prosječnih austrijskih klimatskih uvjeta kroz cijelu godinu bez problema razgradi količina metana od 25 kg CH₄/m² god.**, ako se izgradi sloj sastavljen od sloja raspodjele plina debljine 30 do 50 cm i sloja za oksidaciju metana debljine 100 do 150 cm iz mješavine zrelog komposta (visokog udjela stabilne organske substance) i strukturnog materijala (visoke propusnosti plina. Ovo odgovara (kod visine odlaganja od 15 m) otprilike proizvodnji odlagališnog plina od 5 m³ po toni otpada godišnje, što odgovara prosječnoj proizvodnji plina jednog starijeg odlagališta kućnog otpada.

Maksimalno površinsko opterećenje, koje se u pravilu kod idealnih uvjeta može još potpuno razgraditi iznosi **cca. 60 kg CH₄/m² god.** Ovo otprilike odgovara proizvodnji plina mlađih odlagališta s visokim udjelom prethodno neobrađenog organskog otpada.

U Austriji su do sada tri odlagališta pod Uredom za zaštitu okoliša Donje Austrije prekrivena sa slojem za oksidaciju metana iz **komposta proizvedenog od mulja od pročišćenih voda** (Tulln, St. Valentin i Ameis). Stope oksidacije metana kod sva tri odlagališta iznose **većinom preko 90 %**. Također se jedno staro odlaganje u Braunau-u isto potpuno prekrilo sa slojem za oksidaciju metana te su na više odlagališta instalirani otvori za oksidaciju metana (Amstetten, Pausendorf, Oberaich).

Idealno područje primjene sloja za oksidaciju metana je u obliku privremenog pokrova u prvoj fazi nakon zatvaranja odlagališta s relativno visokim udjelom organskog otpada. Tada se emisije metana mogu jako smanjiti, a dovoljna količina vode može prodrijeti u tijelo odlagališta za poticanje proizvodnje odlagališnog plina.

Ovo ciljano navodnjavanje može biti korisno i uz aktivno otplinjavanja, kako bi se potaknula proizvodnja odlagališnog plina i istovremeno minimalizirale ostatne emisije.

Sloj za oksidaciju metana može biti koristan i u kombinaciji s mjerama prozračivanja in situ. Time se može sadržaj vode optimizirati u svrhu aerobne razgradnje, a smanjiti ostatne emisije.

Jako velike padaline mogu negativno utjecati na propusnost plina; jako male padaline mogu dovesti do isušivanja prekrivnog sloja i time zaustaviti oksidaciju metana. Vrlo niske temperature kroz duže vremensko razdoblje mogu negativno utjecati na mikrobiološku aktivnost.

Dosadašnje iskustvene vrijednosti o troškovima izgradnje sloja za oksidaciju sa slojem za raspodjelu plina i slojem za oksidaciju iz komposta i strukturnih materijala iznose od 20 do 30 eura / m², a dijele se na slijedeći način:

- Sloj za oksidaciju i raslinje: 15,- bis 25,- €/m²
- Izravnavajući sloj i sloj za raspodjelu plina: 5,- bis 10,- €/m²

Preporuča se trajno praćenje, 1 x godišnje, uređajem za mjerenje metana FID s rasterom mjerenja 30 x 30 m.

Sažetak mogućnosti i svojstva prekrivanja gornjih ploha s prednostima i nedostacima [22]:

Tablica 7: Sustavi prekrivanja gornjih ploha i njihova izgradnja, područja primjene i stupanj brtvljenja

Sustav	Izgradnja	Područje primjene	Stupanj brtvljenja
Standardna izvedba	I Raslinje I Rekultiviranje (> 50cm) I Sloj za odvodnju I Eventualno brtvene staze od umjetnih materijala (> 40cm odn. 60 cm) I Sloj za otplinjavanje (> 30 cm) I Izravnavajući sloj (> 50 cm)	I Općenito često u primjeni, jer je trenutno stanje tehnike I Ima smisla na područjima s puno padalina I Ima smisla kod otpada s visokom udjelom štetnih tvari	Vrlo dobro brtvi za plin i vodu
Bentonitne staze	Alternativa uobičajenim mineralnim brtvenim slojevima kod standardne izvedbe	I Općenito često u primjeni, jer je financijski povoljnije od mineralnih brtvenih slojeva I Ima smisla kod malih odlagališta (za dobivanje na volumenu odlagališta) I Primjenljivo kod kosina (jednostavno postavljanje i fleksibilnost)	Vrlo dobro brtvi za plin i vodu
Sloj za oksidaciju metana	I Raslinje I Oksidacijski sloj (> 120 cm) I Sloj za otplinjavanje (> 50 cm)	I U Austriji već često u primjeni I Ima smisla kao privremeno prekrivanje u prvoj fazi nakon završetka odlaganja	Dovoljno dobro brtvi za plin, kod odgovarajućih izvedbi također dobro brtvi za vodu

Tablica 8: Sustavi prekrivanja gornjih ploha i njihove prednosti i nedostaci

Sustav	Prednosti	Nedostaci
Standardna izvedba	<ul style="list-style-type: none"> I Stanje tehnike, pravna sigurnost I Brzo i jako smanjenje stvaranja procjednih voda I Smanjeni troškovi za zbrinjavanje procjednih voda I Trenutno prekidanje iznošenja štetnih tvari 	<ul style="list-style-type: none"> I Opasnost od sušenja i riseva u glineno-mineralnoj brtvi I Osjetljivost na slijegnje I Visoki troškovi gradnje I Suho stabiliziranje otpada I Problem čvrstoće stabilnosti kod strmijih kosina
Bentonitne staze	<ul style="list-style-type: none"> I brzo i jednostavno postavljanje I jeftinije rješenje od mineralnog brtvenog sloja I tanki sloj I ušteda resursa zemljanog materijala I veliki stupanj brtvljenja, čuvanje topline I otpornije na slijeganja od mineralnog brtvenog sloja I visoka otpornost na kemijska opterećenja 	<ul style="list-style-type: none"> I osjetljive na mehanička oštećenja I osjetljive na isušivanje I degradacija materijala usred starenja I smanjenje stupnja brtvljenja zbog pretvorbe matrij-bentonita u kalcij-bentonit I ugrožena stabilnost kod strmijih kosina
Sloj za oksidaciju metana	<ul style="list-style-type: none"> I Jednostavni i prirodni sustav I Dugoročno funkcionalan I Malo zahtjevan za održavanje I Troškovno povoljan I Nema suhe stabilizacije 	<ul style="list-style-type: none"> I Teško je ostvariti stopu novonastale količine procjednih voda > 5 % bez dodatnih brtvenih elemenata I Zahtjeva praćenje I Ograničenja kod naknadnog korištenja

- Zahtjevi za mjere otplinjavanja za odlagališta i stara odlaganja prema austrijskoj normi ÖNORM S 2084 [18]:

1) Količina i kakvoća deponijskog plina

Potencijal nastajanja plina ovisi o udjelu mikrobiološki razgradivih ugljičnih spojeva, sadržaju vode, udjelu kisika u porama, ponudi hranidbenih tvari, koncentraciji otrovnih materijala, tj. materijala koji usporavaju razgradnju i temperaturi. Metode za procjenu potencijala nastajanja plina su, među ostalim, stvaranje plina u testu inkubacije nakon 21 dana ili 90 dana (GS₂₁ ili GS₉₀) ili stvaranje plina u testu vrenja nakon 21 dana (GB₂₁).

Sadržaj vode u otpadu može se smatrati najvažnijim faktorom koji utječe na proizvodnju metana. U području s 20-60 % sadržaja vode povećanje za nekoliko postotaka prouzrokuje značajno povećanje proizvodnje metana. Anaerobna faza se kod sadržaja vode manjeg od 15 % prekida (suha konzervacija), a smanjuje kod manje od 30 %, optimalno područje počinje od cca. 40 %.

Kretanje vode je također važan faktor. Organske kiseline koje nastaju u kiseloj fazi (jednostavne ugljične kiseline itd.) se kod izostanka kretanja vode kroz tijelo odlagališta obogaćuju, što sprečava bakterije u stvaranju metana (ograničeni supstrat). Ovo nadalje vodi do porasta parcijalnog pritiska vodika te time do pada aktivnosti bakterija koje stvaraju octene kiseline i do sporije razgradnje ugljičnih kiselina. Optimalna temperatura je između 30 i 40 °C. No ovo vrijedi samo kod nestabilnih temperaturnih nivoa. pH-vrijednost se treba stalno nalaziti u području između 6 i 8. Previska odnosno preniska pH-vrijednost je štetna za bakterije koje stvaraju metan. Uz to u fazi kiselog vrenja postoji opasnost od mobiliziranja teških metala, koji štetno djeluju na bakterije koje stvaraju metan. [19]

Nastajuća količina odlagališnog plina eksponencijalno i kontinuirano pada u vremenskom razdoblju od nekoliko desetljeća (cca. 50 godina). Međutim, ovisno o prodiranju vode, preraspodjeli vode i odloženom otpadu mogu kratkotrajno nastupiti jaka, kako vremenska tako i prostorna odstupanja u proizvodnji odlagališnog plina.

U stabilnoj fazi metana (Faza I) uspostave se približno stabilne koncentracije. Udio metana iznosi oko 55%, CO₂-udio oko 44% (odnos CH₄ : CO₂ oko 1,2 : 1), a udio ostalih tvari u tragovima manje od 1% volumni.

Opisano odvijanje ovog dugoročnog procesa stvaranja odlagališnog plina, a time i intenzitet razgradnje organske substance, nije proces koji se odvija homogeno i paralelno u svim dijelovima odlagališta ili starog odlagališta. Voda potrebna za stvaranja odlagališnog plina potječe iz primarnog sadržaja vode u otpadu te iz pridošle vode od padalina. Ako je sadržaj vode ispod određene vrijednosti (otprilike 15-20 % vlažne mase), jako opada intenzitet mikrobioloških reakcija razgradnje ili one pak u potpunosti prestanu.

Osim dugog vremena odlaganja su slijedeći fenomeni, specifični za svako odlagalište, bitni za nehomogenu preraspodjelu sadržaja vode, a time i za nehomogenost mikrobioloških procesa razgradnje:

- nehomogenost uvjetovana materijalom zbog neravnomjerne raspodjele organske substance;
- nehomogenost uvjetovana strukturom, npr. zbog pregradnih slojeva iz plastičnih folija, lokalnih vodoravnih kompresiranih slojeva ili puteva kojima se najlakše kreću voda i plin

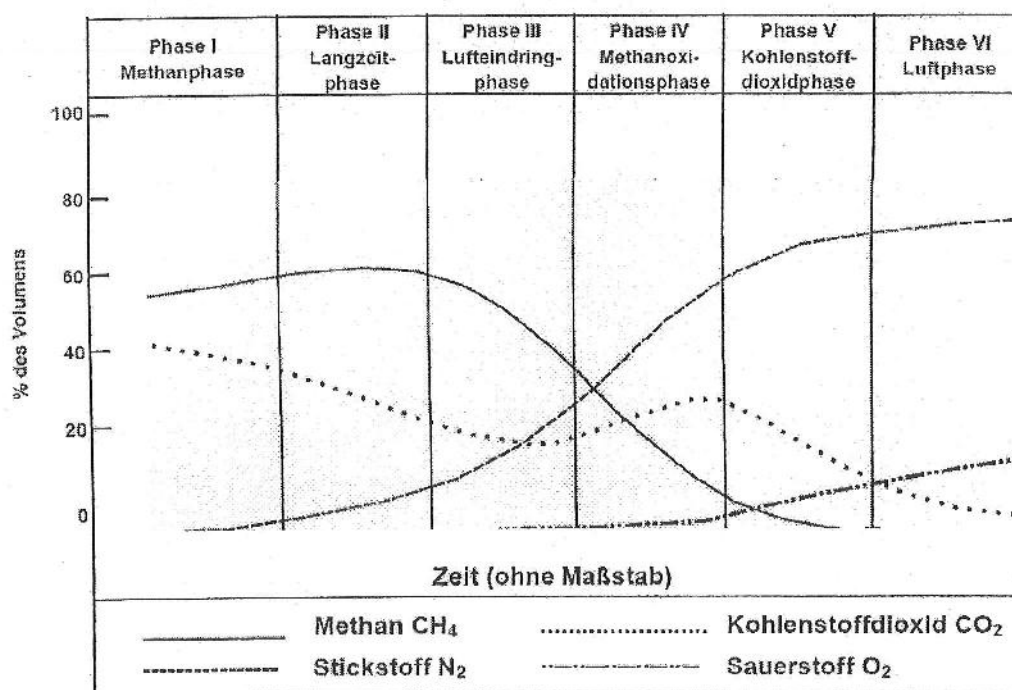
Ovi fenomeni nemaju samo djelovanje na količinu i sastav plina, već vodi i k različitim procesima slijeganja (tzv. diferencijalno slijeganje), čiji je površinski razmjer i odvijanje kroz vrijeme gotovo nemoguće prognozirati.

Pored ovih gore opisanih procesa slijeganja, koji su povezani s procesima razgradnje, u tijelu odlagališta dolazi do konsolidacijskih slijeganja. Konsolidacijska slijeganja, koja nastaju zbog nehomogenosti uvjetovane materijalom, također u pravilu nisu ravnomjerno raspoređena površinom odlagališta.

Zbog opterećenja tijela odlagališta u smjeru temelja odlagališta dolazi do povećanja stlačenosti tijela odlagališta.

Geotehnička su svojstva, poput kuta trenja ili kohezije, zbog razlika u materijalu također prostorno jako različita. Plastične folije mogu primjerice, već prema svom položaju u tijelu odlagališta odnosno njihovoj povezanosti s otpadnom matricom koja ih okružuje, djelovati ili kao klizne vodoravne staze ili kao prepreke. Nadalje tijekom procesa razgradnje kroz vrijeme dolazi također i do toga da se grubozrnati sastav otpada i otpadnih komponenti usitnjavanjem pretvara u fino-zrnatu frakciju.

% od volumena	Faza I	Faza II	Faza III	Faza IV	Faza V	Faza VI
	Faza metana	Dugoročna faza	Faza prodiranja zraka	Faza oksidacije metana	Faza ugljičnog dioksida	Faza zraka

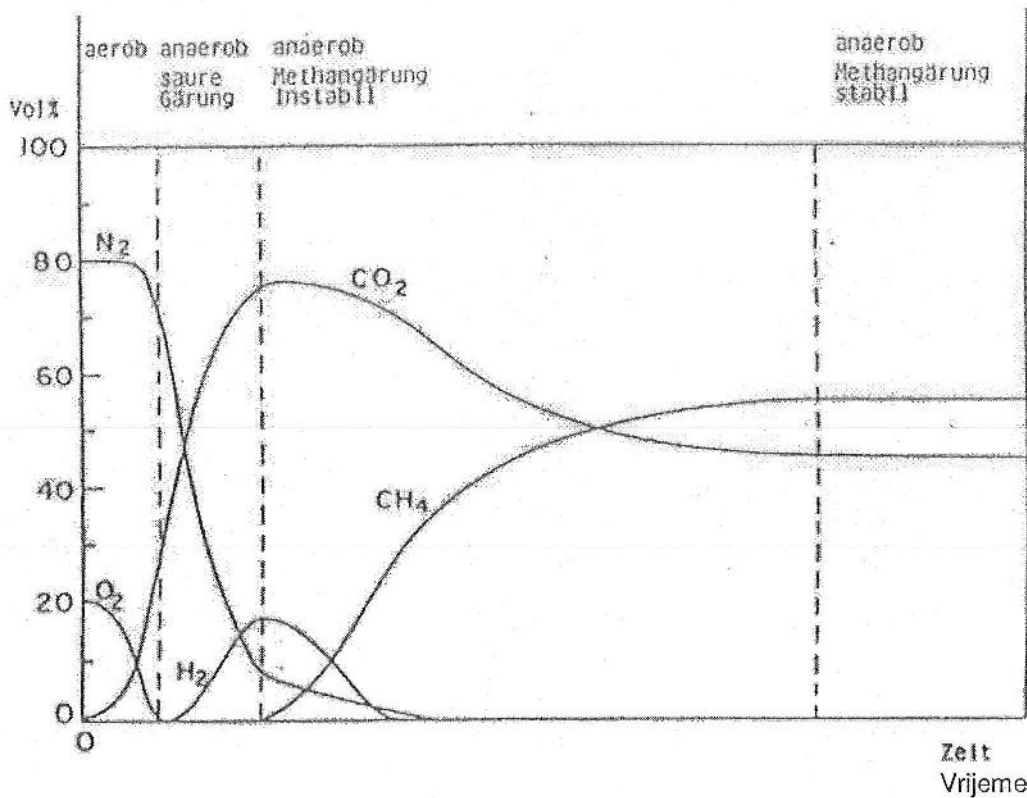


Vrijeme (bez mjerila)

Metan CH₄ Ugljični dioksid CO₂
 Dušik N₂ Kisik O₂

Slika 9: Dugoročno ponašanje proizvodnje odlagališnog plina kod odlagališta kućnog otpada

Aero- bno	Anaero- bno	Anaerobno	Anaerobno
	Kiselo vrenje	Vrenje metana nestabilno	Vrenje metana stabilno



Slika 10: Sastav plina tijekom razgradnje otpada od kućanstava [19]

2) Trajanje pojedinih faza razgradnje

Vremensko odvijanje gore navedenih faza razgradnje jako ovisi o uvjetima koji vladaju na određenom mjestu u tijelu odlagališta. U idealnim uvjetima, tj. pri optimalno usitnjenom, homogeniziranom i dovoljno vlažnom otpadu i optimalnoj temperaturi dolazi do drugačijih vremenskih razdoblja raspadanja od onih koje se eventualno mogu utvrditi u stvarnosti. U idealnom slučaju, faza I (aerobna faza) traje nekoliko tjedana, faza II (kiselo vrenje) nekoliko mjeseci te faza III (nestabilno vrenje metana) 1 do 3 godine. Trajanje faze IV (stabilno vrenje metana) jako ovisi o količini postojećeg, razgradivog materijala, ali se ne može predvidjeti sa sigurnošću, jer na kraju te faze dolazi do prekidanja procesa, no ta faza u pravilu traje desetljećima. [20]

Tablica 9: Faze i njihovo trajanje kod stvaranja metana u odlagalištu

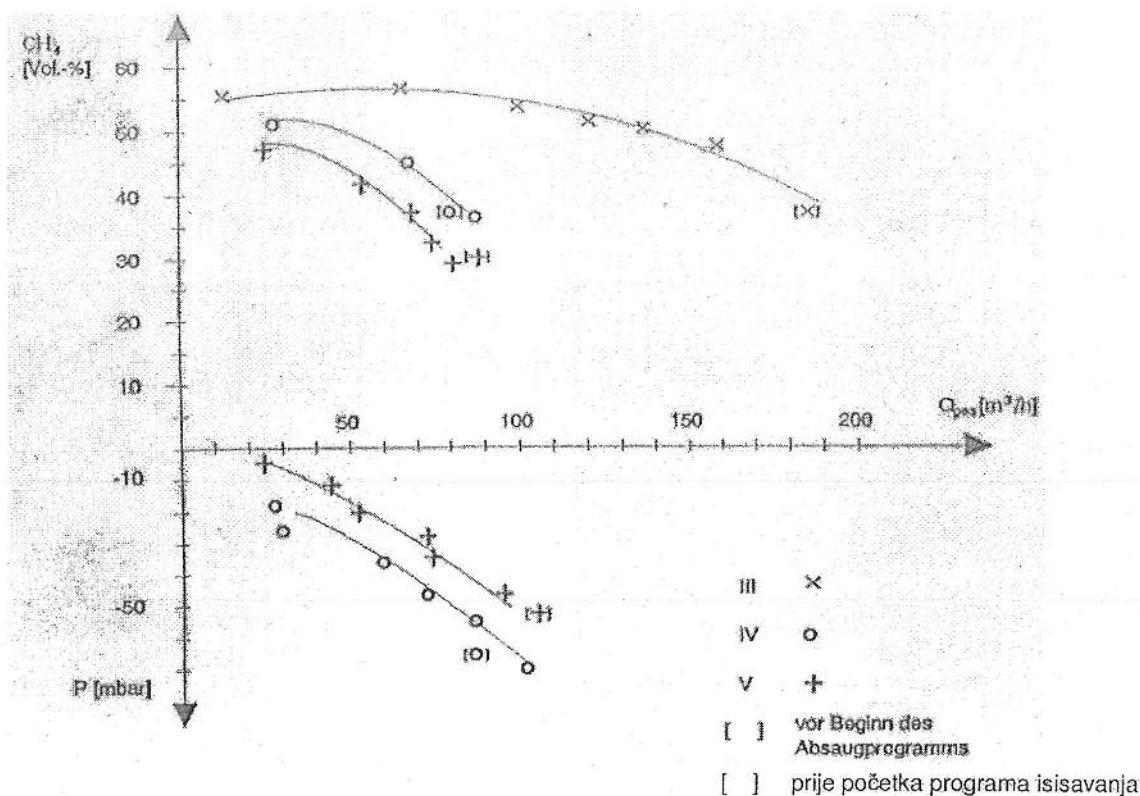
	Faze:		
I	aerobna	oksidacija	nekoliko tjedana
II	anaerobna	kiselo vrenje	nekoliko mjeseci
III	anaerobna	vrenje metana – nestabilno	1-3 godina
IV	anaerobna	vrenje metana - stabilno	>20-50 godina

3) Aktivno otplinjavanje

Pri aktivnom otplinjavanju odlagališni se plin isisava s odlagališta pomoću mehanički stvorenog podtlaka. U tu svrhu se u tijelo odlagališta ugrađuju horizontalni, vertikalni ili kombinirani elementi za otplinjavanje.

- **Plinski zdenci:** oni se katkad podižu istovremeno kad se vrši i odlaganje otpada (tzv. "usporedno rastući plinski zdenci"), ali se također mogu izvesti i naknadno bušenjem.

Istraživanja na odlagalištima su pokazala da se odlagališni plin viši širi horizontalno nego vertikalno, te da se gibanje plina (tzv. migracija) odvija uglavnom duž određenih puteva protoka u unutrašnjosti odlagališta, kroz koje plin najlakše prolazi. Ti najlakši putevi protoka plina katkad završavaju tek neposredno kod prekrivnog sloja. Pri aktivnom otplinjavanju se stoga daje prednost isisavanju tih puteva te time i točaka gdje ističe velika količina plina. Ako treba još više smanjiti difuzne emisije, onda se to može postići pažljivim povećanjem podtlaka. Međutim, tako se povećava rizik, da će se u slučaju pretjeranog isisavanja i vanjski zrak usisati kroz preferirane puteve protoka. Isisani se volumni protok plina uvijek mora promatrati u odnosu na izmjerene koncentracije. Činjenica da pri isisavanju odlagališta i zrak prodire u tijelo odlagališta, može se dobro ustanoviti pokusima isisavanja. Sljedeća slika (Slika 11) prikazuje koncentraciju metana u odnosu na volumni protok. Oblik krivulje pokazuje da nakon određene točke, koja ovisi o sustavu, s povećanjem volumnog protoka plina opada sadržaj metana, jer se usisava sve više zraka (odlagališni plin se zbog N_2 razrijedi). Može se primijetiti da koncentracija metana više ili manje varira, pri čemu su krivulje različite za svaki plinski zdenac. Stoga je korisno i potrebno da se na postrojenju za otplinjavanje može zasebno upravljati svakim plinskim zdencem ili kolektorom. Budući da je za iskorištavanje i obradu odlagališnog plina potreban minimalni udio metana, ograničen je i volumni protok koji se može prikupiti. [19]



Slika 11: Odnos između koncentracije metana, protoka plinskog volumena i primjenjenog podtlaka na pojedinim plinskim zdencima [19]

Objašnjenje slike 11: Q_{Gas} (m³ / h) - Q_{plin} (m³ / h)

Upravljanje i podešavanje pojedinog plinskog zdenca odvija se pomoću smanjenja podtlaka ili količine protoka. Osnova za regulaciju je mjerenje kakvoće plina svakog kolektora (tj. plinskog zdenca). Kakvoća plina se može utvrditi prijenosnim mjernim uređajima. Imjeriti treba komponente metana, kisika, ugljičnog dioksida i dušika, ili najmanje troje njih, ne bi li se moglo procijeniti radno stanje. [19]

Nadalje treba uzeti u obzir oksidaciju metana kao posljedicu usisavanja vanjskog zraka ("pretjerano isisavanje"). Pritom se mogu primijetiti određeni efekti i to u obliku nižih koncentracija metana i povišenih koncentracija CO₂ u prikupljenom odlagališnom plinu. [19]

Sljedeća tablica daje pregled potencijala stvaranja plina iz otpada. No, uzevši u obzir priložene podatke, treba pretpostaviti da se pritom radi o prethodno neobrađenom otpadu, tj. da tada još nije bilo posvuda uvedeno odvojeno prikupljanje vrijednih tvari.

Tablica 10: Ukupni potencijal stvaranja plina iz kućnog otpada, rezultati dobiveni laboratorijskim pokusima

Literatura	Zbroj proizvodnje plina u m ³ /t vlažnog otpada
Pfeffer (1974)	186
Klein (1980)	235
Hitte (1976)	204
Stegmann (1982)	120-150
Literatura	
	Zbroj proizvodnje plina u m³/t suhog otpada
Stegmann & Dernbach (1981)	150-200
Wolfram (1986)	120-400
Jessberger (1992)	150-235
Ehrig i dr. (1995)	120-200

Lechner za „miješani komunalni otpad“ navodi potencijal stvaranja plina od 100-180 m³/t po toni otpada. [19]

Za različita se odlagališta može navesti slijedeći poredak što se tiče stvaranja plina [22]:

- Mlađa odlagališta s visokim udjelom prethodno neobrađenog organskog otpada: 10 do 20 m³ odlagališnog plina po toni otpada godišnje.
- Starija odlagališta komunalnog otpada s visokim udjelom prethodno neobrađenog organskog otpada: 3 do 10 m³ odlagališnog plina po toni otpada godišnje.
- Odlagališta s pretežno biološkim, prethodno obrađenim otpadom: 1 do 5 m³ odlagališnog plina po toni otpada godišnje

4) Prognoza odlagališnog plina

Najčešće se primjenjuje kombinacija matematičkog i fizikalnog modela za prognozu kako bi se opisala količina plina koja nastaje na odlagalištu. Pritom se proces stvaranja plina opisuje pomoću matematičke formule u kombinaciji s iskustveno utvrđenim parametrima. Najuobičajeni i najčešći modeli su „Švicarski model“, „Ehrigov model“, „Hoeks-Oosthoeksov model“, „Marticorenov model“ i „**Tabasaran-Rettenbergerov model**“.

Svim tim modelima je zajedničko da se vremensko odvijanje stvaranja plina opisuju pomoću **reakcije prvog reda**, no pojedini se modeli jako razlikuju po svojim parametrima.

Ti parametri kod svih modela jako ovise o faktorima koji se tiču samog rada odlagališta, poput uvjeta koje vladaju u tijelu odlagališta, vrsti, sastavu i izmiješanosti otpada, vlazi, temperaturi, stupnju brtvljenja, pH-vrijednosti te stupnju prikupljanja, a to otežava izradu pouzdane prognoze količine odlagališnog plina, ako se ne poznaju dobro uvjeti koji vladaju na pojedinom odlagalištu.

Tabasaran-Rettenbergerov model je model koji se najčešće koristi za izradu prognoze stvaranja odlagališnog plina. Ovaj se model temelji na pretpostavci da pri potpunoj razgradnji **teorijski potencijal stvaranja plina** (zbroj stvorenog metana i CO₂) iznosi **1.868 m³ po kg odloženog ugljika**.

$C_{\text{teor.}} = 1,868 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ ukupni teorijski potencijal stvaranja plina po kg ugljika

Ukupna količina plina tj. količina plina koja nastaje od trenutka odlaganja do vremena t može se matematički opisati pomoću **funkcije raspadanja 1. reda** [21]:

$$G_{t\Sigma} = G_e \cdot (1 - e^{-k \cdot t}) \quad [1]$$

$G_{t\Sigma}$ do trenutka t stvorena, ukupna količina odlagališnog plina [$\text{Nm}^3/\text{t}_{\text{otpad}}$]

G_e ukupni potencijal stvaranja plina [$\text{Nm}^3/\text{t}_{\text{otpad}}$]

t vrijeme u godinama [a]

k parametar konstanta razgradnje [$1/a$]

(Određivanje pomoću procjene parametara iz eksperimentalnih vrijednosti ili nepoznato)

Jednadžba [1] opisuje ukupni zbroj plina stvorenog do trenutka t . Da bismo dobili proizvodnju plina po jedinici vremena, jednadžbu [1] moramo riješiti s obzirom na vrijeme. Oblik krivulje iz jednadžbe [2] zatim odgovara protoku volumena koji se trenutno proizvodi i odnose prikazuje jasnije od krivulje zbroja.

$$G_t = d/dt G_e \cdot (1 - e^{-k \cdot t})$$

$$G_t = G_e \cdot k \cdot e^{-k \cdot t} \quad [2]$$

G_t u trenutku t stvorena količina odlagališnog plina [$\text{Nm}^3/(\text{t}_{\text{otpad}} \cdot a)$]

Takozvani potencijal nastanka plina za specifični odloženi otpad može se odrediti pomoću Fizikalnog modela na temelju teorijskog potencijala stvaranja plina, organskog sadržaja ugljika u otpadu te korekcijskog faktora koji ovisi o temperaturi [21]:

$$G_e = 1,868 \cdot \text{TOC} + (0,014 \cdot T + 0,28) \quad [3]$$

G_e potencijal nastanka plina kroz cijelo vrijeme razgradnje [$\text{Nm}^3/\text{t}_{\text{otpad}}$]

TOCorganski sadržaj ugljika u otpadu [kg/t]

Ttemperatura u [$^{\circ}\text{C}$]

$(0,014 \cdot T + 0,28)$ korekcijski faktor ovisan o temperaturi

Organski sadržaj ugljika nekog reprezentativnog uzorka može se točno utvrditi, dok se prosječni TOC-sadržaj nekog odlagališta otpada staroga 35 godina, poput npr. odlagališta Rautenweg u Beču, teško može točno odrediti te se može samo napraviti gruba procjena srednje vrijednosti na temelju iskustvenih vrijednosti. Pogrešna procjena može pak dovesti do značajne pogreške u prognozi odlagališnog plina. **TOC-vrijednost** je za **otpad iz kućanstava** uglavnom u rasponu od **170-200kg / t**.

Kako bismo spojili Matematički model s Fizikalnim modelom, jednadžbu [3] uvrstimo u jednadžbu [1] te iz toga dobijemo sljedeće jednadžbe

$$G_{\Sigma} = 1,868 \cdot \text{TOC} + (0,014 \cdot T + 0,28) \cdot (1 - e^{-k \cdot t}) \quad [4]$$

$$G_t = 1,868 \cdot \text{TOC} + (0,014 \cdot T + 0,28) \cdot k \cdot e^{-k \cdot t} \quad [5]$$

Da bismo dobili stvarno proizvedenu količinu odlagališnog plina, jednadžbe [1] i [2] moramo pomnožiti s količinom otpada koja se godišnje odlaže te dodatno u računicu uključiti vremenski pomak od 1-3 godine do početka stabilne faze metana. Porast proizvodnje plina sve do maksimalne proizvodnje početkom stabilne faze metana može se također opisati eksponencijalnom funkcijom:

$$G_t = G_e \cdot k \cdot e^{-k_1 \cdot (t_1 - t)} \quad [6]$$

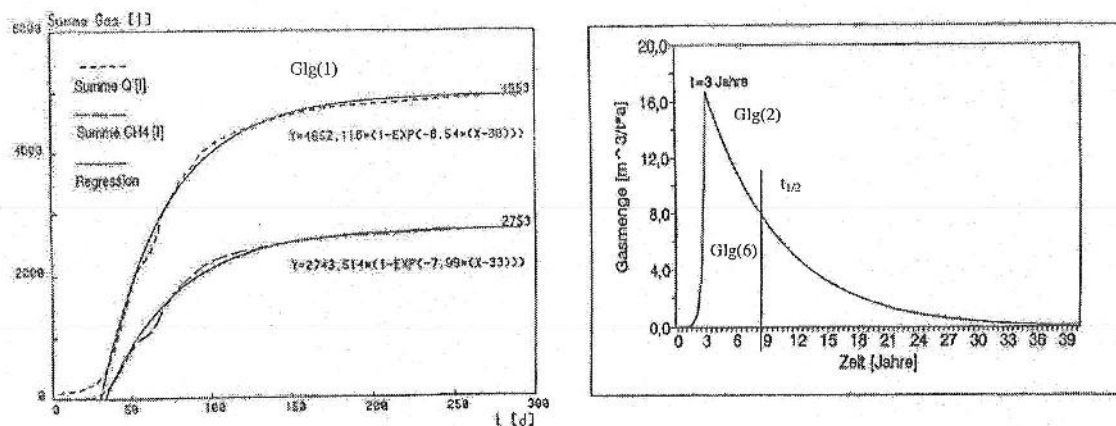
s:

$$k_1 = \frac{\ln(G_e \cdot k) - \ln(0,01)}{t_1} \quad [7]$$

t_1 vremenski pomak do početka maksimalne proizvodnje plina [a]

k_1 faktor porasta [$1/a$]

Zbrajanjem pojedinih godišnjih količina plina koje su proizvele godišnje količine odloženog otpada može se utvrditi ukupno proizvedena količina plina. Slika 12 prikazuje tipično odvijanje proizvodnje plina iz određene količine odloženog otpada. Lijevo se nalazi krivulja ukupnog zbroja plina koja je aproksimirana s odstupanjima, čiji tijek slijedi jednadžbu [1]. Desno se nalazi proizvodnja plina po jedinici vremena, krivulja slijedi jednadžbu [2] tj. jednadžbu [6].



Slika 12: lijevo – krivulja zbroja plina, desno - proizvodnja plina po jedinici vremena

Određivanje parametara modela:

Konstanta razgradnje k nije obično poznata kao parameter, no može se izračunati iz vremena poluraspada $t_{1/2}$, ako je ono poznato. Vrijeme poluraspada je vrijeme potrebno da se neka vrijednost koja eksponencijalno opada prepolovi. Određivanje vremena poluraspada:

$$\frac{G_e}{2} = G_e * e^{-(k * t_{1/2})}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-(k * t_{1/2})}$$

$$\ln(1/2) = -k * t_{1/2}$$

$$\underline{t_{1/2} = \frac{-\ln(1/2)}{k} = \frac{\ln(2)}{k}} \quad [8]$$

$t_{1/2}$ vrijeme poluraspada u godinama [a]

U praksi vrijednost poluraspada kod anaerobne razgradnje organskih tvari nije konstantna tijekom cijelog trajanja raspadanja, već se produžuje s vremenom, jer se na početku uglavnom pretvaraju lako razgradive organske tvari, a u kasnijim fazama teže razgradive

tvori. Stoga su dugoročne prognoze koje obuhvaćaju niz vrijednosti poluraspada s Rettenbergerovim modelom netočne, jer je vrijeme poluraspada u ovom modelu samo konstanta, a ne funkcija vremena. No za prognoze s kraćim vremenskim razdobljima (do 2 -3 vremena poluraspada) ta je netočnost zanemariva. Mjerenja i iskustvene vrijednosti su pokazali da se za **odlagališta masovnog otpada** trebaju uzeti **vremena poluraspada** od oko **7 godina**. U literaturi se za različite vrste otpada navode različita vremena poluraspada koja jako osciliraju ovisno o svojstvu razgradivosti [21]. Tablica 11 prikazuje vrijednosti za konstante razgradnje, vremena poluraspada za različite vrste otpada te iskustvene vrijednosti za vrijeme poluraspada kod odlagališta koje se navode u literaturi.

Tablica 11: objavljene k-vrijednosti i vremena poluraspada za anaerobnu razgradnju

Literaturstelle	k-Wert für e	Halbwertszeit [a]	Literaturstelle	k-Wert für	Halbwertszeit
[5]	0,07	10	[22]		
[11]	0,288	2,4	leicht abbaubar (Vegetabilien, Papier)		1 - 5
[26]			mäßig abbaubar (Gartenabfälle, Karton)		5 - 25
allgemeine Angabe	0,025-0,05	12 - 6	schwer abbaubar (Holz)		20 - 100
Messungen an Deponien	0,035-0,04	8,6-7,5	[13]		
[12]			leicht abbaubar (Vegetabilien, Gras)	1,84	0,4
zit. Rovers et al	0,0365	19	mäßig abbaubar (Karton, Papier, Textilien, Holz)	1,15	0,6
eigene Werte			schwer abbaubar (Kunststoff)	0,115	6
leicht abbaubar (Vegetabilien)	0,693	1	[6,25]		
mäßig abbaubar (Gartenabfälle)	0,139	5	leicht abbaubar (Vegetabilien)		1
schwer abbaubar (Papier, Karton, Holz, Textilien)	0,046	15	mäßig abbaubar (Papier, Holz, Gras, Sträucher, Grünabfälle, Blätter)		15
[24]			andere Werte zitiert:		
Messungen an Deponien	0,1	7	leicht abbaubar		0,5-10
[3]			mäßig abbaubar		2 - 25
zit. Stauffer					
leicht abbaubar (Küchen- und Gartenabfälle)		1,5			
mäßig abbaubar (Papier)		25			

Napomena: Jednadžba [1] se može izraziti pomoću logaritama u bazi e (ln) ili u bazi 10 (log). Za isto vrijeme poluraspada $T_{1/2}$ je k-vrijednost za prirodni logaritam (ln) za faktor od 2,303 veća od dekadskog logaritma (log). Za izračun rezultata, međutim, nije bitno koju se bazu odabere. Ovdje ćemo i za kasnije modeliranje koristiti bazu e. Iz tablice 11 se mogu uzeti parametri za brzo i sporo raspadanje u tijelu odlagališta. U slučaju da ne postoje saznanja o točnom sastavu otpada i uvjetima razgradnje, za kvalitativnu procjenu rezultata modeliranja mogu se koristiti ove iskustvene vrijednosti, odnosno može se i direktno računati s ovim iskustvenim vrijednostima.

Parametri za sporo raspadanje:

→ najmanja k-vrijednost za odlagališta: $k = -0,025$

→ preračunato u bazu e:
 $k = -0,0578$

→ vrijeme poluraspada: $t_{1/2} = 12$
godina

Parametri za brzo raspadanje:

→ najveća k -vrijednost za odlagališta: $k = -0,05$

→ preračunato u bazu e :
 $k = -0,115$

→ vrijeme poluraspada: $t_{1/2} = 6$
godina

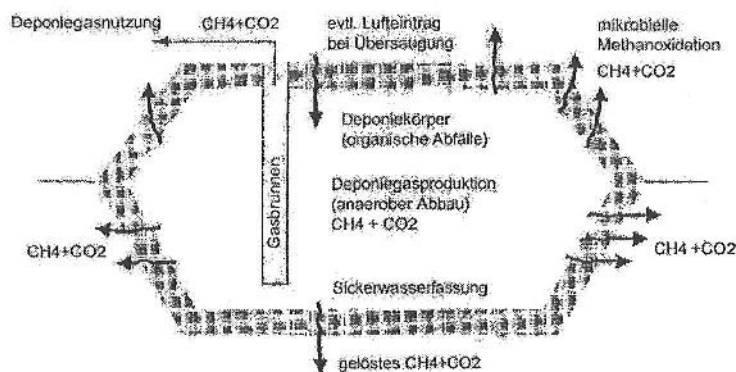
Ovi parametri su praktički gornje i donje granice za očekivani rezultat modeliranja. Između tih dviju granica trebao bi se odvijati i daljnji razvoj količine odlagališnog plina na odlagalištu otpada Prudinec / Jakuševac u Zagrebu.

Bilanca plina i stupanj prikupljanja :

Dodatni izvori pogrešaka i razlozi za odstupanja između teoretski izračunate količine plina i stvarne količine plina koje sustav za sakupljanje plinova može iskoristiti, su čimbenici koji ovise o sustavu i koji ne utječu, kao dosada, na količinu plina koja se generira u tijelu odlagališta, nego na prikupljenu količinu plina. U svrhu opisa prikupljenog udjela uvodi se pojam „**Stupanj prikupljanja**“. Stupanj prikupljanja $f=1$ bio bi idealan, ali ga je moguće ostvariti samo u potpuno zatvorenom sustavu, npr. s laboratorijskim spremnicima. **U praksi stupanj prikupljanja** jako ovisi o korištenim tehnikama odlagališta te iznosi između $f = 0,5$ (nizak) i $f \geq 0,8$ (vrlo visok).

Udio odlagališnog plina koji se stvarno može iskoristiti smanjuje se zbog otapanja i iznošenja plinova u procjednim vodama, mikrobiološke oksidacije metana u dodiru sa zrakom ili zbog izravnog bijega odlagališnih plinova u atmosferu i eventualnih zaustavljanja u radu postrojenja za obradu odlagališnog plina [21]. To se može suzbiti odgovarajućim odlagališnim tehnikama, primjerice brtvljenjem gornjih površina.

Slika 13 ilustrira moguće putove izlaska odlagališnog plina koji nastaje u tijelu odlagališta:



Slika 13: Elementi bilance plina

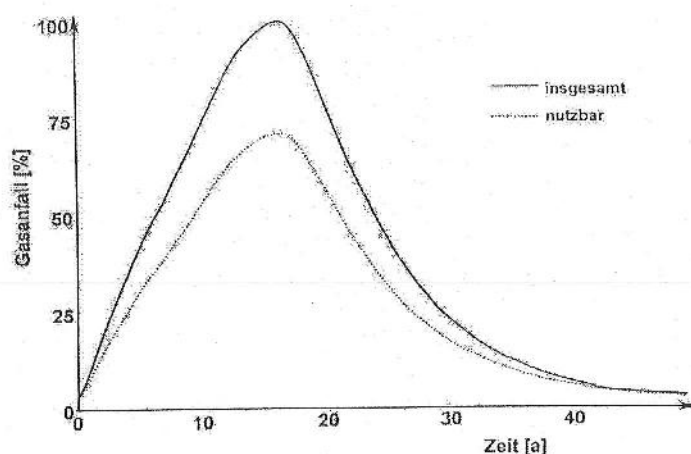
Objašnjenje slike 13: Deponiekörper – tijelo odlagališta
Deponiegasproduktion – proizvodnja odlagališnog plina;
Deponiegasnutzung – iskoristavanje odlagališnog plina;
Mikrobielle Methanoxidation – mikrobiološka oksidacija metana;
Evtl. Lufteintrag bei Übersaugung – eventualni ulaz zraka kod prevelikog usisavanja sisaljki postrojenja
Sickerwasserfassung – nastala procjedna voda;
Gelöstes $CH_4 + CO_2$ – otopljeni CH_4 i CO_2

Ako je stupanj prikupljanja odlagališta poznat, može se pomoću množenja s teoretski proizvedenom količinom plina iz jednadžbe [2] izračunati stvarno iskoristiva količina plina.

$$G_{t, \text{ISKORISTIV}} = f \cdot [G_e \cdot k \cdot e^{-(k \cdot t)}] \quad [9]$$

fsustavom uvjetovani (iskustvena vrijednost) odnosno realni (izmjereni) stupanj prikupljanja

Slika 14 pokazuje kako se stvarno iskoristiva količina plina smanjuje sa stupnjem prikupljanja:



Objašnjenje slike 14: Gasanfall – nastajanje plina;
Zeit – vrijeme;
Insgesamt – ukupno;
Nutzbar – iskoristivo.

Slika 14: Stvarno iskoristiva (prikupljena) količina plina

5) Temperature u odlagalištima

Kroz mikrobiološke procese razgradnje dolazi do postupnog zagrijavanja tijela odlagališta. Temperatura u tijelima odlagališta s visokim organskim reakcijama u anaerobnim uvjetima može biti i do 50 °C, a u aerobnim uvjetima do 70 °C. Ovisno o reaktivnosti može doći do povišenih temperatura tijekom dužeg vremenskog razdoblja. U pravilu, temperature unutar tijela otpada pretežno iznose 30 - 35 °C, neovisno o godišnjem dobu.

Na temelju odlagališta, a time i u sustavu odvodnje kod odlagališta kućnog otpada treba računati s temperaturama između 15 °C i 40 °C. Pritom temperatura procjednih voda na izlazu iz odvodnih cjevovoda iznosi između 15 °C i 25 °C.

6) Slijeganja na odlagalištu

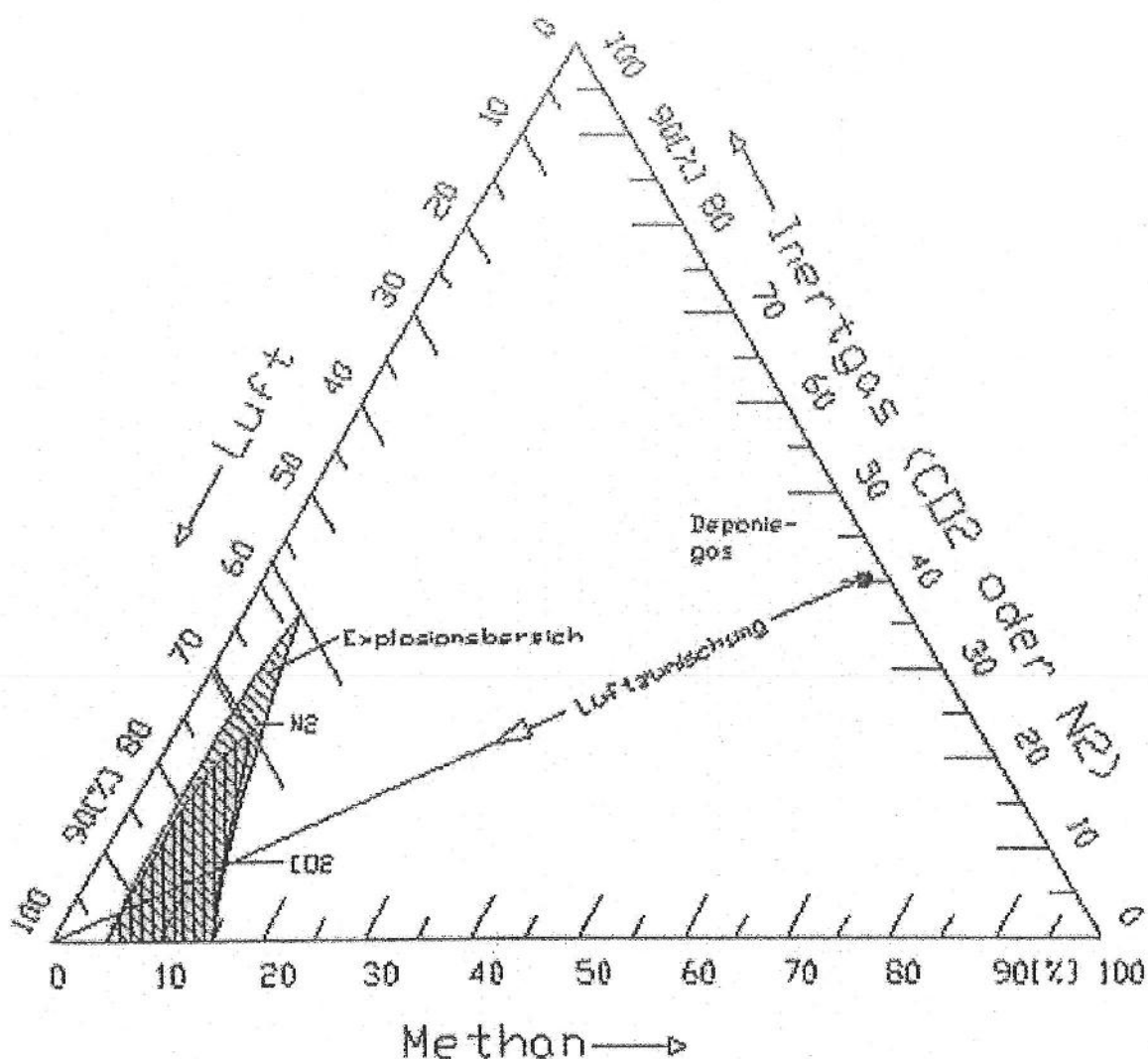
Kod odlagališta, na kojima se pretežno odlaže kućni otpad, treba tijekom nekoliko desetljeća računati sa slijeganjima do 30% od početne visine. Nakon ovih slijeganja, uzrokovanih konsolidacijom i razgradnjom, koja su pretežno uzrokovana biokemijskim procesom razgradnje, a zbog kojih dolazi do gubitka volumena odloženog otpada, slijeganja opadaju s proizvodnjom plina eksponencijalno s vremenom. Dodatno treba uzeti u obzir da se slijeganja ne odvijaju jednako na cijelom području odlagališta, nego često nastaju na malim prostorima te s velikim razlikama (tj. diferencijalna slijeganja). Prognoze vezane uz očekivana slijeganja i prostorne razlike u slijeganjima jako su nesigurne te bi se stoga trebale, ukoliko je to moguće, oslanjati na analizu dugogodišnjih serija mjerenja slijeganja odnosno opažanja.

7) Zaštita od eksplozije

Na odlagalištima otpada i starim odlagalištima otpada s relevantnim količinama biorazgradivog otpada mogu se pojaviti potencijalno eksplozivni plinovi ili plinske mješavine. Potencijalno eksplozivna tvar je u većini slučajeva metan, a sekundarno također mogu biti relevantni sumporovodik, amonijak te aromatski i halogenirani ugljikovodici.

Metan iz odlagališnog plina zajedno s kisikom iz zraka čini zapaljivu plinsku smjesu, ako se metan pojavljuje u koncentraciji između cca. 4,4 volumnog udjela u % (donja granica eksplozivnosti) i 16,5 volumnog udjela u % (gornja granica eksplozivnosti), a sadržaj kisika iznosi najmanje 11,6 volumnog udjela u %. Ugljični dioksid sadržan u odlagališnom plinu sužava eksplozijsko područje. Sličan učinak imaju i drugi inertni plinovi kao npr. dušik (vidi sliku 8). Da bi došlo do eksplozije, mora postojati i izvor zapaljenja s dovoljno energije za zapaljenje (npr. toplina), koji dođe do dodira s eksplozivnom smjesom.

Potrebno je utvrditi i nadzirati radne situacije i okolnosti, koje pri normalnom radu ne dozvoljavaju nastajanje eksplozivne atmosfere (minimalni udio metana u odlagališnom plinu od 20 % volumena). Ako minimalni sadržaj padne ispod te granice, treba uslijediti automatsko isključivanje aktivnog otplinjavanja.



Slika 15: Dijagram s tri tvari za određivanje eksplozivnog područja, izraženih u volumnim udjelima u koncentraciji smjese u odnosu na ukupnu težinu

Objašnjenje slike 15: Deponiegas – odlagališni plin;
 Explosionsbereich – područje eksplozije;
 Methan – metan;
 Luft – zrak;
 Luftzumischung - Inertgas (CO_2 oder N_2) – inertni plinovi iz zraka - (CO_2 ili N_2)

8) Sastav procjernih voda

U nastavku će biti prikazani primjeri sastava procjernih voda na odlagalištima kućnog otpada.

Tablica 12: Sastav procjernih voda 76 odlagališta kućnog otpada iz Njemačke (u zagradama se nalaze srednje vrijednosti dotičnih parametara)

Parameter	Jedinica mjere	Starost odlagališta 1 do 5 godina (Krümpelbeck, Ehrig., 1999)	Starost odlagališta 6 do 10 godina (Krümpelbeck, Ehrig., 1999)	Starost odlagališta 11 do 20 godina (Krümpelbeck, Ehrig., 1999)	Starost odlagališta 21 do 30 godina (Krümpelbeck, Ehrig., 1999)
-----------	----------------	---	--	---	---

Parameter	Einheit	Deponiealter 1 Jahr bis 5 Jahre (Krümpelbeck, Ehrig., 1999)	Deponiealter 6 Jahre bis 10 Jahre (Krümpelbeck, Ehrig., 1999)	Deponiealter 11 Jahre bis 20 Jahre (Krümpelbeck, Ehrig., 1999)	Deponiealter 21 Jahre bis 30 Jahre (Krümpelbeck, Ehrig., 1999)
ph-Wert	-	5,4 - 8,7 (7,3)	6,4 - 8,7 (7,5)	6,4 - 8,9 (7,6)	7,0 - 9,0 (7,7)
Lf	mS/cm	1,37 - 23,3 (9,28)	1,03 - 51,4 (12,16)	1,1 - 40,3 (10,61)	1,602 - 109 (12,93)
CSB	mg/l	303 - 22 700 (3 810)	194 - 22 500 (3 255)	120 - 29 150 (1.830)	123 - 6 997 (1 225)
BSB ₅	mg/l	103 - 16 000 (2 285)	20 - 64 880 (1 210)	18 - 25 600 (465)	12 - 1 109 (290)
TOC	mg/l	159 - 7 725 (1 235)	65 - 4 930 (945)	41 - 2 600 (520)	35 - 1 120 (475)
NH ₄ -N	mg/l	18 - 7 000 (405)	71 - 2 360 (600)	33 - 2 870 (555)	66,5 - 1 571 (445)
NO ₃ -N	mg/l	0,08 - 26 (3,6)	0,08 - 160 (7,6)	0,08 - 200 (11,7)	0,113 - 64 (9,2)
NO ₂ -N	mg/l	0,01 - 0,3 (0,064)	0,01 - 11,7 (0,63)	0,01 - 9,1 (0,54)	0,036 - 7,18 (0,84)
ADX	µg/l	452 - 7 590 (2 765)	282 - 6 200 (1 930)	130 - 5 300 (1 505)	130 - 5 680 (1 130)
Cl	mg/l	140 - 11 950 (1 300)	172 - 28 600 (2 135)	154 - 3 000 (1 760)	157 - 2 880 (1 025)
Sulfat	mg/l	19 - 400 (98)	4 - 1 810 (146)	2,2 - 556 (93)	5,2 - 490 (83)
Sulfid	mg/l	0,532 - 21 (5,6)	0,04 - 47 (6,1)	0,04 - 40 (2)	0,04 - 4,8 (1,1)
Na	mg/l	112 - 2 200 (815)	146 - 4 700 (1 125)	100 - 4 400 (905)	74 - 1500 (645)
K	mg/l	240 - 2 200 (1 220)	110 - 1 850 (910)	100 - 1 900 (695)	97 - 1 268 (595)
Mg	mg/l	98 - 612 (290)	32 - 1 167 (205)	50 - 593 (145)	43 - 221 (115)
Ca	mg/l	46 - 2 290 (375)	44 - 10 000 (465)	12 - 5 000 (325)	71 - 863 (155)
Mn	mg/l	0,055 - 43 (3,9)	0,12 - 95 (2,5)	0,05 - 38,4 (1,1)	0,21 - 5,7 (0,91)
Fe	mg/l	0,1 - 550 (50)	0,35 - 1 383 (20,5)	0,56 - 825 (16,5)	0,4 - 189 (12,5)
Pb	µg/l	5 - 920 (156)	5 - 317 (56)	5 - 1 300 (67)	5 - 100 (34)
Zn	mg/l	0,02 - 24 (1,1)	0,016 - 125 (1,5)	0,01 - 43,5 (0,53)	0,05 - 9,0 (0,538)
Cd	µg/l	0,2 - 50 (11)	0,2 - 199 (5,8)	0,13 - 70 (3,9)	0,2 - 18 (2,8)
Ni	µg/l	20 - 1 400 (199)	12 - 10 600 (249)	7 - 1 930 (135)	8 - 348 (115)
Cu	µg/l	3 - 40 000 (711)	2 - 3 300 (115)	2,5 - 1 030 (62)	4 - 270 (36)
Cr	µg/l	13 - 480 (156)	20 - 2 570 (224)	6 - 1 160 (164)	5 - 1 620 (177)
As	µg/l	3 - 30 (15)	2 - 97 (21)	1 - 370 (42)	2,6 - 182 (36)
Ber	mg/l	0,4 - 15 (5,9)	0,26 - 43 (8)	0,36 - 18 (5,8)	0,96 - 58 (9,1)
*DOC					

Nadalje treba napomenuti da se zbog visoke topljivosti CO₂ u vodi (1685 mg / l na 20 ° C, u usporedbi s metanom - samo 24 mg / l na 20 ° C) znatan dio ugljičnog dioksida može isprati s procjedinim vodama. Udio odvedenog CO₂ u trenutnoj proizvodnji plina varira između 0,01% i 10%, ovisno o proizvodnji plina i kretanju vode.

4. NALAZ

Na temelju vrednovanja dostupnih podataka o odlagalištu Jakuševac i rezultata proučene literature o donjem i gornjem prekrivnom sloj, izvođenju plinskih zdenaca, bilanci plina i bilanci procjednih voda, možemo prikazati slijedeće činjenično stanje.

4.1. Kritično mišljenje o izvedbi plinskih zdenaca (usporedno rastući plinski zdenci ili bušenje nakon što se dosegne konačna visina odlagališta)

Službena dozvola za izvođenje plinskih zdenaca nakon postizanja konačne visine otpada ne predviđa izgradnju plinskih zdenaca koji rastu usporedno s rastom visine odlagališta, nego izvođenje bušenjem s gornje površine. Nadalje, projektanti (Golder Associates i Institut IGH d.d.) su preporučili i projektirali da se plinski zdenci izgrade s rasterom - međusobnim razmakom od 60 m.

Austrijski propisi (Uredbe o odlagalištima kao ÖNORM S 2084 – Zahtjevi za mjere otplinjavanja) određuju izvođenje aktivnog otplinjavanja s vodoravnim, okomitim te također kombiniranim elementima za otplinjavanje. Plinski zdenci se mogu izvoditi istovremeno s odlaganjem otpada podizanjem u visinu, ali isto tako naknadno bušenjem.

Značajna točka je vremensko odvijanje opisanih faza razgradnje otpada, koje jako ovisi o odnosima koje vladaju na određenom mjestu u tijelu odlagališta. U idealnom slučaju se može procijeniti za fazu I (aerobna faza) nekoliko tjedana, za fazu II (kiselo vrenje) nekoliko mjeseci i za fazu III (nestabilno vrenje metana) oko 1 do 3 godine. Trajanje faze IV (stabilno vrenje metana) jako ovisi o količini prisutnog materijala sposobnog za razgradnju, no ne da se prognozirati sa sigurnošću, jer na kraju te faze dolazi do prekida procesa, ali on u pravilu traje desetljećima (20 - 50 godina).

Prednosti kod izvođenja plinskih zdenaca koji "rastu usporedno" sa slojevima odloženog otpada leže u boljem sakupljanju odlagališnog plina tijekom odlaganja otpada. Preduvjet za to je izvođenje potrebnog međupokrova odlagališta, kako bi se mogao postići podtlak u tijelu odlagališta. Dodatno se na taj način može smanjiti širenje neugodnih mirisa u okoliš iz odloženog otpada.

Prednosti kod izvođenja plinskih zdenaca tek nakon što se ostvari potrebna visina, leže u sprečavanju mogućih oštećenja plinskih zdenaca kroz slijeganje, deformiranje ili oštećivanje radnim strojevima na odlagalištu. Kod izvođenja plinskih zdenaca tek nakon ostvarivanja potrebne visine treba doduše uzeti u obzir povećanje troškova zbog potrebnih bušenja kao i izgubljene količine plina tijekom ugradnje otpada.

4.2. Kritično mišljenje o problemu odvodnjavanja odlagališta

U nastavku se u ovom odlomku opisuje činjenično stanje za tri problematike (bilanca plina, bilanca procjednih voda i odvodnjavanje plinskih zdenaca).

4.2.1. Bilanca plina

Skupljanje plina na odlagalištu Jakuševec vrši se sa 60 plinskih zdenaca.

Iz izvještaja IGH [IV] proizlazi slijedeće: očekivane količine nastajanja plina za plohe 1-5 trebju biti cca **52 m³ po toni odloženog otpada**, sa sadržajem vode od $m_{H_2O} = 35\%$, kod čega **udio novog otpada**, koji će se ugrađivati direktno nakon dovoza iz grada, čini oko **12 težinskih postotaka**.

Nadalje se navodi, da su plinski zdenci tako izvedeni da će svaki davati prosječno **0,5 do 0,75 m³ plina/min**. Kada se smanji **dubina plinske drenaže za 35% kroz dizanje nivoa vode**, očekuje se da će se također smanjiti i količina plina za isisavanje (**0,33 – 0,49 m³/min**). Iz projektnih dokumenata i pripadajućih tablica je vidljivo, da i za smanjenu **količinu isisanog plina od 0,28 m³/min efektivni radijus isisavanja iznosi 30,8 m**. Stoga izvještaj navodi da je radius od 30 m dostatan i za „problematično“ zbrinjavanje plina.

Aktivno zbrinjavanje plina vrši se na plohama 1 – 4, koje imaju ukupnu površinu od cca. 29,39 ha. Na ovu se površinu odložilo ukupno 8,97 mil. m³ otpada s faktorom sabijanja od min. 0,6 t/m³, to znači oko 5.382.000 tona otpada.

U promatranom vremenu (rujan 2010. do listopad 2011. godine) se na odlagalištu otpada Jakuševec dobilo 11.304.900 Nm³ odlagališnog plina s prosječnim udjelom metana od 53,94 % (prosječna godišnja količina: 2,1 Nm³/t otpada).

Kao što je iz izračuna vidljivo (usp. tablica 5), na odlagalištu Jakuševec se dobiva **1,26 m³ plina/m³ otpada i godini, odnosno 2,1 m³ plina/m³ otpada i godini** s prosječnom **ogrijevnom moći od 5,37 kW/Nm³**. Svedeno na broj plinskih zdenaca, dobiva se vrijednost od **0,38 m³ plina/min za 60 plinskih zdenaca odnosno 0,25 m³ plina/min za 90 plinskih zdenaca**.

U Austriji se **plinski zdenci izvode s međusobnim razmakom od 30 do 60 m**. Na nekim se odlagalištima u Austriji **dodatnim bušenjima smanjio razmak plinskih zdenaca na < 30 m** te se dobila dodatna količina plina.

Potencijal nastajanja plina ovisi o udjelu mikrobiološki razgradivih ugljikovih spojeva, udjelu vode, udjelu kisika koji je sadržan u porama, ponudi hranidbenog materijala, koncentraciji otrovnog odnosno nerazgradivog materijala i temperaturi. Metode za procjenu potencijala nastajanja plina su, između ostalog, **količina skupljenog plina (Gasspendensumme, skraćeno GS) u pokusu inkubacije nakon 21 dana ili 90 dana (GS₂₁ ili GS₉₀), ili nastajanje plina (Gasbildung, GB) u testu vrenja nakon 21 dana (GB₂₁).**

Sadržaj vode u otpadu smatra se najvažnijim faktorom utjecaja na stvaranje metana. U području od 20 – 60% sadržaja vode, porast sadržaja vode za nekoliko postotaka značajno djeluje na porast stvaranja metana. Anaerobna faza se ispod cca. 15 – 20% prekida (suho konzerviranje) a ispod 30% usporava, a optimalno područje počinje iznad cca 40%. Kretanje vode kroz tijelo odlagališta je također važan faktor.

Nadalje treba imati u vidu da je oksidacija metana posljedica usisavanja vanjskog zraka („presisavanje“). Zbog toga dolazi do smanjenog sadržaja metana i povećanog sadržaja CO₂ u isisanom odlagališnom plinu. [19]

Tablica 10: Ukupni potencijal nastajanja plina iz kućnog otpada, rezultati iz laboratorijskih pokusa

	Količina nastajanja plina u m ³ /t vlažnog otpada
Pfeffer (1974)	186
Klein (1980)	235
Hitte (1976)	204
Stegmann (1982)	120-150
	Količina nastajanja plina u m ³ /t suhog otpada
Stegmann & Dernbach (1981)	150-200
Wolfram (1986)	120-400
Jessberger (1992)	150-235
Ehrig et al. (1995)	120-200

Uspoređujući podatke odlagališta Jakuševac s austrijskim podacima se vidi, da količine plina od **52 m³ po toni odloženog otpada** izračunate u IGH-izvještajima leže značajno ispod vrijednosti u literaturi koja iznosi 100 – 180 m³/t po toni otpada.

4.2.2. Bilanca procjednih voda

Sakupljanje procjednih voda (PV) vrši se na plohama 1–5, pri čemu su plohe 1-4 prekrivene, a trenutno se bez prethodne obrade komunalni otpad odlaže na plohu 5. Sakupljanje procjednih voda vrši se pomoću više izvedenih cjevovoda, pri čemu su plohe 2-4 projektirane s 4 odvodna cjevovoda, a ploha 5 sa 2 odvodna cjevovoda (sjever/jug).

Izračuni bilance procjednih voda odlagališta Jakuševac:

a. Podaci o plohama:

Plohe 1-4	29,39 ha	293.900 m ²
Ploha 5	5,10 ha	51.000 m ²
Ukupna površina	34,49 ha	344.900 m ²

Visina odlagališta: 45 m

Ploha 1 do 4 s gornjim prekrivnim slojem i ploha 5 bez prekrivanja:

Ukupno prekriveno	29,39 ha	85,2 %
Ukupno neprekriveno	5,10 ha	14,8 %

b. Meteorološki podaci

Količina padalina 2011	1059,9 mm/a	1059,9	l / m ²
godišnje		311.504.610	l / 29,39 ha
		54.054.900	l / 5,10 ha
		365.559.510	l / 34,49 ha
Udio novonastalih procjednih voda	2 % - 55 % [23]		

c. Ovisnost količine procjernih voda o sabijenosti tijela odlagališta, sadržaju vode i fazama rada odlagališta [23]

Sabijenost (Primjer: Odlagališta otpada od kućanstava)	Količina procjernih voda u odnosu na prosječne godišnje padaline, u postocima (Koeficijent odvodnje procjernih voda)
Slabo sabijena odlagališta: ($\gamma = 0,4 - 0,7 \text{ t/m}^3$)	$\approx 25 - 50 \%$ od padalina
Jako sabijena odlagališta: ($\gamma \geq 0,7 \text{ t/m}^3$)	$\approx 15 - 25 \%$ od padalina
Sadržaj vode	Količina procjernih voda u odnosu na prosječne godišnje padaline, u postocima (Udio novonastalih procjernih voda)
Kod nezasićenih tijela odlagališta	$\leq 25 \%$ od padalina
Kod zasićenih tijela odlagališta	$\approx 25 - 50 \%$ od padalina
Kod prezasićenih tijela odlagališta	$\geq 50 \%$ od padalina
Faza odlagališta (Npr. Odlagalište otpada od kućanstava)	Količina procjernih voda u odnosu na prosječne godišnje padaline, u postocima (Udio novonastalih procjernih voda)
Radna faza (otvorena površina, otpad nije zasićen)	$\approx 35 \%$ od padalina
Međustadij (odjel završen, djelomično pokriven/otvoren; otpad je zasićen)	$\approx 40 \%$ od padalina
Faza nadziranja (odjel završen i u procesu rekultiviranja)	$\approx 15 \%$ od padalina
Zadnja faza (odjel završen i rekultiviran, nakon 10 godina)	$\approx 2-5 \%$ od padalina
Radne plohe	$\approx 30-55 \%$ od padalina
Za zabrtvljene plohe odlagališta	$\approx 2-10 \%$ od padalina
Za pokrivene (međupokrivene) plohe odlagališta	$\approx 10-30 \%$ od padalina

d. Podaci o završenim odlagalištima

Sadržaj vode / Podaci iz literature[23]	37 - 53 %
---	-----------

e. Podaci o procjernim vodama

Nastala procjedna voda 2011.	64.157 m ³ /god.	365 dana
	175,77 m ³ /na dan	34,49 ha

- 1) Varianta 1 – izračunato: Količina procjernih voda u odnosu na prosječne godišne padaline, u postocima (Udio novonastalih procjernih voda) 10% bis 50%

Rekultivirano tlo ili otvoreno		Ukupno	Ukupno prekriveno	Ukupno ne prekriveno
10 % od 1059,9 mm	105,99 mm	36.555.951 mm od.	31.150.461 mm	5.405.490 mm
15 % od 1059,9 mm	158,99 mm	54.833.927 mm	46.725.692 mm	8.108.235 mm
20 % od 1059,9 mm	211,98 mm	73.111.902 mm	62.300.922 mm	10.810.980
25 % od 1059,9 mm	264,98 mm	91.389.878 mm	77.876.153 mm	13.513.725
30 % od 1059,9 mm	317,97 mm	109.667.853 mm	93.451.383 mm	16.216.470
35 % od 1059,9 mm	370,97 mm	127.945.829 mm	109.026.614 mm	18.919.215
40 % od 1059,9 mm	423,96 mm	146.223.804 mm	124.601.844 mm	21.621.960 mm
50 % od 1059,9 mm	529,95 mm	182.779.755 mm	155.752.305 mm	27.027.450 mm

Plohe 1-4:

31.150 m ³ /29,39 ha	365 dana
46.726 m ³ /29,39 ha	365 dana
85,34 m ³ /29,39 ha	po danu
128,02 m ³ /29,39 ha	po danu

Ploha 5:

21.622 m ³ /5,1 ha	365 Tage
27.027 m ³ /5,1 ha	365 Tage
59,24 m ³ /5,1 ha	pro Tag
74,05 m ³ /5,1 ha	pro Tag

Bilanca vode preko svih 5 ploha (prvi broj svake plohe 1-4 i drugi broj plohe 5):

Ukupno (10% und 40%)	144,58 m ³ /dan, 34,49 ha
Ukupno (15% und 50%)	(realno) 202,06 m ³ /dan, 34,49 ha
Ukupno (10% und 50%)	159,39 m ³ /dan, 34,49 ha
U usporedbi s nastalom procjerdnom vodom 2011.:	
175,77 m ³ /dan podijeljeno na ukupnu površinu ploha od 34,49 ha	

Zaključak: U ovom slučaju varijante izračuna ne bi bilo vidljivo nikakovo nakupljanje procjernih voda na dnu odlagališta, stoga bi se procjerdne vode trebale sakupljati odvojeno za plohe 1-4 i za plohu 5!

Rezultat:

- Nastala količina: 175,77 m³/dan
- Izračunata količina: 202 m³/dan

4.2.3. Poplavljenost plinskih zdenaca

Poplavljenost plinskih zdenaca (tj. nakupljanje procjednih voda u plinskim zdencima) potvrđeno je mjerenjima, koja su provedena 2006. odnosno 2008. godine. [IV]

Ploha 1: Plinski zdenci: A1 do W6

- drenažna visina plinskog zdenca bez vode: 57,8% - 62,7% (2006.) odnosno 83% (2008.)

Ploha 2: Plinski zdenci B1 do D5

- drenažna visina plinskog zdenca bez vode: 30,7 - 36,7 % (2006.) odnosno 71,2 - 75,2 % (2008.)

Ploha 3: Plinski zdenci E1 do H5

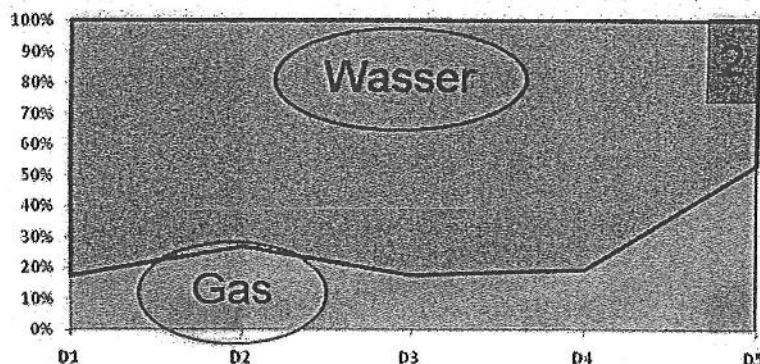
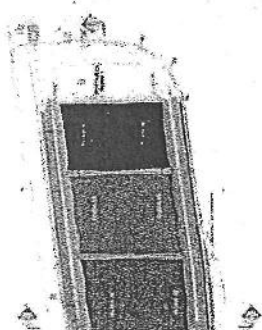
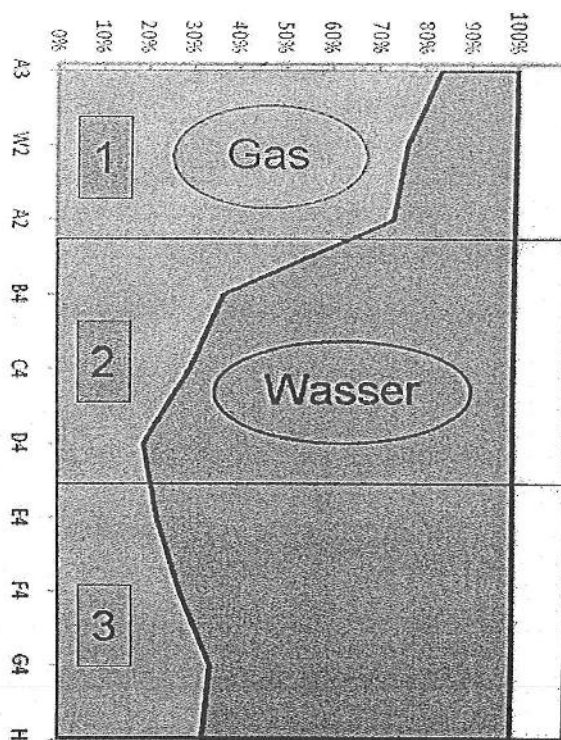
- drenažna visina plinskog zdenca bez vode: 16,9 - 23,3 % (2006.) odnosno 54,7 - 59,9 % (2008.)

Uzimajući sve u obzir može se zaključiti da je 85% od 60 plinskih zdenaca (= 51 plinski zdenac) ispunjeno s vodom, i to s najmanje 35% ukupne visine zdenca. Tablica 2 prikazuje rezultate mjerenja.

Iz grafičkog je prikaza podataka u Tablici 3 vidljivo da je najviši nivo vode nastao na plohama 2 i 3. Nedostatak nakupljanja procjedih voda je smanjena (odnosno nikakva) proizvodnja odlagališnog plina, truljenje otpada i mehanička nestabilnost tijela odlagališta.

U slijedećem poglavlju 16 su prikazani udjeli plinskih zdenaca bez vode (plin u %) i udjeli zapunjeni s vodom za odabrane plinske zdence.

Gasbrunnen	Wasserfreier Anteil des GB [%] 10/08	Abschnitt
Entlang der Deponielänge		
A3	83,4	1
W2	76,3	1
A2	73,4	1
B4	36,9	2
C4	29,6	2
D4	19,3	2
E4	22,3	3
F4	27,3	3
G4	34,0	3
H4	32,4	3
Quer durch die Deponie		
D1	17,1	2
D2	26,7	2
D3	17,4	2
D4	19,3	2
D5	53,1	2



Slika 16: Odnos udjela bez vode (plin u %) i udjela s nakupljenom vodom (%) za odabrane plinske zdence, prikazano za plohe 1 do 3, povećani prikaz za plohu 2 (desno dolje), v. tablicu 3, str.16 i sliku 1, str.7

Objašnjenje slike 16: Gas – plin,
Wasser - voda

Prema novom planu rada i preporuci projektanta IGH d.d. koriste se zdeneci sa dvije cijevi (usporedba Slika 5). Iz jedne od dvije cijevi će se ispumpavati voda a iz druge plin. Perforirani dio cijevi za otplinjavanje čini cca 88% ukupne dužine cijevi (promjer: 160 mm), a puni dio cijevi cca. 12% (oko 5 m) ukupne dužine. Plinski zdenac će se tako izvesti, da razmak između dna plinskog zdenca i donjeg brtvenog sloja iznosi najmanje 3 m. Promjer rupe bušenja iznosi 120 cm, a razmak između dvije cijevi 40 cm. Rupa se oko perforine cijevi popunjava grubim šljunkom, tako da plin može strujiti prema cijevi. Puni dio cijevi (u pravcu gornjeg prekrivnog sloja) se popunjava finim šljunkom (visina = 1,5 m) te zatim glinom.

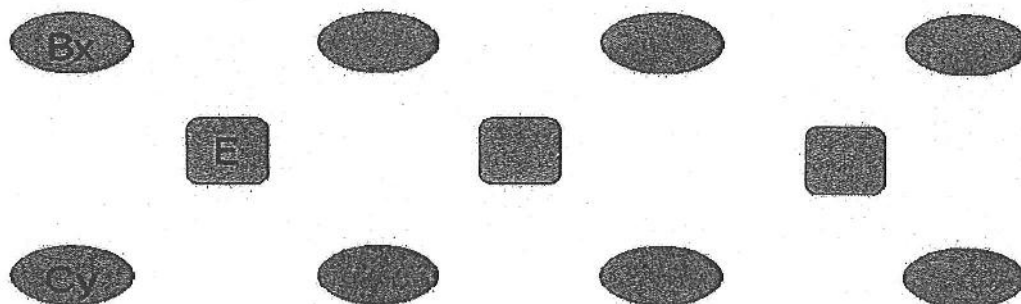
Izvođenje zdenaca za odvodnjavanje, prema visini vode u tijelu odlagališta

Prijedlog POTPISNIKA bi bio da se, u pravilnim razmacima između pojedinih plinskih zdenaca, (usp. sliku 17), u svrhu rasterećenja nastale situacije s nakupljenom vodom, zdence za odvodnjavanje treba izvesti do drenaže za procjedne vode. Kao što su projektanti primijetili tijekom zadnje prezentacije, ne smije se zanemariti geotehnička stabilnost donjeg brtenog sloja.

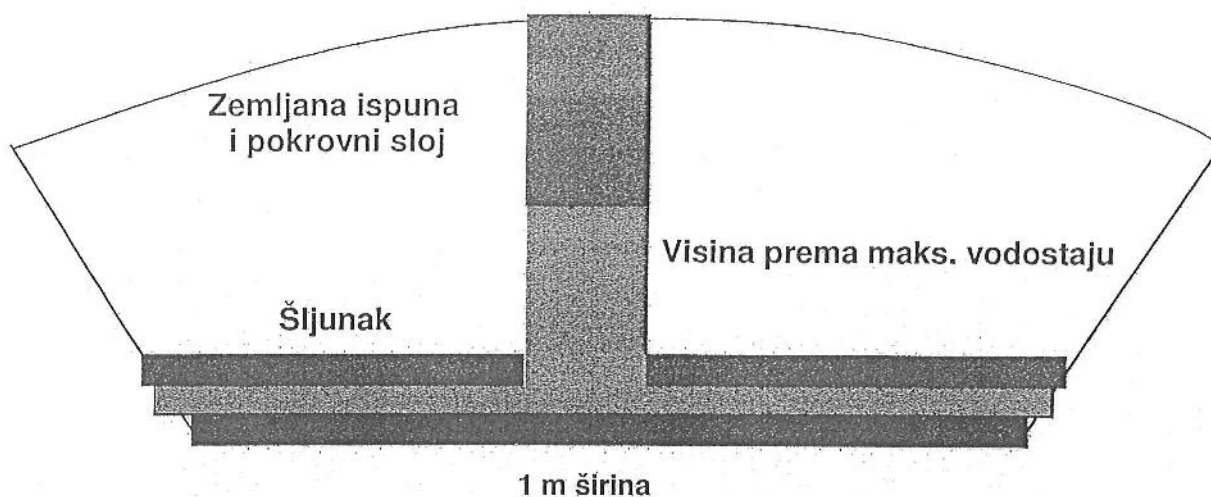
Postupak koji predlažu POTPISNICI (usp. sliku 18) je teoretski izvediv, ali se moraju uzeti u obzir slijedeći problemi:

- Točna saznanja o položaju, dubini i debljini sloja zemlje i drenaže su preduvjet, da se pri bušenja ne ošteti donji brtveni sloj;
- Zdenci se moraju, već prema nivou vode na pojedinoj plohi, popuniti mješavinom grubog šljunka i kamena (20-200 mm), da veći početni pritisak i veća brzina strujanja povećaju udio finih čestica. Za zaštitu stabilnosti dna i odlagališta je potrebno izvesti više zdenaca s manjim promjerom bušenja (<1m);
- Zdenci za odvodnjavanje moraju biti zabrtvljeni prema gornjoj površini (npr. glineni ili bentonitni sloj)

Druga mogućnost bilo bi izvođenje vodoravnih drenažnih tijela za odvodnju procjednih voda.





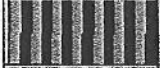
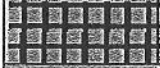

Slika 17: Prijedlog za izvođenje zdenaca za odvodnjavanje (crveni kvadratići na slici)



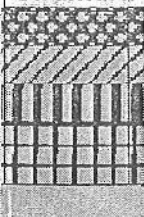
Slika 18: Grafički prikaz prijedloga rješenja „okomitih zdenaca za odvodnjavanje“

4.3. Tehnička izvedba donjeg brtvenog sloja uz uzimanje u obzir zemljanog sloja iznad površinskog filtera i filca


Donji brtveni sloj odlagališta Jakuševac je izveden kako slijedi:

Plohe 1 do 4					
Struktura temeljnog brtvenog sloja	Ukupna deblj.	1,8025	m		
 Otpad		Komunalni otpad			
 Međusloj/humusni sloj	$h = 0,3$	m	$k_f = 1 \cdot 10^{-9}$	cm/s	
 Površinski filter i geotekstil	$h = 0,5$	m	$\rho = 400$ $k_f = 1 \cdot 10^{-1}$	g/m^2 cm/s	
 HDPE folija i geotekstil	$h = 0,0025$	m	$\rho = 1.000$ $k_f = 1 \cdot 10^{-10 \text{ bis } -14}$	g/m^2 cm/s	
 Mineralni brtveni sloj	$h = 1,0$	m	$k_f = 1 \cdot 10^{-7}$	cm/s	

Za plohe 5 i 6 se već uzelo u obzir da je međusloj / zemljani sloj izveden od materijala s koeficijentom propusnosti $k_f > 1 \cdot 10^{-3}$ cm/s, što odgovara karakteristikama pješčanog šljunka, no ovaj materijal ima, u usporedbi s pješčanim šljunkom, veću propusnost.

Ploha 5				
Struktura temeljnog brtvenog sloja		Ukupna deblj.	1,8025	m
	Otpad	Miješani komunalni otpad		
	Međusloj/šljunak	h = 0,3	m	$k_f = 1 \cdot 10^{-3}$ cm/s
	Površinski filter i geotekstil	h = 0,5	m	$\rho = 400$ g/m ²
	HDPE folija i geotekstil	h = 0,0025	m	$\rho = 1.000$ g/m ² $k_f = 1 \cdot 10^{-10 \text{ bis } -14}$ cm/s
	Mineralni brtveni sloj	h = 1,0	m	$k_f = 1 \cdot 10^{-7}$ cm/s

Prema austrijskoj Uredbi o odlagalištima iz 2008. godine temeljni brtveni sloj trebalo bi izvesti kako slijedi:

Uredba o odlagalištima 2008: temeljni brtveni sloj				
		Ukupna deblj.	1,2525	m
	Otpad	Odlagališta glomaznog otpada		
	Površinski filter	h = >0,5	m	$k_f = 1 \cdot 10^{-2}$ m/s Grupa zrnatosti 16/32
	PE-HD brtvena staza od umjetnog materijala i geotekstil	h = 0,0025	m	$\rho = 1.200$ g/m ²
	Minimalno troslojni mineralni brtveni sloj	h = >0,75	m	$k_f = 1 \cdot 10^{-9}$ m/s Zrnatost <63 mm 3 sloja s min. 20-27 cm

Nadalje se iz uredbe o odlagalištima ukazuje na slijedeće zahtjeve:

Površinski filter treba izvesti iz opranog šljunka, otpornog od raspadanja, dovoljne čvrstoće zrna, debljine najmanje 50 cm i on ne smije imati koeficijent propusnosti (**k-vrijednost**) **manji od 10^{-2} m/s**. Najbolje bi bilo okruglo zrno iz **grupe zrnatosti 16/32**. Pomoću odgovarajućih mjera (npr. **filterfilcom**, ugradnjom otpada rastresanjem) treba spriječiti da odloženi otpada ne dospije u površinski filter.






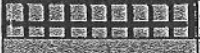
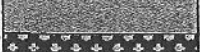

Austrijska iskustva vezana uz odlaganje otpada na odlagalištima su slijedeća:

- najčešće se izvodi odlaganje otpada direktno na geotekstil, koji se prema propisima postavlja na površinski filter. Geotekstil služi kao zaštitni sloj protiv začepljenja površinskog filtera od finih čestica otpada.
- Ako se pažljivo i uredno otpad ugrađuje, ovo se može izvesti i direktno na površinski filter.
- već prema odluci rukovoditelja odlagališta, sortirani se otpad, tj. finoizrnatu frakciju, odlaže direktno na površinski filter ili na geotekstil. Finoizrnatu frakciju služi kao zaštita od oštećivanja geotekstila.

Višegodišnje iskustvo austrijskih odlagališta pokazuje da ove i neke druge opisane vrste izvođenja donjeg brtvenog sloja omogućuju slobodan tok odvodnje odlagališta i sakupljanje procjednih voda.

4.4. Tehnička ocjena gornjeg prekrivnog sloja promatranjem izlaza/glave plinskih zdenca

Gornji brtveni sloj odlagališta Jakuševac je izveden kako slijedi:

Plohe 1 bis 4					
Gornji prekrivni sloj		Ukupna deblj.	1,127	m	
	Sloj humusa	$h = 0,15$	m	$k_f = 3,3 \cdot 10^{-4}$	cm/s
	Sloj zaštite od mraza	$h = 0,65$	m	$k_f = 3,3 \cdot 10^{-5}$	cm/s
	geosint. dren za vodu	$h = 0,010$	m	$k_f = 8 \cdot 10^{-4}$	m^2/s
	LLDPE-folija i geotekstil	$h = 0,001$	m		
	Mineralni brtveni sloj (Na-Bentonit)	$h = 0,006$	m	$k_f \leq 5 \cdot 10^{-9}$	cm/s
	geosint. sloj za otplinjavanje	$h = 0,010$	m	$k_f = 8 \cdot 10^{-4}$	m^2/s
	Izravnjavajući sloj	$h = 0,30$	m		
	Otpad	Miješani komunalni otpad			




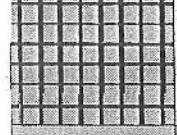


[Napomena: očito m^2/s , geosintetski dren za vodu $h=0,1$ m, mineralni brtveni sloj (Na-Bentonitploče) $h=0,06$ m, geosintetski sloj za otplinjavanje $h=0,1$ m]

Na plohama 1 do 4 je pokrivanje površine već izvedeno. Na plohama 5 i 6 se planira provesti pokrivanje površine na isti način.


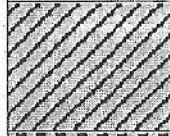

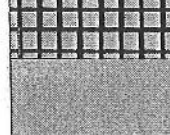


U usporedbi s tim, obje se mogućnosti provođenja pokrivanja površine prikazuju sukladno s odredbama deponija iz 2008. godine.

Upotreba geosintetskog glinenog brtvenog sloja („bentonitne ploče“) ne predstavlja samostalan sustav pokrivanja, već se može upotrijebiti kao alternativa konvencionalnim mineralnim brtvenim slojevima prilikom gradnje.

Uredba o odlagalištima iz 2008. godine (izvedba 1): Gornji prekrivni sloj

		Ukupna deblj.	2,106	m	
	Rekultivirajući sloj	h = 0,5	m		
	Površinski sustav odvodnje/filter	h = 0,5	m	$k_f = 1 \cdot 10^{-2}$ Grupa zrnatosti 16/32	m/s
	HDPE brtvena staza od umjetnog materijala i geotekstila	h = 0,0025 h = 0,0035	m m		
	Višeslojni mineralni brtveni slojevi	h = 0,6	m	$k_f = 1 \cdot 10^{-9}$ Maks. velič. zrna 63	m/s mm
	Izravnavajući sloj uklj. sloj za otplinjavanje (min 0,3m)	h = 0,5	m	Maks. velič. zrna 100	mm
	Otpad	Odlagalište za glomazni otpad			

Uredba o odlagalištima iz 2008. godine (izvedba 1): Gornji prekrivni sloj

		Ukupna deblj.	1,906	m	
	Rekultivirajući sloj	h = <u>min. 0,8</u>	m		
	Površinski sustav odvodnje/filter	h = 0,5	m	$k_f = 1 \cdot 10^{-2}$ Grupa zrnatosti 16/32	m/s
	HDPE brtvena staza od umjetnog materijala i geotekstila	h = 0,0025 h = 0,0035	m m		
	geosinh. glinena brtv. staza (bentonitne staze)	h = 0,1	m	$k_f < 1 \cdot 10^{-10}$	m/s
	Izravnavajući sloj uklj. sloj za otplinjavanje (min 0,3m)	h = 0,5	m	Maks. velič. zrna 100	mm
	Otpad	Odlagalište za glomazni otpad			

Napomena: Ako zbog geosintetičke drenaže dođe do odvodnjavanja površine, potrebno je nanijeti rekultivirajući sloj takve debljini da će on biti deblji od lokalne dubine smrzavanja tla, a najmanje 0,8 m. Ako nema podataka o lokalnoj dubini smrzavanja, može se primijeniti formula nadmorske visine u metrima/1000.

4.4.1 Suho stabiliziranje otpada

Kod odlagališta s velikim količinama biološki razgradljivog otpada je, sukladno odredbama deponija iz 2008. godine, potrebno uspostaviti privremeno prekrivanje deponijske površine. Time se sprječava da ne dođe do suhe stabilizacije otpada, koja se događa kod izvođenja potpunog prekrivanja koje se vrši odmah. Na taj način bi emisijski potencijal ostao dugoročno stalan i problematika bi se prosljedila na nadolazeće generacije.

Privremeno prekrivanje treba dakle omogućiti određen dotok vode, kako bi došlo do povišenja anaerobne razgradnje i stvaranja deponijskog plina

Kasnijim postavljanjem završnog sloja prekrivanja izbjegavaju se štete na brtvenim elementima uzrokovane slijeganjem.

Moguća opasnost suhe stabilizacije otpada kod preranog postavljanja brtvenog sloja:

- produljivanje razdoblja nadziranja i odgađanje problematike u budućnost;
- smanjivanje proizvodnje plina i neefikasan pogon prikupljanja i korištenja plina.

Sloj za oksidaciju metana također predstavlja jedan prirodni sustav u kojemu se mikropski razgrađuju emisije metana preostalog plina. Može se vrlo korisno upotrijebiti kao privremeni brtveni sloj neposredno poslije završetka radova, kada je proizvodnja plina još relevantna i kada je poželjan još određeni dotok vode.

SAŽETO STRUČNO MIŠLJENJE

Činjenično stanje povezano s odlagalištem Prudinec/Jakuševac u Zagrebu je – izuzevši naznačenih nesigurnosti u iznešene podatke – u toj mjeri razriješeno da vještak može odgovoriti na postavljena pitanja u sljedećem poglavlju broj 5.

5. UTVRĐENO STRUČNO MIŠLJENJE I PREPORUKE

Na temelju činjeničnog stanja kojeg smo utvrdili u NALAZU, potpisnici dolaze do slijedećih zaključaka:

5.1. Kritično mišljenje o izvedbi plinskih zdenaca (usporedno rastući plinski zdenci ili bušenje nakon što se dosegne konačna visina odlagališta)

Načelno, obje metode izvođenja odgovaraju tadašnjem stanju tehnike (usporedno rastući plinski zdenci ili bušenje nakon što se dosegne konačna visina odlagališta).

Za odlagalište Jakuševac je metoda izvođenja nakon postizanja konačne visine, koju je preporučio projektant, možda nedostatak, jer se do postizanja konačne visine treba računati s povećanim emisijama neugodnih mirisa, ako se ne izvodi dnevno prekrivanje površine odlaganja. Izgradnjom usporedno rastućih plinskih zdenaca mogla bi se ostvarivati gospodarska dobit kroz iskorištavanje odlagališnog plina, a isto tako bi se kroz ostvarivanje podtlaka značajno smanjili neugodni mirisi na lokaciji odlagališta.

5.2. Kritično mišljenje o ne-odvodnjavanju odlagališta

Problematika ne-odvodnjavanja tijela odlagališta kao i nedostaci za rad odlagališta koja iz toga nastaju, pobliže će se razmatrati u sljedećim potpoglavljima.

5.2.1. Bilanca plina

Izmjereni nivoi vode u izvedenim plinskim zdencima jasno pokazuju da ne funkcionira odvodnja procjednih voda odlagališta Jakuševac. Povećani udio vode u tijelu odlagališta uzrokuje smanjenje, odnosno pad radne sposobnosti mikro-organizama. Za optimalne životne uvjete mikroorganizama je naročito potreban udio vode između 40 i 60 % u tijelu otpada. Ako se procjedna voda nagomilava i ako je odlagalište popunjeno vodom, drastično se smanjuje nastajanje plina.

Razmak između plinskih zdenaca na odlagalištu Jakuševac iznosi 60 m. Optimalni razmak između plinskih zdenaca iznosi između 30 i 60m, pri čemu 60m predstavlja gornju granicu kod izvođenja plinskih zdenaca. Veći razmak znači da nisu obuhvaćeni svi dijelovi odlagališta, što ima za posljedicu dobivanje smanjene količine odlagališnog plina.

Preporuča se provjera funkcioniranja pojedinih plinskih zdenaca. Kroz ostvarivanje podtlaka na plinskom zdencu može se izmjeriti promjena tlaka na okolnim plinskim zdencima. K tome treba provjeriti prohodnost plinskih vodova. Kroz slijeganje koje je lokalno različito, dolazi do savijanja plinskih vodova, u kojima se skuplja kondenzirana voda. Na taj način se može zaštopati poprečni presjek plinovoda i više nema isisavanja plina iz određenog elementa za otplinjavanje.

Dodatno treba uzeti reprezentativne uzorke otpada iz tijela odlagališta i analizirati ih standardiziranim metodama za procjenu plinskog potencijala. Standardizirane metode su skupljanje plina (Gasspendensumme, skraćeno GS) u pokusu inkubacije nakon 21 dan, odnosno 90 dana (GS₂₁ odnosno GS₉₀), ili stvaranje plina (Gasbildung, GB) testom vrenja nakon 21 dan (GB₂₁). Na osnovu ovih metoda može se istražiti stvarni potencijal stvaranja plina iz sadržaja odlagališta te se ti podaci mogu koristiti za pravilno izvođenje i procjenu broja potrebnih plinskih zdenaca.

Trenutna količina isisanog odlagališnog plina na odlagalištu Jakuševac (2,1 m³ plina/t otpada i godini) je u usporedbi s austrijskim odlagalištima (2 do 4 m³ plina/t otpada i godini) značajno niža.

Nadalje treba na gornjoj površini odlagališta izmjeriti koncentraciju i količinu izlaznog plina uz pomoć uređaja za mjerenje metana, u svrhu provjere funkcioniranja postojećeg gornjeg prekrivnog sloja. Predlaže se periodička provjera, najmanje jednom godišnje: uređaj za mjerenje metana FID [Flammenionisationsdetektor, detektor koji radi na principu ionizacije plamena, nap. prev.] s rasterom mjerenja min. 20 x20 m.

5.2.2. Bilanca procjednih voda

Kako proizlazi iz priloženih projektnih dokumenata, skupljanje procjednih voda sa donje površine odvodnje vrši se pomoću više cjevovoda, pri čemu su plohe 2 do 4 izvedene sa četiri odvodna cjevovoda, a ploha 5 je izvedena sa dva odvodna cjevovoda (sjever/jug). Predlaže se, da se količina procjedne vode iz pojedinih cjevovoda prikuplja tijekom većeg vremenskog razdoblja, u svrhu točnog izračunavanja količine vode za pojedine plohe odlagališta.

Nadalje se predlaže da se svi odvodni cjevovodi snime kamerom za utvrđivanje eventualnih mjesta istaloženih naslaga istih.

5.2.3. Zadržavanje procjednih voda u plinskim zdencima („poplavljenost“)

Integrirani odvodni cjevovod s pumpom, kakav je predložio projektant, je metoda rada koja je principijelno u redu za neposrednu okolinu plinskog zdenca. Nedostatak ove metode je, da je potreban tehnički i prije svega energetski trošak za odstranjivanje vode iz sustava. K tome ovaj postupak nije održiv, jer gledano na dulje vrijeme, sakupljena procjedna voda može se

procijeniti „mjerom održavanja“ i mora se stalno ispumpavati, budući da sustav sakupljanja i odvodnje procjednih voda s donje površine odvodnje ne funkcionira.

Cijev za sakupljanje plina je preduga u gornjem dijelu (puna cijev). To znači da se putem tog dijela cijevi planirane dužine 5m ne može u potpunosti isisati odlagališni plin iz najbliže okoline gornjeg prekrivnog sloja. Perforirana cijev bi trebala biti izvedena do dubine od 2 do 3m ispod gornjeg ruba terena i tek nakon toga bi prema gore trebala biti puna cijev.

Preporuka potpisnika sadrži slijedeće mjere:

U središtu između pojedinih plinskih zdenaca treba izvesti zdence rasterećenja/okomite zdence procjednih voda, koji će biti hidraulički povezani s donjom drenažom. Točne položaje treba odrediti prema potrebi. Izračuni geotehničke stabilnosti tijela odlagališta i donjeg brtvenog sloja su jedan od preduvjeta za odlučivanje o broju i položaju predloženih zdenaca za odvodnju. Ti tehnički detalji nisu predmet ovog stručnog izvješća.

5.3. Tehnička ocjena donjeg brtvenog sloja promatranjem zemljanog sloja preko drenažne površine zaštićene filcom

Izvođenje donjeg brtvenog sloja na odlagalištu Jakuševac principijelno odgovara izgradnji prema tadašnjem stanju tehnike. Za svaki mineralni sloj donjeg brtvenog sloja treba bez iznimke odrediti koeficijent propusne sposobnosti, u slučaju da isti nije poznat.

S našeg gledišta, jasan uzrok za utvrđeno nakupljanje procjednih voda u tijelu odlagališta jest taj, da je projektant kod izvođenja drenažnog sloja za procjedne vode jasno odstupio od dokazanog stanja tehnike te je preko zaštitnog filca potpuno nepotrebno dodao još jedan međusloj/sloj zemlje debljine 0,3 m i male propusnosti vode (podaci za k_f -vrijednost iznosi pritom sve do $k_f = 1 \cdot 10^{-9}$ cm/s !!!), da bi se zaštitni filc zaštitio od potencijalnog zaštopavanja česticama nataloženog otpada. Ovo je jedna **kobna greška**, koja vodi k tome, da taj međusloj/sloj zemlje kao mineralni brtveni sloj u velikoj mjeri sprečava prolaz procjedne vode u drenažnu površinu, koja se nalazi ispod, i time onemogućuje funkcioniranje sustava za sakupljanje procjednih voda. Ovaj međusloj/sloj zemlje debljine 0,3 m te male propusnosti ne odgovara stanju tehnike te, kod postojanja zaštitnog filca preko drenažne površine, nije samo nepotreban nego je **nedvosmisleno kontraproduktivan** i uzrokuje upravo ono, što zapravo treba spriječiti. Odvodnja procjednih voda iz odloženog otpada u sustav sakupljanja procjednih voda, koji se nalazi neposredno ispod, je u veliko mjeri onemogućena. Kod zadnje prezentacije rezultata predmetnog **STRUČNOG IZVJEŠĆA** u Zagrebu 16. ožujka 2012. godine su projektanti i rukovodeći za odlagalište rekli, da je i na plohama 5 i 6 preko zaštitnog filca ugrađen jedan slični zemljani međusloj koji ne odgovara stanju tehnike s koeficijentom propusnosti od trenutno $k_f = 1 \cdot 10^{-3}$ cm/s i debljine od 0,3m.

Potpisnici ovog stručnjog izvješća posebno upozoravaju na to, da se ne ponovi ista kobna greška te preporučuju da se ovaj nepotrebni sloj zemlje preko zaštitnog filca izostavi. Ako

projektant ili rukovoditelj misli da se zaštitni filc treba „još jednom zaštititi od zaštopavanja česticama iz nataloženog otpada“, tada molimo da se to, kao što se uspješno provodi kod austrijskih odlagališta, izvrši postavljanjem sloja otpada fine frakcije.

Također se preporuča ispitati koeficijent propusnosti već ugrađenog sloja zemlje na plohama 5 i 6. Nadalje treba laboratorijskim pokusima provjeriti kakav utjecaj odloženi otpad ima na sloj zemlje tijekom vremena, odnosno nakon koliko vremena se mogu očekivati promjene u propusnosti ovog sloja.

Treba utvrditi slijedeće koeficijente propusnosti (kf) iz probnih bušenih jezgri:

1. Međusloj/sloj zemlje: ploha 1 do 4;
2. Stari otpad: ploha 1 do 4;
3. Međusloj/šljunak: ploha 5 i 6;
4. Novi otpad.

PREPORUKA: Em.Univ.-Prof.Dipl.-Ing. Dr. techn. Stephan Semprich

Institut für Bodenmechanik und Grundbau (Institut za mehaniku tla i
tehniku temeljenja), Tehničko Sveučilište Graz

5.4. Tehnička ocjena gornjeg prekrivnog sloja promatranjem izlaza / glave plinskih zdenca

Budući da u prvoj fazi nakon završetka odlagališta često dolazi do velikih slijeganja, bentonitni prekrivači mogu na osnovu svojeg svojstva deformacije bolje pratiti ista nego uobičajeni, mineralni slojevi. Kao konačno prekrivanje je izvedba gornjeg prekrivnog sloja s bentonitnim prekrivačem na odlagalištu Jakuševac, s tehničkog stajališta, u redu, osim što se tiče debljine LLDPE-folije, koja iznosi samo 1 mm i koja je time podložna pucanju. Na odlagalištima, na koja se odlaže pretežno prethodno neobrađeni komunalni otpad, treba osim toga uzeti u obzir da se u slijedećih nekoliko desetljeća može računati sa slijeganjima do čak 30% od početne visine. Stoga se na austrijskim odlagalištima za konačno prekrivanje obično koristi HDPE-brtvena staza debljine 2,5 mm, pri čemu valja primijetiti da takvo konačno prekrivanje, kao što je slučaj na odlagalištu Jakuševac, slijedi tek nakon cca 10 do 20 godina. Nakon završetka jednog dijela odlagališta izvodi se gornje privremeno prekrivanje. K tome se gornje privremeno prekrivanje izvodi na maksimalno 20 godina, u svrhu upravljanja zadržavanjem vode i podizanja stupnja prikupljanja odlagališnog plina. To znači da se završno gornje prekrivanje izvodi tek nakon završetka svih mogućih mjera za intenziviranje biološkog procesa razgradnje (s proizvodnjom plina odnosno iskorištavanjem istoga).

Za završno se prekrivanje na plohama 5 i 6 preporučuje povećati debljinu LLDPE-folije na 2,5 mm, a da se do tada izvede privremeno prekrivanje u obliku sloja za oksidaciju metana.

Pojedine glave plinskih zdenaca se moraju zabrtviti u predjelu gornjeg prekrivnog sloja s jednim slojem gline ili bentonitom (debljine cca 1 – 2 m) prema gornjem rubu terena, jer se u suprotnom ne može ostvariti podtlak i/ili se pak usisava vanjski zrak (kisik).

5.5. Završni zaključci

Kao sveobuhvatni rezultat stručnih istraživanja odlagališta Prudinec/Jakuševac u Zagrebu možemo zaključiti slijedeće:

- Uzrok nastalog zadržavanja procjednih voda u tijelu odlagališta, koje među ostalim dovodi do utvrđenog potapljanja pojedinih plinskih zdenaca, je tehnička konstrukcijska greška u izvođenju sustava odvodnje donjeg brtvenog sloja. Ugradnja međusloja/sloja zemlje debljine 0,3 m preko Geotextila (zaštitni filc) donje odvodnje procjednih voda (površinski filter), koji nije u skladu sa stanjom tehnike, zbog svoje izrazito male propusnosti (izvještaj navodi k_f – vrijednost $1 \cdot 10^{-9}$ odnosno $1 \cdot 10^{-11}$ m/s) vodi do nakupljanja procjednih voda tijelu odlagališta, koji se nalazi netom iznad (vidi crtež 2). Tako kobna konstrukcijska greška s tako teškim posljedicama može se smatrati greškom koja za sobom povlači obvezu naknade štete.
- Pouzdanost i kvaliteta podataka koji su vještacima dostavljeni je upitna. Moguće je da je to djelomično slučaj zbog greški u prijevodu i prijenosu podataka, no s druge strane ti podaci upućuju i navode na zaključak o očiglednom manjku stručnog znanja i profesionalnosti autora podataka (tj. projektanta). Tako se npr. za HDPE-foliju navodi vrijednost koeficijenta k_f (od $k_f = 1 \cdot 10^{-10}$ do $1 \cdot 10^{-14}$ cm/s) (usp. (III) str. 9; ...pravilno konstruirana HDPE geomembrana može imati koeficijent propusnosti veličine 1×10^{-10} do 1×10^{-14} centimetara u sekundi ili manje), iako prolaz tvari kroz sintetičku foliju **ne** podliježe Darcy-jevom zakonu protjecanja i advekciji. Sa stručnog stajališta je također neodrživa i slijedeća konstatacija:
 - *Na plohama 2-5, gdje je otpad ugrađen vrlo brzo, propusnost odloženog otpada utječe na vertikalnu brzinu toka procjednih voda. Propusnost odloženog otpada je vrlo niska zbog svojstva specifičnih za tu vrstu materijala te stoga nema smisla odrediti i navesti koeficijent propusnosti za zemljani sloj.*

(vidi STRUČNO MIŠLJENJE str.10, odgovor instituta IGH na pitanje vezano uz razlike u izvođenju donjeg brtvenog sloja/donjeg sloja za odvodnju (međusloj/sloj zemlje odnosno međusloj/šljunak) na plohama 2 - 5 i 5D – 6).

Nadalje se k_f – vrijednosti izražavaju u obliku [cm/s] odnosno [m^2/s] (za geosintetičke slojeve za odvodnju odnosno sloj za drenažu plina), što ne odgovara normi te ne pridonosi jasnoći, već naprotiv djeluje zbunjujuće.

- Sumnja u pouzdanost dostavljenih podataka nastupa primjerice kod izvještaja o količini plina za vremenski period od rujna 2010. do rujna 2011. godine (vidi Tablicu 5, str. 18) i izvještaj o (obrađenim) količinama procjednih voda za vremenski period od

listopada 2010. do rujna 2011. godine (vidi Tablicu 6, str. 20). Tako se u izvještajima za razdoblje od listopada do prosinca 2010. godine nalazi podatak od između $7.935m^3$ do $11.293m^3$ obrađene procjedne vode mjesečno, dok od veljače 2011. registrirana mjesečna količina obrađene procjedne vode iznosi samo između $2.839m^3$ (srpanj 2011) i $4.522m^3$ (lipanj 2011.). Osim toga, za do 8 dana/mjesec nije naznačena količina procjednih voda, a da nije navedeno nikakvo obrazloženje za odsutnost tog podatka.

- Prema preporukama iz novog projekta projektanta IGH, predlaže se novi plinski zdenac s jednom okomitom cijevi za odvodnju te drugom, okomitom cijevi za otplinjavanje. Iz priložene projektne skice (vidi crtež 5, str. 13) nažalost nije razvidno, kako bi trebala funkcionirati odvodnja vode iz zdenca paralelno s isisavanjem plina: gdje (otvor cijevi) će se ispumpavati procjedna voda i kako će se ona s dna odlagališta ispumpavati na površinu odlagališta (do visine od 45m)? Kako će se spriječiti prodor odlagališnog plina u cijev za odvodnju procjedne vode? VJEŠTACI koji su potpisnici ovog Stručnog izvješća smatraju da postoje opravdane sumnje u sposobnost funkcioniranja novog dvostrukog zdenca kojeg predlaže institut IGH. Oni preporučuju da konstrukcijske planove koje je izradio projektant IGH preispita neki neovisni, profesionalni proizvođač zdenaca (tj. tvrtka za izgradnju zdenaca).
- Mjerenja prisutnosti metana- CH_4 provedena 2007. i 2008. godine na gornjim površinama odlagališta oko glava plinskih zdenaca (Tablica 4, str. 17) pokazuju da je kod zdenaca B2, C2, C3, C4, C5, D1, D2, D3, D4, E3, E5 (tj. kod 22% svih ispitanih zdenaca) došlo do oštećenja spoja-brtvljenja s gornjim prekrivnim slojem, zbog čega dolazi do izlaza (tj. migracije) odlagališnog plina. Spoj tih gore navedenih glava plinskih zdenaca i gornjeg prekrivnog sloja treba sanirati i učiniti plinonepropusnim. Osim toga treba kružno oko glave plinskog zdenca postaviti HDPE-foliju, na način da se ona preklapa s HDPE-folijom gornjeg prekrivnog sloja. Prema gore treba mineralnim brtvenim slojem minimalne debljine 1 m (bentonit ili glina) zabrtviti izlazni dio glave plinskog zdenca te ga na površini betonskim prstenom zaštititi od mogućih oštećenja. Mineralni brtveni sloj treba nanošenjem rekultivirajućeg sloja održavati vlažnim i štititi od isušivanja (pojava pukotina).

-
- Odlagalište je inženjersko-tehnički objekt za koji postoje priznate norme i u praksi dokazano stanje tehnike. To znači da se planiranje i izvođenje usluga vezanih uz odlagalište treba povjeriti samo profesionalnim, priznatim i stručnim inženjerskim uredima i građevinskim tvrtkama.

