

# PRILOG IZGRADNJI BRTVENIH SUSTAVA NA ODLAGALIŠTU OTPADA

Hrnčić N.<sup>1</sup>, Hrnčić M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>At consult d.o.o., Varaždin, Hrvatska

<sup>2</sup>Varaždin, Hrvatska

**Sažetak:** U radu se razmatra izgradnja brtvenih sustava na primjeru odlagališta sanitarnog otpada "Piškornica" u blizini Koprivnice. Dobro brtvljenje, tj. stvaranje nepropusne prepreke između odloženog otpada i okoliša, ključni je element sigurnosti i trajnosti svakog odlagališta. Posebno su naglašene karakteristike materijala koji se u tu svrhu koriste, kao i tehnički uvjeti njihove ugradnje. Isto tako, spomenute su i metode kontrole primijenjenih materijala te izvedenih radova.

**Ključne riječi:** odlagalište, brtveni sustav, glineni brtveni sloj, geosintetici

**Abstract:** The paper deals with the construction of the sealing systems used in the sanitary landfill "Piškornica" near Koprivnica. Quality sealing i.e. making an impermeable barrier between the disposed waste and the environment, represents the key element of safety and durability for every landfill. Emphasis is given to the required characteristics of the materials used and to the technical conditions of their installation. Control methods for the applied materials and performed construction work are also stated.

**Key words:** landfill, sealing system, clay liner, geosynthetics

## 1. UVOD

Odlagališta imaju zadatak da prije svega kontrolirano i trajno zbrinu odloženi otpad i sačuvaju okoliš od njegovog štetnog utjecaja. Suvremeno odlagalište otpada je zatvorena posuda u koju se odlaže otpad, a iz koje ništa ne može i ne smije nekontrolirano izaći. Dakle, osnovno pitanje kod odlaganja otpada je efikasno izoliranje tijela odlagališta od podzemnih i površinskih voda. Sprečavanje nekontroliranog otjecanja procjednih voda u okoliš, kao i prikupljanje površinskih voda koje nisu bile u kontaktu s otpadom, osnovna je zadaća brtvenog sustava.

## 2. OPĆENITO O BRTVENIM SUSTAVIMA

Kao što je spomenuto, brtveni sustavi su dijelovi odlagališta koji sprečavaju prodiranje oborinskih i drugih voda u tijelo odlagališta, te širenje filtrata iz odlagališta u okoliš. Dijele se na:

- temeljni brtveni sustav koji sačinjava barijeru između odlagališta i prirodnog tla u podlozi

- pokrovni brtveni sustav koji pokriva otpad i sprečava prodor oborinskih voda u tijelo odlagališta



Legenda:

1 – otpad

2 – temeljni brtveni sustav

3 – pokrovni brtveni sustav

4 – međuetražni sloj

5 – bočni (temeljni) brtveni sustav

6 – cijev za evakuaciju plina

7 – odvodni jarak

Slika 1. Presjek suvremenog odlagališta otpada

Potrebno je naglasiti da se brtveni sustavi ne sastoje samo od nepropusnih barijera već sadrže i propusne slojeve. Dok nepropusni dijelovi sprečavaju prodor filtrata prema temeljom tlu, propusni rasterećuju brtvene slojeve odvodnjom filtrata (temeljni brtveni sustav), odvodnjom procjedne vode i skupljanjem plinova (pokrovni brtveni sustav).

Za izgradnju brtvenih sustava najčešće se koristi kombinacija mineralnih i umjetnih materijala, a čija svojstva zadovoljavaju propisane tehničke karakteristike. Postoje različite varijante izvedbe brtvenih sustava koje se međusobno razlikuju prema načinu kombiniranja prirodnih i umjetnih komponenti, kao i po broju te debljini pojedinih sastavnih slojeva.

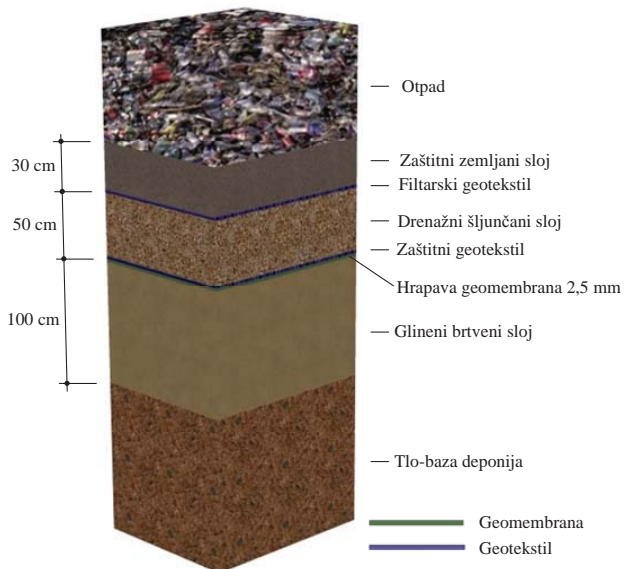
## 3. TEHNIČKI UVJETI IZGRADNJE I KONROLE KVALITETE BRTVENIH SUSTAVA

U nastavku će se prikazati rješenje brtvenih sustava primijenjeno na sanaciji odlagališta sanitarnog otpada "Piškornica", gdje se odlaže tehnološki i komunalni otpad grada Koprivnice i susjednih općina.

Detaljnije će se opisati tehnički zahtjevi vezani uz primijenjeni materijal te njegovu ugradnju i kontrolu izvedbe pojedinih slojeva u sastavu brtvenih sustava.

### 3.1. Temeljni brtveni sustav

Rješenje temeljnog brtvenog sustava s redosljedom i debljinama pojedinih slojeva prikazano je na slici 2.



Slika 2. Temeljni brtveni sustav

#### 3.1.1. Zemljana ispunja

Zemljana ispunja podrazumijeva materijal koji se ugrađuje i zbija zbog izvedbe odlagališnog obodnog nasipa. Zemljana ispunja je i materijal koji se koristi za podlogu ispod glinenog brtvenog sloja radi povišenja podloge na projektiranu razinu.

Materijal je definiran kao neorganski, čvrst i trajan. Podlogu od zemljane ispunje potrebno je očistiti od vegetacije i drugih neprikladnih materijala, nakon čega se raspoređuje u horizontalne slojeve jednake debljine pomoću buldožera ili drugih prikladnih sredstava. Debljina zemljane ispunje ne prelazi 30 cm prije zbijanja koje se izvodi vibracijskim kompaktorom, valjkom s bodljama ili vibracijskim valjkom kako je prikazano na slici 3.



Slika 3. Prijelaz valjka preko zemljane ispunje

Zemljana ispunja treba zbiti na suhu gustoću koja iznosi najmanje 95% od maksimalne suhe gustoće, tako da su potrebna najmanje četiri prijelaza odabranog valjka. Za vrijeme ugradnje i zbijanja vlažnost materijala bi trebala biti održavana, a materijal koji je previše mokar odstraniti ili osušiti na određenu vlažnost.

Kontrola zbijenosti provodi se za vrijeme građenja obodnog nasipa i područja ispod radne plohe da bi se utvrdilo zadovoljavaju li gustoća i količina vlage tehničke uvjete.

Kontrola ugrađenog materijala zemljane ispunje u obodni nasip i područja ispod glinenog brtvenog sloja provodi se sljedećim laboratorijskim ispitivanjima:

- vlažnost i gustoća (ispituju se na neporemećenim uzorcima tla)
- Atterbergove granice plastičnosti
- granulometrijski sastav
- optimalna vlažnost i gustoća gline po Proctoru

#### 3.1.2. Glineni brtveni sloj

Za ugradnju glinenog brtvenog sloja treba ispitati tlo koje mora zadovoljiti određene kriterije (tabela 1.)

Tabela 1. Kriteriji ispitnog tla

TESTIRANA KARAKTERISTIKA	TESTIRANA VRIJEDNOST
maksimalna pojedinačna veličina zrna	50 mm
minimalni postotak prolaza kroz sito 4,75 mm	50 %
maksimalni postotak prolaza kroz sito 4,75 mm	80 %
minimalna granica tečenja	35 %
minimalni indeks plastičnosti	10
maksimalni indeks plastičnosti	40
maksimalna hidraulička propusnost u kompaktiranom stanju	$1 \cdot 10^{-7}$ cm/s
stupanj zbijenosti	95 % standardnog Proctorovog pokusa
vlažnost	od wopt. -1 % do wopt. +3 %

Glina koja se ugrađuje u donji brtveni sloj mora u što većoj mjeri umanjiti prodiranje procjednih voda u podzemlje, a najmanja debljina sloja iznosi 1,0 m. Materijal glinenog brtvenog sloja ne bi smio sadržavati korijenje, krhotine, organske ili smrznute materijale.

U toku građenja glinenog brtvenog sloja treba glinu očistiti od pijeska i drugih neglinitnih materijala, nakon čega se ugrađuje u odgovarajućoj debljini kako bi se postigla zadovoljavajuća zbijenost.

Glineni brtveni sloj mora biti kompaktna, pa treba najmanje pet prijelaza opreme za kompaktiranje preko svih područja svakog radnog sloja. Zadnji sloj treba glatko uvaljati s najmanje tri prijelaza s odgovarajućim glatkim čeličnim valjcima da bi se dobila glatka površina

bez izbočenja i udubina. Odabrani materijal za glineni brtveni sloj isto tako mora imati odgovarajuću posmičnu čvrstoću, kao što je prikazano u 2. i 3. tabeli.

Tabela 2. Triaksijalno ispitivanje nekonsolidiranog nedreniranog materijala

TLAK [kPa]	POSMIČNA ČVRSTOĆA [kPa]
50	12
300	72

Tabela 3. Triaksijalno ispitivanje konsolidiranog nedreniranog tla

TLAK [kPa]	POSMIČNA ČVRSTOĆA [kPa]
50	14
300	82

Laboratorijsko ispitivanje posmične čvrstoće glinenog brtvenog sloja izvodi se u triaksijalnom aparatu. Ispitivanja se izvode na materijalu koji je pripremljen tako da ima prosječnu vlažnost i gustoću kakva se zahtijeva u vrijeme ugradnje. Oba ispitivanja se provode u minimalno tri serije ispitivanja za svaku plohu.

Na mjestu iskopa gline kontrolira se kvaliteta materijala, dok se na mjestu ugradnje u brtvene slojeve uz kontrolu kvalitete materijala još kontroliraju izvedeni radovi. Kontrola kvalitete materijala i izvedenih radova provodi se vizualno te putem laboratorijskih ispitivanja. Laboratorijska kontrola obuhvaća ispitivanje poremećenih i neporemećenih uzoraka tla u geomehaničkom laboratoriju i podrazumijeva:

- kontrolu materijala na mjestu iskopa
- kontrolu na mjestu ugradnje

Nasipavanje idućeg sloja glinom slijedi nakon dobivenih rezultata ispitivanja prethodno završenog sloja. Ako zbijenost sloja nije zadovoljavajuća, provodi se dodatno zbijanje i kontrola zbijenosti. Vrsnoća materijala i njegova podobnost za ugradnju u brtveni sloj mora se dokazati najmanje deset dana prije ugradnje na odlagalištu. Iskop uzoraka tla mora biti duž čitave visine etaže koja se namjerava kopati, a treba ispitati:

- prirodnu vlažnost na svakih 500 m<sup>3</sup>
- Atterbergove granice plastičnosti na svakih 2000 m<sup>3</sup>
- granulometrijski sastav na svakih 2000 m<sup>3</sup>
- optimalna vlažnost i masa suhog tla prema standardnom Proctoru na svakih 3000 m<sup>3</sup>
- vodopropusnost na svakih 3000 m<sup>3</sup>
- posmičnu čvrstoću na svakih 3000 m<sup>3</sup>

Dobra glina ugrađena u svaki pojedini sloj ispituje se laboratorijski i na terenu. Za laboratorijska ispitivanja uzimaju se poremećeni i neporemećeni uzorci koji se uzimaju iz svakog pojedinog sloja s određenim pomakom, tako da se ne uzimaju u istom profilu.

Za kontrolu ugađenog materijala provodi se sljedeće:

- vlažnost i gustoća: vlažnost i gustoća ugrađene gline kontroliraju se na neporemećenim uzorcima tla koji se vade u svakom pojedinom sloju. Broj uzoraka mora biti jedan na 150 m<sup>3</sup> ugrađenog materijala. U svakom pojedinom sloju vade se najmanje tri uzorka. Gustoća svih ispitanih uzoraka treba zadovoljiti minimalne tražene uvjete iz projekta. Tolerira se da na deset ispitanih uzoraka jedan ne zadovoljava, pri čemu se moraju ponoviti kontrolna ispitivanja i to u zoni gdje je dobiven nezadovoljavajući rezultat. Ako ne zadovoljavaju dva ili sva tri uzorka, tada se taj dio ugrađenog sloja mora odstraniti. Vlažnost uzoraka treba biti unutar granica propisanih projektom.
- Atterbergove granice plastičnosti kontroliraju se na svakih 2000 m<sup>3</sup> ugrađene gline, a svaki ispitani uzorak mora zadovoljiti uvjete iz projekta.
- granulometrijski sastav ispituje se na svakih 2000 m<sup>3</sup> ugrađene gline, a svaki ispitani uzorak mora zadovoljiti uvjete iz projekta.
- optimalna vlažnost i gustoća gline po Proctoru: pokuse standardnog Proctora treba izvesti na svakih 500 m<sup>3</sup> ugrađenog materijala ili 3 uzorka za svaku plohu.
- ispitivanje trenja na kontaktnim površinama: laboratorijska ispitivanja kontaktnog trenja treba provesti na sljedećim kontaktnim površinama:
  - glineni brtveni sloj – hrapava geomembrana (2,5 mm debljine)
  - hrapava geomembrana (2,5 mm debljine) – zaštitni geotekstil

### 3.1.3. Hrapava geomembrana

Geomembrana je vrlo slabo propusna sintetička membrana koja se u geotehničkim zahvatima koristi kao barijera za kontrolu migracije fluida u objektima ili određenim sustavima.

U odlagalištima otpada najčešće se koriste polietilenske membrane visoke gustoće, a u ovim konstrukcijama im debljina varira od 0,5 mm do 2,5 mm, ovisno o funkciji geomembrane i tipu otpada. Za donji brtveni sustav koristi se 2,5 mm debela, fleksibilna membrana, hrapava na obje strane.

Materijale koji mogu oštetiti geomembranu treba ukloniti, a eventualne štete na geomembrani za vrijeme ugradnje moraju biti sanirane. Geomembrana se spaja metodom vrućeg spajanja, prekriva se zaštitnim geotekstilom i drenažnim materijalom za skupljanje procjednih voda.

Potrebno je ugraditi 80 cm zemljanog materijala na geomembranu prije nego se po njoj počnu kretati ostali strojevi i oprema, a izvodi se barem jedno ispitivanje kontaktnog trenja geomembrane i gline po svakoj plohi odlagališta.

### 3.1.4. Zaštitni geotekstil

Zaštitni geotekstil koristi se kao zaštita geomembrane od mehaničkih oštećenja kod ugradnje drenažnih i filterskih slojeva te odlaganja i zbijanja otpada.

Geotekstil je netkani propusni proizvod od polimernog materijala oblikovan u mrežu. Osnovnom polimeru se prema potrebi dodaje stabilizator kako bi vlakna bila otporna na ultravioletno svjetlo, oksidaciju i izlaganje toplini.

Podloga ispod zaštitnog geotekstila je glatka, bez brazdi i izbočina, a polaže se vodoravno i jednolično da bi geotekstil bio u direktnom kontaktu s podlogom. Potrebno ga je zaštititi od opterećivanja, cijepanja i ostalih oštećenja za vrijeme postavljanja, a eventualna oštećenja sanirati zakrpom od geotekstila istog tipa koja prelazi najmanje 30 cm preko ruba oštećenja. Geotekstil treba zadovoljiti uvjete iz tabele 4.

Tabela 4. Fizička svojstva geotekstila

SVOJSTVA	METODE ISPITIVANJA	JEDINICE	VELIČINE
Uzdužna vlačna čvrstoća	DIN 53857 DIN 53585	kN/m	49
MD-glavni smjer		kN/m	49
CD-poprečni smjer			
Produljenje pri maksimalnom opterećenju		%	80
MD-glavni smjer		%	65
CD-poprečni smjer			
CBR otpor utiskivanju	DIN 54307	N	9000
Pomak		mm	50
Debljina	DIN 53855	mm	7,2
2 kPa		mm	4,0
200 kPa			
Masa	DIN 54307	g/m <sup>2</sup>	1000

### 3.1.5. Sustav skupljanja procjednih voda - drenažni materijal

Drenažni materijal je ekološki čist, čvrst i trajan. Najčešće se koristi lomljeni kamen ili šljunak, dok se grudasti materijal koji sadrži trosku, pepeo, led ili organske materijale ne upotrebljava. Kamen može biti poluzaobljen ili zaobljen, netopiv u vodi, uz zadovoljavajuće granulacijske zahtjeve prikazane u tabeli 5. Propusnost drenažnog materijala mora biti veća ili jednaka od  $1 \times 10^{-1}$  cm/s.

Tabela 5. Granulacija drenažnog kamena

POSTOTAK PROLASKA [%]	VELIČINA ČESTICA [mm]
100	60-63
85	20
50	7-15
10	0,6-2

Drenažni materijal ugrađuje se zajedno s postavljanjem sabirnih cijevi, a preko tog sloja postavlja se geotekstil. Vozila ne prelaze preko ugrađenih drenažnih cijevi sve dok se iznad njih ne položi adekvatan sloj materijala. U vrlo prometnim područjima debljina sloja je najmanje 90 cm, kako je prikazano u tabeli 6.

Tabela 6. Pokrivna debljina drenažnog materijala

PRITISAK OPREME NA TLO [kPa]	MINIMALNA DEBLJINA SLOJA [mm]
< 40	350
40-55	450
55-100	600
> 110	900

### 3.1.6. Filtracijski/separacijski geotekstil

Filtracijski/separacijski geotekstil je netkani propusni proizvod od polimernog materijala. Postavljanje geotekstila radi se usklađeno s izvedbom drenažnog sloja za prikupljanje procjednih voda i plinske drenaže (šljunak u prekrivnom sustavu). Svi spojevi izvode se šivanjem, a najmanji razmak od ruba filtracijskog/separacijskog geotekstila do linije šava iznosi 75 mm. Podloga koja je ispod filtracijskog/separacijskog geotekstila treba biti glatka, bez brazdi i izbočina koje bi ga mogle oštetiti.

### 3.1.7. Zaštitni zemljani sloj

Zaštitni zemljani sloj definira se kao pjeskoviti ili šljunkoviti materijal. Ispituje se laboratorijski da bi se odredio granulometrijski sastav, koeficijent vodo-propusnosti te kontaktna posmična čvrstoća. Propusnost zemljanog sloja je veća ili jednaka  $1 \times 10^{-3}$  cm/s, a ugrađuje se na osnovnu površinu radne plohe u jednom sloju. Treba prekontrolirati kvalitetu ugrađenog materijala, a granulometrijske analize provode se najmanje jednom na 1000 m<sup>3</sup>.

### 3.1.8. Perforirane cijevi, pune cijevi i okna od polietilena visoke gustoće

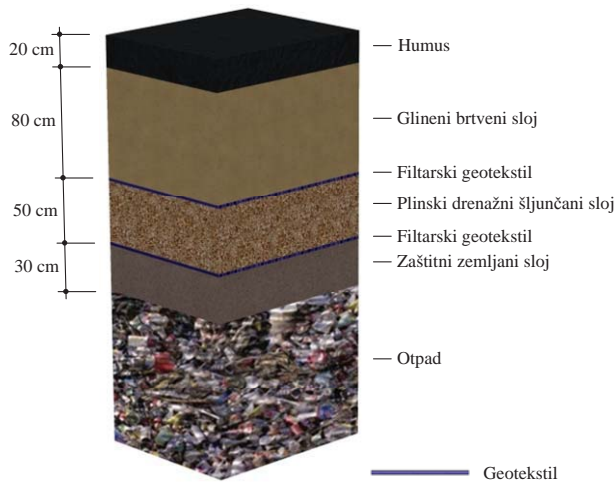
Riječ je o cijevima posebne kategorije otpornim na statičko, termičko i kemijsko opterećenje, perforirane su po čitavom opsegu, a veličina perforacija iznosi maksimalno 10 mm. Cijevi i pribor za montažu moraju biti zaštićeni od oštećenja oštrim predmetima kroz sve faze rada.

Kolektorske cijevi kojima se povezuju pojedina okna moraju zadovoljiti zahtjev za apsolutnom nepropusnošću, posebno na spojevima. Revizijska okna se proizvode s dvostrukim stijenkama i moraju imati sifon da ne ulaze plinovi.

Drenažne cijevi, revizijska okna u sustavu odvodnje procjednih voda te svi prateći dodatni elementi izrađuju se od sintetskih materijala od polietilena visoke gustoće.

### 3.2. Pokrovni brtveni sustav

Rješenje pokrovnog brtvenog sustava s redosljedom i debljinama pojedinih slojeva prikazano je na slici 7.



Slika 7. Gornji brtveni sloj

#### 3.2.1. Glineni brtveni sloj

Gornji glineni brtveni sloj ima propusnost manju ili jednaku  $1 \times 10^{-7}$  cm/s. Potreban je detaljan plan rukovanja materijalom u kojem se precizno navodi vrsta materijala, težina i kritične dimenzije opreme koja se koristi za rasprostiranje i kompaktiranje, metode zaštite gornjeg glinenog brtvenog sloja od zagađenja, kao i promjena u količini vlage.

Potreban je izvještaj o procjeni izvorišta gline koji sadrži sljedeće: lokaciju svakog pojedinog izvorišta, tlocrt i procijenjene količine materijala, laboratorijske rezultate testiranja, hidrauličku propusnost za svaku pojedinu vrstu materijala ili za kombinaciju više vrsta materijala. Debljina brtvenog sloja iznosi najmanje 80 cm. Kvaliteta materijala i njegova podobnost za ugradnju u brtveni sloj određuje se sljedećim ispitivanjima:

- prirodna valžnost na svakih 500 m<sup>3</sup>
- Atterbergove granice plastičnosti na svakih 2000 m<sup>3</sup>
- granulometrijski sastav na svakih 2000 m<sup>3</sup>
- optimalna vlažnost i masa suhog tla po standardnom Proctoru na svakih 3000 m<sup>3</sup>
- vodopropusnost na svakih 3000 m<sup>3</sup>

Glineni brtveni sloj postavlja se u rastresitom stanju u sloju koji ne smije imati debljinu veću od 30 cm, a u područjima gdje se moraju upotrijebiti ručni kompaktori, rastresiti sloj nije deblji od 15 cm. Potrebno je spriječiti smrzavanje i isušivanje gornjeg glinenog brtvenog sloja i nadoknaditi štetu nastalu erozijom. Popravci se dokumentiraju, uključujući podatke o volumenu, količini oštećenog tla i rezultatima ponovnih ispitivanja.

Kvaliteta gline ugrađene u svaki pojedini sloj gornjeg i donjeg brtvenog sloja i njezina zbijenost mora se

kontrolirati određenim vrstama laboratorijskih ispitivanja i pomoću kontrolnih ispitivanja na terenu. Po završetku izrade brtvenih slojeva i kontrolnih ispitivanja treba izraditi izvještaj o kontroli izvedbe, a koji sadrži:

- kratak opis građevine
- osnovni podaci o iskopu
- način iskopa
- osnovne karakteristike strojeva za iskop
- podaci o osnovnim osobinama gline
- priprema površina prethodno izvedenih slojeva
- eventualno miješanje, usitnjavanje i vlaženje materijala na mjestu ugradnje
- osnovne karakteristike strojeva korištenih pri ugradnji i zbijanju materijala
- zbijanje pojedinih slojeva
- rezultati pojedinih laboratorijskih ispitivanja na mjestu iskopa te kontrolnih ispitivanja ugrađenog materijala
- statistička obrada svih laboratorijskih i "in situ" ispitivanja
- opis aktivnosti prilikom rada, zapaženih prilikom vizualne kontrole

#### 3.2.2. Prirodni materijali sustava za otplinjavanje

Materijal plinskog drenažnog sloja u završnom sustavu prekrivanja odlagališta treba biti čisto, zdravo, nekohezijsko pjeskovito ili šljunkovito tlo. Za ugradnju u plinske zdence koristi se krupno šljunkovito tlo, a osim šljunka mogu se koristiti krhotine lomljenog stakla. Šljunak u sustavu otplinjavanja pribavlja se s prirodno čistog izvora, potrebna su ispitivanja tla kojima se dokazuje granulometrijski sastav, koeficijent vodopropusnosti, sadržaj karbonata i kontaktna posmična čvrstoća između dvaju geosintetika i geosintetika tla.

Debljina materijala se dokazuje pomoću visinskih provjera početne i konačne površine sloja za otplinjavanje, a prihvatljiva vertikalna tolerancija je 50 mm. Materijal se ugrađuje tako da se ne stvaraju valovi i nabori na geosinteticima. Granulometrijska analiza provodi se najmanje na svakih 1000 m<sup>3</sup>.

#### 3.2.3. Zaštita pokosa humusnim materijalom i travnatom vegetacijom

Humusnim materijalom i travnatom vegetacijom zaštićuju se površine koje su izložene eroziji zbog malih količina površinskih voda. Nestabilni pokosi na kojima su se pojavila plitka površinska klizanja ili pokosi erodirani vodom saniraju se na odgovarajući način prije polaganja zaštite.

Zbog što boljeg prilagođavanja toka površinskih voda niz kosinu, odnosno s kosine na teren, potrebno je zaobliti gornji rub pokosa. Ispod trave stavlja se podloga od aktivnog humusnog materijala koji ne sadrži dodatke kao što su pijesak, šljunak, kamen, korijenje, granje i sl., a nanosi se u jednom sloju, ne tanjem od 10 cm. Naneseni humus se lagano zbija lakim nabijačem, lopatom i sl., a na uređenu podlogu od humusa sije se trava koja se odabire s obzirom na vrstu tla i vlažnost koja se očekuje.

#### 4. ZAKLJUČAK

Potreba za zaštitom okoliša sve se više potiče u svijetu pa tako i u našoj zemlji. Djelotvorni sustavi za brtvljenje s očekivanim dugotrajnim vijekom trajanja postaju nužni za zaštitu i očuvanje podzemnih i površinskih voda, tla i zraka.

Ispravno i trajno funkcioniranje brtvenih sustava odlagališta otpada ovisi o svim elementima i sudionicima u procesu njegove izgradnje, od projekta do izvedbe. Izbor odgovarajućih materijala i preciznost u samoj izgradnji brtvenih sustava od presudne su važnosti za njihovu efikasnost i trajnost. Kontrola kvalitete pojedinih materijala i izvedenih radova provodi se vizualno i putem laboratorijskih ispitivanja, a brojnost samih metoda te učestalosti njihove primjene, kako prije tako i nakon ugradnje na lokaciji odlagališta, ukazuju na složenost problematike izgradnje brtvenih sustava.

#### 5. LITERATURA

- [1] IGH d.d., (2004), Glavni projekt uređenja postojećeg odlagališta otpada "Piškornica" - Koprivnica, Zagreb
- [2] Kvasnička P., Gjetvaj G., Verić F., Matešić L., (1996), Svrhovitost ispitivanja fizikalnih svojstava mineralnih brtvenih i drenažnih slojeva kod odlagališta otpada, IV. Međunarodni simpozij: Gospodarenje otpadom - Zagreb '96, Zagreb, Tectus d.o.o., Zagreb, pp 308-322
- [3] Milanović Z., (1992), Deponij - trajno odlaganje otpada, Javno poduzeće "Zbrinjavanje gradskog otpada", Zagreb
- [4] Mulabdić, M., Sesar, S., (2000), Principi kontrole i osiguranja kvalitete u izvedbi brtvenih sustava odlagališta otpada, VI. Međunarodni simpozij: Gospodarenje otpadom - Zagreb 2000, Zagreb, Mtg-topograf d.o.o., Zagreb, pp 351-360