

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Visokošolski program Gradbeništvo,
Prometnotehnična smer

Kandidat:

Rok Kovačič

**Analiza obnašanja pokrova na odlagališču
Leskovec Novo mesto (CeROD - Center za
ravnanje z odpadki Dolenjske)**

Diplomska naloga št.: 357

Mentor:

viš. pred. dr. Ana Petkovšek

Ljubljana, 29. 1. 2010

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **ROK KOVAČIČ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

»ANALIZA OBNAŠANJA POKROVA NA ODLAGALIŠČU LESKOVEC, NOVO MESTO«.

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, 8.1.2010

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji Prometno – tehnične smeri:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.131:628.4(043.2)
Avtor:	Rok Kovačič
Mentor:	viš. pred. dr. Ana Petkovšek, univ. dipl. inž. geol.
Naslov:	Analiza obnašanja pokrova na odlagališču Leskovec, Novo mesto
Obseg in oprema:	54 str., 9 pregl., 28 sl., 13 en., 2 pril.
Ključne besede:	CeROD, pokrovni sistem, tesnilna plast, drenažna plast, GCL

Izvleček

V diplomski nalogi sem obravnaval stabilnost pokrova na Odlagališču nenevarnih odpadkov Leskovec v Novem mestu. Pokrov je pomemben del vsakega odlagališča v fazi zapiranja in po zaprtju, saj preprečuje infiltracijo voda v odlagališče in izhajanje snovi iz odlagališča v okolje. Za dolgoročno učinkovito delovanje pokrova je pomembna njegova stabilnost, ki se sčasoma lahko poslabša zaradi dvigovanja gladine podzemne vode v pokrovu in učinkov erozije.

Načrtovanje in gradnjo pokrovov ureja relevantna okoljska zakonodaja ter pravilniki, ki določajo principe načrtovanja, gradnje, vzdrževanja in opazovanje vplivov deponij na okolje. Predpisi se v posameznih državah razlikujejo, na splošno pa postajajo čedalje strožji, tako glede kakovosti materialov kot izvedbe in nadzora nad izvedbo.

V svojem delu sem analiziral stabilnost pokrova na odlagališču Leskovec ter dimenzioniral sidrni jarek za različne naklone brežin z upoštevanjem najnovejših nemških smernic EBGEO. Postopki, ki sem jih uporabil v diplomski nalogi so primerni tudi za uporabo pri načrtovanju zaščite brežin prometnic in v akumulacijskih bazenih hidroelektrarn.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**UDC:** 624.131:628.4(043.2)**Author:** Rok Kovačič**Supervisor:** sen. lect. dr. Ana Petkovšek, univ. dipl. inž. geol.**Title:** Analysis of the final cover behavior on landfill Leskovec, Novo mesto**Notes:** 54 p., 9 tab., 28 fig., 13 eq.**Key words:** CeROD, cover system, hydraulic barrier layer, drainage barrier, GCL**Abstract**

My thesis investigates the stability of the top cover on municipal non-hazardous waste landfill Leskovec in Novo Mesto. The final cover system represents a very important part of the municipal landfill in its closing stages. Overall, this system requires special attention from the initial design stage through material selection, construction, postconstruction monitoring etc.

In dealing with the subject of the final landfill cover systems, we have to consider the legislation that regulates design, construction, selection of materials, maintenance procedures, operational phase, monitoring of the environmental impacts etc. Regulations in individual countries differ and are becoming increasingly stringent, especially in the field of waste recycling

I performed the stability analysis, where I evaluated the influence of the underground water level to the safety of the cover structure. I also designed the anchoring trench for the geosynthetics, using the new German EBGEO guidelines. The EBGEO method is also suitable when the slope protection have to be designed on roads and inside the water accumulation pools

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorici viš. pred. dr. Ani Petkovšek, univ. dipl. inž. geol. Za pomoč pri računskem delu se zahvaljujem Mateju Mačku, univ. dipl. inž. grad.

Zahvaljujem se tudi svoji družini, ki mi je vsa leta študija stala ob strani in me podpirala.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	KRATKA PREDSTAVITEV PROJEKTA CEROD (CENTER ZA RAVNANJE Z ODPADKI DOLENJSKE)	4
2.1	Prva etapa (CeROD I)	5
2.1.1	Staro odlagališče	6
2.1.1.1	Stanje starega odlagališča pred sanacijo	7
2.1.1.2	Sanacija starega dela odlagališča	8
2.1.1.2.1	Zaključno prekrivanje brez nadaljevanja odlaganja odpadkov	8
2.1.1.2.2	Delno prekrivanje brežine na stiku z novim odlagališčem	9
2.1.2	Novi del	10
2.1.2.1	Geološke in geotehnične razmere na območju širitve	12
2.1.2.2	Glavni elementi razširitve deponije	12
2.1.2.3	Tesnjenje dna novega dela odlagališča	13
2.1.2.4	Tesnjenje brežin novega dela odlagališča	14
2.1.2.5	Bazen za izcedno in meteorno vodo	15
2.2	Druga etapa (CeROD II)	15
3	PREGLED RELEVANTNE ZAKONODAJE ZA GRADNJO ODLAGALIŠČ	17
3.1	Slovenska zakonodaja (Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih – Uradni list RS, št. 32/2006)	17
3.1.1	Splošno	17
3.1.2	Zahteve za tesnjenje odlagališčnega dna (Uradni list RS, št. 32/2006 – 36. člen)	17
3.1.3	Zahteve v zvezi z odvodnjavanjem izcedne vode (Uradni list RS, št. 32/2006 – 37. člen)	17

3.1.4	Prekrivanje odlagališč (Uradni list RS, št. 32/2006 – 38. člen)	18
3.1.5	Izjeme (Uradni list RS, št. 32/2006 – 39. člen)	18
3.2	Nemška zakonodaja (Abfallgesetz AbfG, BGB1 z dne 27.4.2009)	19
3.2.1	Splošno	19
3.2.2	Kategorije odlagališč DK (Deponieklassen)	19
3.2.2.1	Odlagališče kategorije 0 (DK 0)	19
3.2.2.2	Odlagališče kategorije I (DK I)	20
3.2.2.3	Odlagališče kategorije II (DK II)	20
3.2.2.4	Odlagališče kategorije III (DK III)	21
3.2.2.5	Odlagališče kategorije IV (DK IV)	22
3.2.3	Gradnja tesnilnih ustrojov	22
3.2.3.1	Zahteve za geološko pregrado in osnovni tesnilni sistem	22
3.2.3.2	Zahteve za pokrove	23
4	OSNOVNI PRINCIPI GRADNJE POKROVOV	25
4.1	Površinska plast	25
4.2	Zaščitna plast	26
4.3	Drenažna plast	26
4.4	Tesnilna plast	28
4.5	Plast za odvajanje plinov	29
4.6	Temeljna plast	29
5	PROBLEMATIKA PREKRIVANJA KOMUNALNEGA ODLAGALIŠČA	30
5.1	Splošno	30
5.1.1	Posedanje in/ali pogrezanje	30
5.1.2	Nestabilnost brežin	30
5.1.3	Neustrezno dreniranje infiltrirane vode	31
5.1.4	Neprimerno odvajanje plinov	31
5.1.5	Dolgotrajna erozija	31
5.1.6	Neprimerna končna raba in izgled	31

5.2	Napake pri izvedbi	31
6	ODLAGALIŠČE LESKOVEC – ANALIZA OBNAŠANJA POKROVA	35
6.1	Splošno	35
6.2	Račun stabilnosti pokrova z mineralnim tesnilnim slojem	35
6.3	Račun stabilnosti pokrova z uporabo tesnilnega geosintetika po EBGeo	36
6.3.1	Splošno o EBGeo	36
6.3.2	Račun stabilnosti pokrova po EBGeo:	36
6.3.2.1	Račun stabilnosti brežine pokrova in potrebne nosilnosti armaturnega geosintetika	36
6.3.2.1.1	Določitev potrebnega armaturega geosintetika	38
6.3.2.2	Račun potrebnih dimenzij sidrnega jarka:	39
6.3.2.3	Račun varnosti proti poružitvi krone brežine	41
6.4	Izračun pokrova odlagališča CEROD Leskovec	42
6.4.1	Stabilnost brežin različnih naklonov iz naravnih materialov	45
6.4.2	Stabilnost brežin z uporabo GCL tesnilnega geosintetika	47
6.5	Analiza rezultatov	49
7	ZAKLJUČEK	51
VIRI		54

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 3.1: Zahteve za prekrivanje odlagališč (Uradni list RS, št. 32/2006 – priloga 6)	18
Preglednica 3.2: Zahteve za geološko pregrado in osnovni tesnilni sistem	23
Preglednica 3.3: Zahteve za pokrovne tesnilne sisteme	24
Preglednica 6.1: Geotehnični parametri za posamezne sloje	42
Preglednica 6.2: Delni faktorji za material in vplive, redukcijski faktorji za armaturni geosintetik in varnostni faktor na računski pristop.	43
Preglednica 6.3: Materialni podatki geosintetika.	43
Preglednica 6.4: Dimenzije pokrova in geometrija sidrnega jarka.	44
Preglednica 6.5: Varnostni faktorji za različne naklone brežine	45
Preglednica 6.6: Računske dimenzije sidrnega jarka in krone brežine	49

KAZALO SLIK

Slika 1.1: Zgradba odlagališča odpadkov	2
Slika 2.1: Lokacija in območje delovanja odlagališča Leskovec	4
Slika 2.2: Obseg del projekta CeROD	5
Slika 2.3: Odlagališče odpadkov Leskovec 1987	6
Slika 2.4: Odlagališče odpadkov Leskovec 1994	6
Slika 2.5: Pronicanje in preboji izcedne vode na vzhodnem boku deponije	7
Slika 2.6: Bazeni za zbiranje zajete izcedne vode	8
Slika 2.7: Zaključno prekrivanje	9
Slika 2.8: Prekrivanje severne brežine starega odlagališča na stiku z novim	10
Slika 2.9: Pogled na lokacijo, na sliki zgoraj staro odlagališče, spodaj gradnja deponijske sklede za novi del	11
Slika 2.10: Karakteristični prerez brežine na novem delu odlagališča	12
Slika 2.11: Gradnja mineralnega tesnilnega sloja v dnu novega dela odlagališča	13
Slika 2.12: Tesnjenje brežin novega odlagališča	14
Slika 2.13: Bazen za izcedno in meteorno vodo	15
Slika 2.14: Plato za objekt MBO (mehansko-biološka obdelava odpadkov)	16
Slika 2.15: Plato za objekt MBO (pogled na novi in stari del odlagališča)	16
Slika 5.1: Tipičen primer nepravilne gradnje pokrova	33
Slika 5.2: Popolnoma nepravilno polaganje geosintetikov	33
Slika 5.3: Odlagališče Leskovec. Sanacija berme zaradi nabiranja izcedne vode na bermi	34
Slika 5.4: Zamenjava neprimerne materiala	34
Slika 6.1: Karakteristični računski prerez	37
Slika 6.2: Detajl sidrnega jarka	39
Slika 6.3: Detajl krone brežine	41
Slika 6.4: Primer izračuna stabilnosti brežine naklona 1:2 (krožna drsina)	46
Slika 6.5: Primer izračuna stabilnosti brežine naklona 1:2 (poligonalna drsina)	47
Slika 6.6: Detajl sidrnega jarka. Prikazana sta oba tipa porušitev	48
Slika 7.1: Pokrov na odlagališču Leskovec	52
Slika 7.2: Posledica zdrsa površinske plasti	52

1 UVOD

Odlagališče odpadkov je objekt ali več objektov, namenjenih odlaganju odpadkov v zemljo, nad zemljo ali pod njo. Odlagališča se razlikujejo glede na vrsto in lastnosti odpadkov. Pravilnik o odlaganju odpadkov na odlagališčih (2006), ki velja v Sloveniji, razvršča odlagališča v tri razrede:

- odlagališča za nevarne odpadke
- odlagališča za nenevarne odpadke
- odlagališča za inertne odpadke

Glavni konstrukcijski elementi nadzemnega odlagališča odpadkov so (slika 1.1):

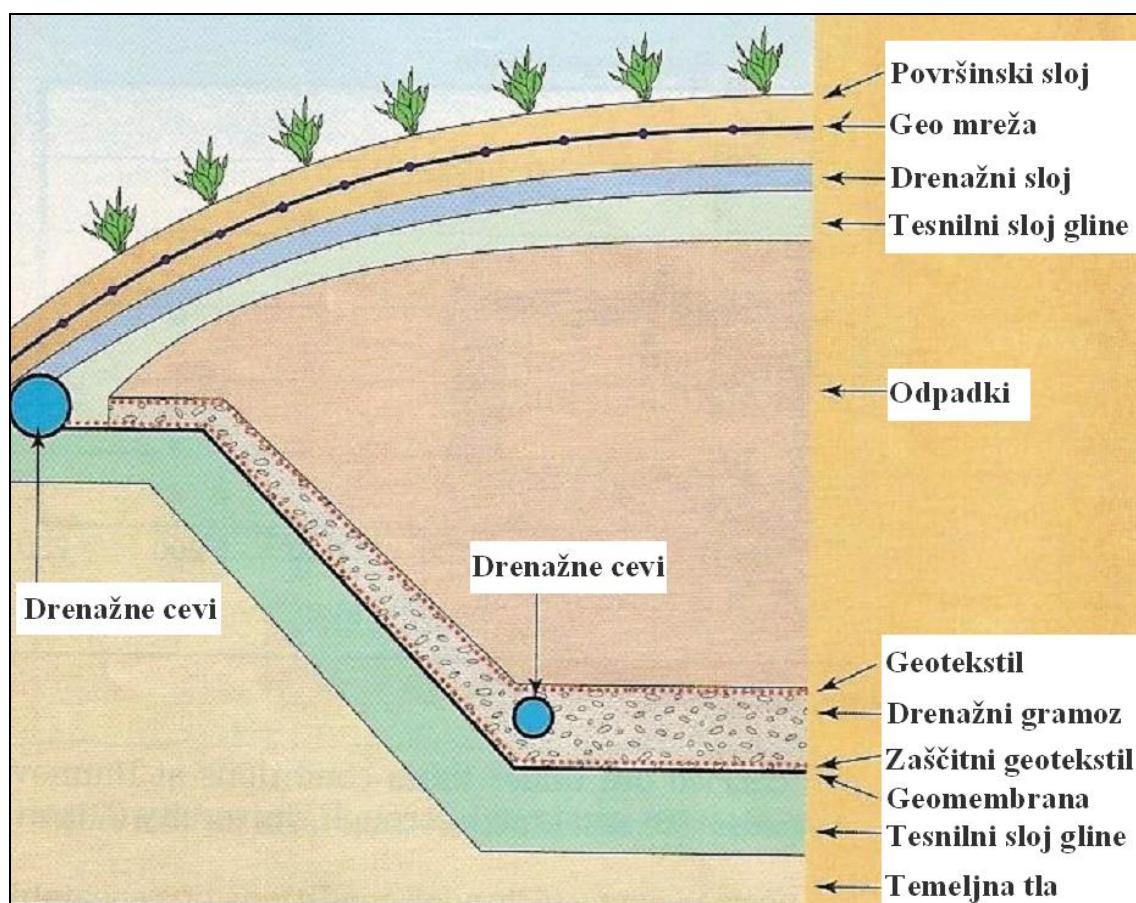
- sistem za tesnjenje dna
- sistem za odvajanje izcednih voda
- odpadki
- sistem za odvajanje plinov
- sistem za odvajanje površinskih voda
- pokrovni sistem
- objekti za opazovanje vplivov odlagališča na okolje

Za preprečevanje negativnih vplivov odlagališča na okolje sta pomembna talni in pokrovni ustroj odlagališča. Zgradba talnega in pokrovnega ustroja je odvisna od vrste odlagališča in geoloških značilnosti in ranljivosti podlage. Najstrožje so zahteve na odlagališčih za nevarne odpadke.

Na odlagališčih za nenevarne odpadke sta v talnem tesnilnem sistemu običajno dve tesnilni plasti, zgrajeni iz mineralnega in sintetičnega tesnilnega materiala, ki preprečujeta širjenje onesnaževal v tla in podzemno vodo. Talni drenažni sistem, vgrajen med odpadki in talnimi tesnilnimi plastmi prestreza onesnažene izcedne vode in jih preko cevnega sistema za izcedno vodo kontrolirano odvaja v zbirni bazen izcednih voda in od tam na čistilno napravo ali v kakšen drug postopek obdelave.

Za delovanje talnega tesnilnega sistema je pomembno, da so temeljna tla dobro in homogeno utrjena, primerno nosilna, stabilna in malo deformabilna. Na nehomogenih temeljnih tleh ali

na zelo deformabilnih temeljnih tleh lahko pride do neenakomernih posedkov, ki vplivajo na delovanje tesnilnih in drenažnih plasti. Če pride do zaostajanja in dvigovanja izcedne vode v telesu odlagališča, lahko pride do porušitve brežin odlagališča.



Slika 1.1: Zgradba odlagališča odpadkov

Pokrovni sistemi se razlikujejo glede na vrsto odpadkov in glede na klimatske pogoje v okolju. Podobno kot talni tesnilni sistem je tudi pokrovni sistem sestavljen iz več plasti, zgrajenih iz različnih materialov. To so:

- rekultivacijska plast
- drenažna plast
- tesnilna plast
- plast za odvajanje plinov
- temeljna plast

Temeljna plast v pokrovu so odpadki, ki so predhodno ustrezno utrjeni in izravnani. Na komunalnih odlagališčih, kjer potekajo biokemične reakcije, ob katerih se sprošča deponijski plin in prihaja do razkroja organskih delcev, se odpadki posedajo. Ti posedki so pri 20 m visoki deponiji lahko večji od 2 m in trajajo še več let potem, ko se je prenehalo z odlaganjem odpadkov. Zato je pomembno, da se pred pričetkom gradnje pokrova z meritvami dokaže, da se je glavnina posedkov že izvršila.

Tesnilna plast v pokrovu preprečuje, da bi površinske vode vstopale v odlagališče in prispevale k dodatnim količinam izcedne vode. Zato so zahteve za tesnilno plast v pokrovu manj stroge kot tiste, ki veljajo v talnem ustroju. Drenažna plast v pokrovu prestreza padavinske vode in jih odvaja iz območja pokrova. V primeru, če bi drenažna plast v pokrovu odpovedala, bi se tesnilna plast zasitila z vodo, padavinske vode pa bi pričele pronicati v odlagališče. V primeru dvigovanja podzemne vode nad tesnilno plast pa bi na brežinah prišlo do zdrsa drenažnega in rekultivacijskega sloja.

Rekultivacijska plast omogoča ozelenitev površin in ponovno vključitev degradiranih površin v okolje. Pomembna je za evapotranspiracijo in zagotavljanje načrtovane vodne bilance, koreninski sistem pa varuje brežine pred erozijo.

Za samo izgradnjo pokrova so nadvse pomembni nagibi brežin. Na strmih brežinah so dela s klasičnimi gradivi (glinami, drenažnimi prodcji) zelo otežena ali celo nemogoča, problematično pa je tudi zagotavljanje stabilnosti.

V svoji diplomski nalogi sem obravnaval stabilnostni vidik izgradnje pokrova na odlagališču nenevarnih odpadkov Leskovec v Novem mestu. V izračunih sem preverjal vplive različnih nagibov brežin, kot so prisotne na odlagališču in vplive različnih uporabljenih tesnilnih materialov: kompaktirane gline in bentonitnega GCL traku. Pri variantah pokrova z uporabo trakov sem izvedel dimenzioniranje jarkov skladno z EBGEO smernicami.

2 KRATKA PREDSTAVITEV PROJEKTA CEROD (CENTER ZA RAVNANJE Z ODPADKI DOLENJSKE)

Projekt CeROD je pričel nastajati konec devetdesetih let prejšnjega stoletja kot posledica pomanjkanja prostora za odlaganje odpadkov na obstoječem odlagališču nenevarnih odpadkov Leskovec. CEROD je eden od 15 regijskih centrov za ravnanje z odpadki, ki jih bo imela Slovenija v prihodnje. Trenutno sta v gradnji Koroški center na lokacijah Zmes in Mislinjska dobrava in CERO Puconci.

Območje CeROD vključuje 15 občin iz področja Bele krajine, Dolenjske in Posavja s skupno površino 2.258 m² in cca. 160.000 prebivalci. Ugotovljeno je bilo, da v regijah Dolenjska, Posavje in Bela krajina nastane skupaj 60.000 ton komunalnih in komunalnim podobnih odpadkov na leto (slika 2.1).



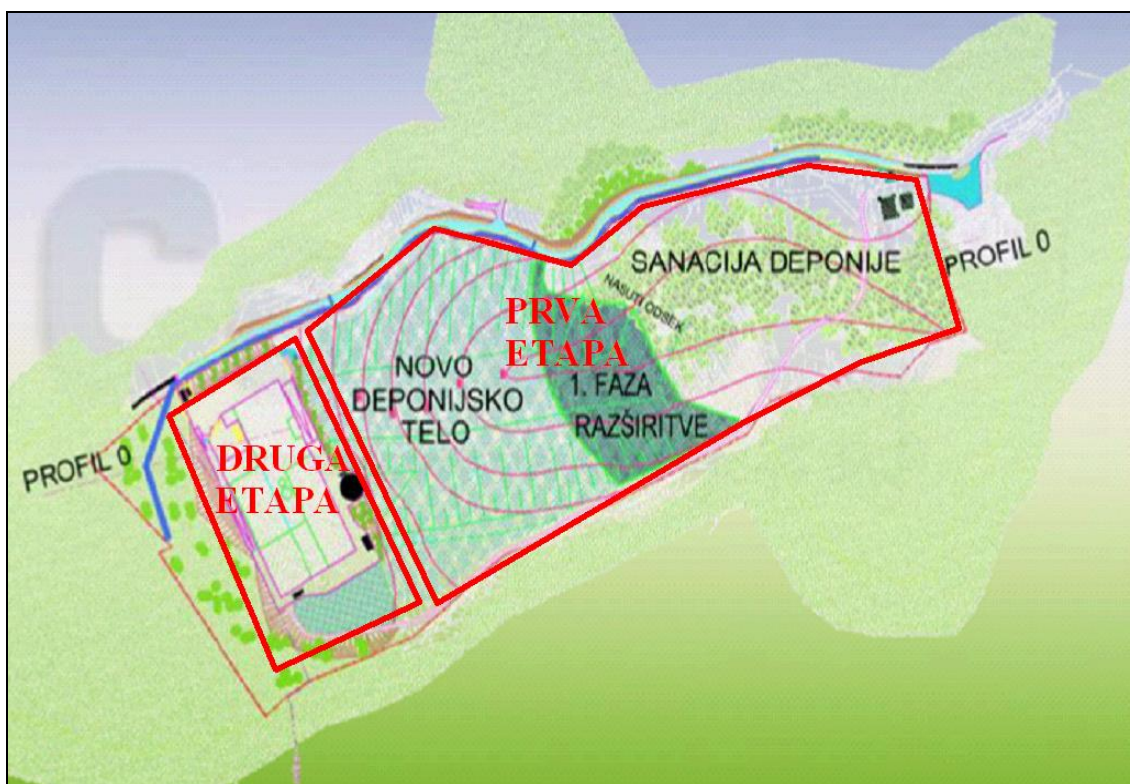
Slika 2.1: Lokacija in območje delovanja odlagališča Leskovec

CEROD se gradi ob starem odlagališču nenevarnih odpadkov Leskovec, ki se nahaja pri Velikih Brusnicah in je od Novega mesta oddaljen 12 km. Razširitev deponije ter sanacija in

zapiranje starega dela deponije je bila potrebna zaradi izkoriščenosti obstoječega deponijskega prostora. Najprej je bilo potrebno pripraviti novo odlagalno »polje«, nato pa sanirati in zapreti stari del odlagališča. Pri starem delu je bilo potrebno izvesti gradbeno ureditev, izdelati zaključno tesnjenje in urediti odvajanje plinov. Skupna površina po razširitvi znaša cca. 7,5 ha.

Projekt CeROD je bil razdeljen na dve etapi:

- prva etapa (CeROD I)
- druga etapa (CeROD II)



Slika 2.2: Obseg del projekta CeROD

2.1 Prva etapa (CeROD I)

Prva etapa (CeROD I) je obsegala sanacijo in zapiranje starega odlagališča ter izgradnjo novega, izgradnjo komunalne infrastrukture za potrebe obratovanja CeROD in vso potrebno tehnično pomoč za nadaljnjo projektno obdelavo tehnologije obdelave odpadkov.

2.1.1 Staro odlagališče

Staro odlagališče je začelo delovati leta 1982 za potrebe takratne občine Novo mesto v opuščnem rudniku kremenčevega peska. Površina starega dela odlagališča je bila 3,5 ha, z volumnom 470.000 m³, ki je bil med izgradnjo novega odlagališča povečan še za 55.000 m³. Dodatni volumen je zadostoval za eno leto odlaganja odpadkov, v tem času pa se je izvedla gradbena ureditev in tesnjenje novega dela deponije.



Slika 2.3: Odlagališče odpadkov Leskovec 1987



Slika 2.4: Odlagališče odpadkov Leskovec 1994

2.1.1.1 Stanje starega odlagališča pred sanacijo

Staro odlagališče je bilo tako, kot večina starih odlagališč, obravnavano kot smetišče in ne ustreza merilom, ki veljajo danes. Pred sanacijo starega odlagališča je bilo ugotovljeno, da je tesnjenje in dreniranje dna neustrezno. Zajem izcednih voda je bil izveden z betonsko cevjo, za katero so predvidevali da je zdrobljena. Izcedna voda je vidno iztekala na severnem čelu deponije (slika 2.5).

V območju starega odlagališča so se nahajali štirje bazeni za izcedne vode, ki so bili kasneje ukinjeni (slika 2.6).

V deponijskem telesu so bili za potrebe odvajanja plinov vgrajeni betonski plinski vodnjaki premera 100 cm. V funkciji so bili le štirje vodnjaki, kar pa je v skladu s pravili premalo. Zato je bilo potrebno pri sanaciji urediti učinkovit sistem tesnjenja, zajemanja in odvoda plinov.



Slika 2.5: Pronicanje in preboji izcedne vode na vzhodnem boku deponije



Slika 2.6: Bazen za zbiranje zajete izcedne vode

2.1.1.2 Sanacija starega dela odlagališča

Glavni sklopi sanacije starega dela odlagališča so bili:

- gradbena ureditev starega dela, pri kateri je bilo najprej potrebno urediti prestrme brežine
- ureditev odvoda plinov z izvedbo horizontalnih in vertikalnih plinskih drenaž
- izgradnja pokrova, to je izvedba izravnave starih odpadkov s plinodrenažnim slojem, na katerega se je vgradilo tesnilne sloje in se ga prekrilo z rekultivacijsko plastjo.

Prekrivanje starega odlagališča je bilo razdeljeno na dva dela:

- končno prekrivanje krone in brežin
- delno prekrivanje stare brežine na stiku z novim odlagališčem

2.1.1.2.1 Zaključno prekrivanje brez nadaljevanja odlaganja odpadkov

Končno prekrivanje je bilo izvedeno na delu starega odlagališča, kjer je bilo potrebno odpadke dokončno prekriti. Na izravnalno plast nad odpadki je bil vgrajen tesnilni sloj iz naravnih in geosintetičnih materialov.

Tesnilni sloj sestavljajo naslednje plasti:

- rekultivacijski sloj v debelini 100 cm
- drenažni geosintetik s prepustnostjo 10^{-2} m/s
- geosintetični bentonitni trak – GCL (geosynthetic clay liner) s specifično gostoto 5 kg/m^2
- drenažni geosintetik s prepustnostjo 10^{-2} m/s
- izravnalni ali plinodrenažni sloj v debelini 30 cm



Slika 2.7: Zaključno prekrivanje

2.1.1.2.2 Delno prekrivanje brežine na stiku z novim odlagališčem

To prekrivanje je obsegalo izvedbo tesnjenja in dreniranja visoke severne brežine starega odlagališča, ob katerega se prislanja novi del. Tesnilni sloj ima v tem primeru dvojno funkcijo:

- prekriva staro odlagališče (preprečuje izhajanje plina, vtekanje meteornih voda in vtekanje izcednih voda iz novega v staro odlagališče)
- deluje kot tesnilna plast nove deponije, kamor se odlagajo novi odpadki

Tesnilni sloj sestavljajo naslednje plasti:

- drenažni geosintetik s prepustnostjo 10^{-2} m/s, UV odporen
- zaščitna geotekstilja površinske mase 1200 g/m^2 (zaščita tesnilne plasti – geomembrane)
- hrapava HDPE (polietilen visoke gostote) geomembrana debeline 2,5 mm
- drenažni geosintetik s prepustnostjo 10^{-2} m/s (odvajanje izcednih vod)
- izravnalni ali plinodrenažni sloj v debelini 30 cm



Slika 2.8: Prekrivanje severne brežine starega odlagališča na stiku z novim

Prekrivna površina vrhnjega dela je obsegala cca. 1,60 ha, prekrivna površina brežin pa cca 0,70 ha (izdelava tesnjenja na severni brežini starega odlagališča – vmesno tesnjenje). Za prekrivne površine so uporabili prek 30.000 m³ materiala.

2.1.2 Novi del

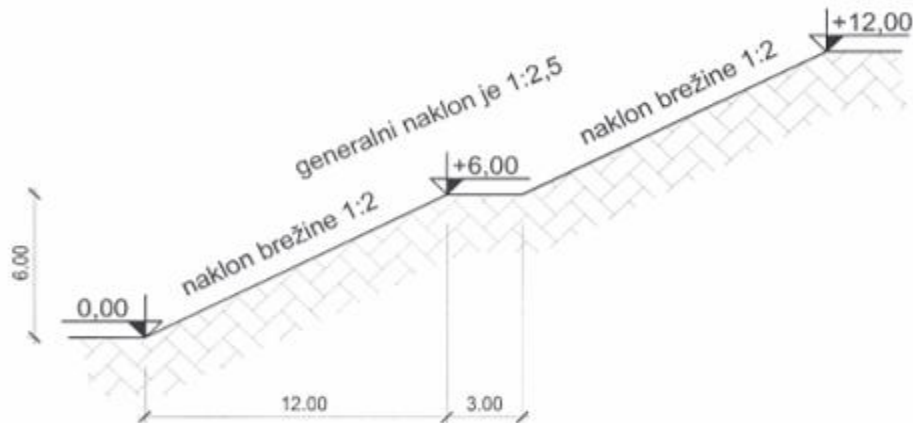
Površina nove deponije je cca. 4 ha, tako da je skupna površina deponije cca. 7,5 ha. Z izgradnjo novega odlagališča se je povečal volumen za 1.200.000 m³, kar zadošča za odlaganja odpadkov za 25 do 30 let.

Kot je vidno iz slike 2.9, se nova deponija širi proti severu, po ozki dolini, ki omogoča izvedbo dokaj ugodne oblike deponijske skleda. Deponijska skleda se na severu zaključi ob visokem čelnem nasipu, s katerim je pregrajena dolina. Novi del deponije se na južnem robu naslanja na staro deponijo preko vmesnega tesnjenja (slika 2.8).



Slika 2.9: Pogled na lokacijo, na sliki zgoraj staro odlagališče, spodaj gradnja deponijske skleda za novi del

Krona odlagališča je na koti 290 m.n.m, dno je na koti 221 m.n.m. in je cca. 3 m nad gladino podzemne vode. Brežine novega dela in brežine, ki so se sanirale na stiku starega in novega dela odlagališča so izvedene v naklonu 1:2,5. Zaradi velike višine deponije, skoraj 70 m, je na spodnjem delu zaključek izdelan v naklonu 1:3.



Slika 2.10: Karakteristični prezek brežine na novem delu odlagališča

2.1.2.1 Geološke in geotehnične razmere na območju širitve

Novi del odlagališča se nahaja na območju naravne doline. Dno doline je zgrajeno iz triadnega dolomita (T), na obeh brežinah pa je dolomitna skala prekrita z do 25 m debelim slojem rdeče, pliocenske in kvartarne gline (Pl/Q).

Skalna podlaga je trdna, malo zakrasela in ni deformabilna, kar je ugodno za gradnjo. Za zagotovitev tesnjenja dna pa je bila uporabljena glina, izkopana na brežinah.

2.1.2.2 Glavni elementi razširitve deponije

Pri urejanju novega dela odlagališča sta bila najprej izvedena izkop in ustrezna gradbena ureditev planuma brežin in platoja (MBO). Nato je bilo potrebno izdelati osnovno tesnjenje, tesnjenje brežin, sistem za dreniranje in odvajanje izcedne vode, odvodnjavanje površinskih vod in izdelati začasno odvajanje plinov odprtega odlagalnega polja.

Glavni sklopi ureditve novega dela:

- zemeljski izkop in priprava deponijske sklede (naklon brežin 1:2,5)
- gradbena ureditev novega dela
- osnovno tesnjenje dna (cca. 3.000,00 m² dna nove deponijske sklede)
- tesnjenje brežin (podobno kot tesnjenje dna)
- vmesno tesnjenje (stik med starim in novim odlagališčem)
- odvodnjavanje meteornih vod

- zajem in odvod izcednih voda (drenažni sistem)
- dva bazena za izcedno in meteorno vodo (kapaciteta cca. 300,00 m³)

Med pomembna dela spada izgradnja preko 20 m visokega čelnega nasipa na severnem robu deponijske sklede, ureditev novega dostopa na odlagališče in vzpostavitev geotehničnega in ekološkega monitoringa.

2.1.2.3 Tesnjenje dna novega dela odlagališča

Dno novega dela deponije je tesnjeno v kombinaciji materialov in HD-PE (high density polietilen) geomembrano.

Karakteristični prerez talnega tesnilnega ustroja je naslednji:

- temeljna tla (triadni dolomit)
- mineralna tesnilna plast v debelini 25 cm kot zaščita in gladka podlaga za polaganje GCL bentonitnega traku.
- GCL bentonitni trak specifične gostote 5 kg/m², ki zagotavlja neprepustnost oziroma majhno prepustnost plasti pod geomembrano ($1 \cdot 10^{-11}$ m/s).
- HD-PE membrana debeline 2,5 mm – obojestransko gladka – kot tesnilna plast.
- zaščitna geotekstilija specifične gostote 1200 g/ m² za zaščito geomembrane



Slika 2.11: Gradnja mineralnega tesnilnega sloja v dnu novega dela odlagališča

2.1.2.4 Tesnjenje brežin novega odlagališča

Pri tesnjenju brežin se je prav tako uporabila HD-PE membrana, bentonitni GCL trak in drenažni geosintetik. Pred izdelavo talne tesnitve se je gradbeno uredilo brežine (naklon, širina berm).

Karakteristični prerez talnega tesnilnega ustroja na brežinah je naslednji:

- temeljna tla
- bentonitni GCL trak specifične gostote 5 kg/m^2 , ki ima prepustnost $1 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$. Pri pritrjevanju posameznih slojev so bila uporabljena jeklena sidra zabita v predhodno pripravljeno podlago.
- HD-PE membrana debeline 2,5 mm – obojestransko hrapava, da prepreči zdrs posameznih slojev
- zaščitna geotekstilija specifične gostote 1200 g/m^2 kot zaščita geomembrane
- drenažni geosintetik, ki omogoča po celotni površini odcejanje vode v dno deponijske sklede – med gradnjo se je izcedna voda iz stare deponije zbirala in preko drenaž odvajala v začasno laguno za izcedne vode



Slika 2.12: Tesnjenje brežin novega odlagališča

2.1.2.5 Bazen za izcedno in meteorno vodo

Bazena za izcedno in meteorno vodo sta betonska in sta postavljena eden zraven drugega. Dimenzije so 8x10x4 m, s kapaciteto 300 m³.



Slika 2.13: Bazen za izcedno in meteorno vodo

2.2 Druga etapa (CeROD II)

V drugi etapi (CeROD II) bodo zgrajeni objekti za mehansko-biološko obdelavo ter sortiranje odpadkov (MBO). Trenutno je že pripravljen plato za objekte MBO, gradnja le teh pa se še ni pričela. Predviden rok za poskusno delovanje je v letu 2011, rok za pridobitev uporabnega dovoljenja pa v letu 2012.



Slika 2.14: Plato za objekt MBO (mehansko-biološka obdelava odpadkov)



Slika 2.15: Plato za objekt MBO (pogled na novi in stari del odlagališča)

3 PREGLED RELEVANTNE ZAKONODAJE ZA GRADNJO ODLAGALIŠČ

3.1 Slovenska zakonodaja (Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih – Uradni list RS, št. 32/2006)

3.1.1 Splošno

Prvi pravilnik, ki je v Sloveniji določal načine gradnje deponij je bil Pravilnik o odlaganju odpadkov (Ur.list št.5/2000). Izdan je bil več kot 15 let za izdajo prvega sorodnega nemškega pravilnika. Kasneje je bil Pravilnik iz leta 2000 večkrat dopolnjen in korigiran, nazadnje leta 2009 z Uredbo o spremembah in dopolnitvah Uredbe o odlaganju odpadkov.

3.1.2 Zahteve za tesnjenje odlagališčnega dna (Uradni list RS, št. 32/2006 – 36. člen)

Na temeljnih tleh odlagališča za nenevarne in nevarne odpadke ter na nagnjenih stranskih površinah temeljnih tal je treba zagotoviti tesnjenje, ki skupaj s sistemom odvajanja izcedne vode, preprečuje pronicanje izcedne vode v podtalje. Zaradi teh zahtev je treba na temeljna tla odlagališča položiti tesnilno folijo in na njo drenažni sloj debeline več kot pol metra.

Za tesnjenje odlagališčnega dna se lahko uporabljajo tudi druge metode in tehnike, če z njimi dosežemo enakovredno tesnjenje, kot je opisano zgoraj.

Načrtovanje drenažnega sloja, drenažnih cevi in jaškov mora biti izvedeno na osnovi izračuna vodne bilance in tako, da je možno delovanje sistema za dreniranje izcedne vode nadzorovati in ga vzdrževati.

3.1.3 Zahteve v zvezi z odvodnjavanjem izcedne vode (Uradni list RS, št. 32/2006 – 37. člen)

Na odlagališču za nenevarne in nevarne odpadke je treba zaradi neprekinjenega zbiranja in odvajanja izcedne vode urediti sistem odvajanja izcedne vode, ki je sestavljen iz drenažnega sloja in v njem položenih zbirnih cevi za odvajanje izcedne vode. Z vgradnjo zaščitnega sloja nad drenažnim slojem ter z razpršenim vnašanjem odpadkov v telo odlagališča se mora preprečevati vdiranje odpadkov v drenažni sloj. Za vzdrževanje in nadzor zbirnih cevi za

odvajanje izcedne vode je treba zgraditi zadostno število jaškov in rovov, ki morajo biti stabilni in na stabilnem podtalju. Začasno zadrževanje izcedne vode, ki se odvaja iz telesa odlagališča, je treba v območju odlagališča zunaj območja odlaganja odpadkov postaviti primerno velik zbiralnik izcedne vode. Zbiralnik mora biti odporen na kemične vplive izcedne vode ter varen pred eksplozijo, v primeru izcednih voda z močnim vonjem pa tudi zaprt.

3.1.4 Prekrivanje odlagališč (Uradni list RS, št. 32/2006 – 38. člen)

Površine zapoljenih delov telesa odlagališča za nenevarne in nevarne odpadke je treba prekrivati in zagotoviti potrebno površinsko tesnjenje z vgrajenim sistemom površinskega odvajanja padavinske vode in odvajanja plinov. Priporočena struktura posameznih plasti za prekrivanje površin zapoljenih delov telesa odlagališča je razvidna iz razpredelnice 3.1.

Preglednica 3.1: Zahteve za prekrivanje odlagališč (Uradni list RS, št. 32/2006 – priloga 6: Struktura posameznih plasti za prekrivanje površin zapoljenih delov telesa odlagališča)

VRSTA ODLAGALIŠČA	ODLAGALIŠČA ZA NENEVARNE ODPADKE	ODLAGALIŠČA ZA NEVARNE ODPADKE
Plast za odvajanje plinov	Zahtevana	Ni zahtevana
Tesnilna folija	Ni zahtevana	Zahtevana
Mineralna tesnilna plast	Zahtevana	Zahtevana
Drenažni sloj > 0,5 m	Zahtevana	Zahtevana
Rekultivacijska plast	Zahtevana	Zahtevana

Za površinsko tesnjenje pri prekrivanju telesa odlagališča se lahko uporabijo tudi druge metode in tehnike, če z njimi dosežemo enakovredno tesnjenje, kot je opisano zgoraj.

3.1.5 Izjeme (Uradni list RS, št. 32/2006 – 39. člen)

Ne glede na zahteve za tesnjenje odlagališčnega dna, zahteve v zvezi z odvajanjem izcedne vode in na zahteve glede prekrivanja, lahko ministrstvo dovoli, da odlagališče za nenevarne in nevarne odpadke obratuje brez tesnjenja tal, odvajanja izcednih vod oziroma površinskega

tesnjenja pri prekrivanju telesa, če na podlagi rezultatov analize vodne bilance telesa odlagališča, priložene k vlogi za okoljevarstveno dovoljenje za obratovanje odlagališča, ugotovi, da opustitev teh ukrepov ne bo povzročila škodljivih učinkov na podzemno in površinsko vodo.

3.2 Nemška zakonodaja (Abfallgesetz AbfG, BGB1 z dne 27.4.2009)

3.2.1 Splošno

Nemški predpisi za tesnjenje na odlagališčih, vključno s predpisi o zapiranju in ravnanjih z objektom po zaprtju, spadajo pod zakon o odpadkih (Abfallgesetz AbfG). Zakon o odpadkih deli odlagališča na pet kategorij, to so DK 0, DK I, DK II, DK III in DK IV.

3.2.2 Kategorije odlagališč DK (Deponieklassen)

3.2.2.1 Odlagališče kategorije 0 (DK 0)

Sem spadajo odlagališča za inertne odpadke. Med inertne odpadke sodijo mineralni odpadki z nizko vsebnostjo nevarnih snovi. Izluženje škodljivih snovi odpadkov in eko-toksičnost izcedne vode skupaj mora biti majhno. Prav tako odpadki ne smejo ogrozati površinske vode in podtalnice. DK 0 je vrsta deponije, za katero ni predpisanih zahtev za tehnično-varnostne sisteme. Z odkopom ne obremenjujemo okolja.



Slika: Odlagališče kategorije 0 (vir: <https://portal.hassen.de>)

3.2.2.2 Odlagališče kategorije I (DK I)

To so deponije za odpadne gradbene materiale in mineralne odpadke iz gospodarstva, ki so za okolje obremenjujoči. Pri izgradnji je potreben talni in krovni tesnilni sistem ter urejeno odvodnjavanje (zajemanje in odvajanje izcedne ter površinske vode).



Slika: Odlagališče kategorije I (vir: <https://portal.hassen.de>)

3.2.2.3 Odlagališče kategorije II (DK II)

Sem spadajo deponije za okolje obremenjujoče vendar nenevarne odpadke, ki so predhodno obdelani. To so mineralni odpadki iz gospodarstva in odpadki iz gospodinjstva. Pri izgradnji je potreben talni in pokrovni tesnilni sistem ter urejeno odvodnjavanje (zajemanje in odvajanje izcedne ter površinske vode). Pri izgradnji tesnilnega sistema mora biti poleg mineralne plasti dodana še tesnilna plast iz umetne mase. Pri odlagališčih vrste DK II je pogosto potreba po zajemanju deponijskega plina.



Slika: Odlagališče kategorije II (vir: <https://portal.hassen.de>)

3.2.2.4 Odlagališče kategorije III (DK III)

To so deponije za nevarne snovi. Pri tej kategoriji je potrebna posebna izvedba talnega in pokrovnega tesnilnega sistema ter urejeno odvodnjavanje (zajemanje in odvajanje izcedne ter površinske vode). Pri DK III je zahtevana poleg mineralne tesnilne plasti tudi uporaba tesnilne plasti iz umetnih mas. Prav tako je zahtevano zajemanje deponijskega plina.



Slika: Odlagališče kategorije III (vir: <https://portal.hassen.de>)

3.2.2.5 Odlagališče kategorije IV (DK IV)

Sem spadajo deponije v opuščenih rudnikih ali kavernah za posebej nevarne odpadke. Pri tem veljajo posebni predpisi, ki preprečujejo vplive na biosfero.

Odlaganje nevarnih snovi je včasih možno tudi na odlagališčih kategorije I in II, če so ti odpadki stabilizirani in nereaktivni. Njihovi izlužki morajo biti v skladu s pravili, ki veljajo za ti dve kategoriji deponij. Praviloma pa mora biti to tudi uradno dovoljeno.

3.2.3 Gradnja tesnilnih ustrojev

Za gradnjo se lahko uporabljajo:

- geosintetični materiali (tesnilni trakovi, zaščitne plasti, drenažni elementi, armaturna mreža...), polimeri in serijsko proizvedeni kontrolno tesnilni sistemi, ki so odobreni s strani zvezne ustanove za raziskavo in preizkušanje materialov
- drugi gradbeni materiali, tesnilne komponente in tesnilni sistemi, ki ustrezajo uradnim standardom kvalitete

3.2.3.1 Zahteve za geološko pregrado in osnovni tesnilni sistem

Dolgotrajno zaščito tal in podzemne vode je treba zagotoviti s kombinacijo geološke pregrade in osnovnega tesnilnega sistema v območju odlaganja. Pri zahtevi po dveh tesnilnih komponentah naj bi bile le-te iz geosintetičnih tesnilnih trakov, položene na mineralni sloj.

Preglednica 3.2: Zahteve za geološko pregrado in osnovni tesnilni sistem

	DK0	DKI	DKII	DKIII
Temeljna plast ($i=30$)	$k \leq 1 \cdot 10^{-7}$ m/s $d \geq 1$ m	$k \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s $d \geq 1$ m	$k \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s $d \geq 1$ m	$k \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s $d \geq 5$ m
1. tesnilna komponenta (*)	Ni potrebno	Je potrebno	Je potrebno	Je potrebno
2. tesnilna komponenta (*)	Ni potrebno	Ni potrebno	Je potrebno	Je potrebno
Mineralna plast za odvodnjavanje (granulacija ustrežna standardu DIN 19667) (**)	$d \geq 0,30$ m	$d \geq 0,50$ m	$d \geq 0,50$ m	$d \geq 0,50$ m

(*) Če so tesnilne komponente iz mineralnih materialov, je potrebno upoštevati najmanjšo debelino 0,5 m in koeficient vodoprepustnosti $k \leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s, pri hidravličnem gradientu $i=30$. Če so kot tesnilne komponente uporabljeni geosintetični tesnilni trakovi, njihova debelina ne sme presežati 2,5 mm.

(**) Če je dokazano, da ne bo prihajalo do zadrževanja vode v telesu deponije je plast za odvodnjavanje lahko proizvedena z majhno trdnostjo plasti ali drugačno granulacijo, če to odobri pristojni urad na odlagališčih I,II in III.

3.2.3.2 Zahteve za pokrove

Z gradnjo pokrovov se praviloma pričinja z določenim časovnim zamikom, potem ko so odpadki že dosegli koto krone, njihovo sesedanje pa se je do določene mere že ustavilo. Pri anorganskih odpadkih je sesedanje posledica konsolidacije in preoblikovanja strukture, pri komunalnih odpadkih pa predvsem posledica biokemičnega razkroja.

Zahtevani sloji pokrovnega sistema odlagališča so prikazani v preglednici 3.3.

Preglednica 3.3: Zahteve za pokrovne tesnilne sisteme

	DK0	DKI	DKII	DKIII
Izravnalni sloj	Ni potrebno	Potrebno	Potrebno	Potrebno
Sloj za odvajanje plinov	Ni potrebno	Ni potrebno	Potrebno	Potrebno
1. tesnilna komponenta	Ni potrebno	Potrebno	Potrebno	Potrebno
2. tesnilna komponenta	Ni potrebno	Ni potrebno	Potrebno	Potrebno
Kontrolna tesnilnega sloja	Ni potrebno	Ni potrebno	Ni potrebno	Potrebno
Sloj za odvodnjavanje $d \geq 0,30$ m, $k \geq 1 \cdot 10^{-3}$ m/s, naklon > 5%	Ni potrebno	Potrebno	Potrebno	Potrebno
Rekultivacijski sloj	Potrebno	Potrebno	Potrebno	Potrebno

4 OSNOVNI PRINCIPI GRADNJE POKROVOV

Naloga pokrovnih sistemov je:

- preprečitev infiltriranja površinske vode v odlagališče (zmanjšanje izcedne vode)
- preprečitev izpusta plinov iz odlagališča
- preprečitev stika med okoljem in odpadki (onesnaževanje)

Pravilniki določajo zgradbo krovnega sistema, ki je glede na vrsto in lastnosti odpadkov različna. Osnovne plasti, ki so sestavni del pokrova na odlagališčih odpadkov so:

- površinska plast (humus)
- zaščitna plast (zemljine, ki so na območju odlagališča dostopne)
- drenažna plast (agregat ali drenažni geosintetiki)
- tesnilna plast (geomembrana, tesnilni sloj kompaktne gline in/ali tesnilni sloj gline z geosintetikom)
- plast za odvajanje plinov (zemljina ali geosintetik)
- temeljna plast (zemljina)

Ni potrebno, da pokrov vsebuje vse od naštetih plasti. Vsebovati mora tiste, ki jih predpisujejo pravilniki in tiste, ki zagotavljajo, da bo pokrov na dolgi rok učinkovit. Na primer: v primeru, če se odlagališče nahaja v aridnem območju, drenažna plast v pokrovu ni potrebna. Kadar so v odlagališču odpadki, ki ne sproščajo plinov zaradi biokemičnih reakcij, se plinsko drenažna plast lahko opusti itd.

Različni sloji se lahko med seboj tudi kombinirajo. Na primer, kombinacija površinske in zaščitne plasti kot en sloj iz zemljine ali pa kombinacija plasti za odvajanje plinov (kadar je iz peska) in temeljne plasti.

4.1 Površinska plast

V splošnem se za ta sloj najbolj pogosto uporablja rodovitna prst. Prst skupaj s koreninskim sistemom pomaga ščititi pred erozijo in omogoča evapotranspiracijo. Omogoča rast rastlin in ščiti podlago pred vplivi vode (padavin) in vetra.

Glavni problem površinske plasti je erozija vetra in vode (kadar vegetacija ni dovolj gosta). Pogosto je zaradi visokih zahtev in dostopnosti površinska plast najdražja komponenta pokrovnega sistema.

4.2 Zaščitna plast

Naloge zaščitne plasti so:

- zadrževanje infiltrirane vode vse do njene evapotranspiracije
- preprečitev dostopa živalim in koreninam rastja do zakopanih odpadkov in drenažne ter tesnilne plasti
- zmanjševati možnosti stika ljudi z onesnaženimi odpadki
- zaščita spodnjih plasti pred prekomernim sušenjem in vlaženjem, ki lahko povzroči nastajanje krčevitih razpok v glineni plasti
- zaščita spodnjih plasti pred zmrzaljo

Pogostokrat sta površinska in zaščitna plast združena v eno plast imenovano rekultivacijska plast, katere predpisana debelina je večja od globine zmrzovanja in globine vpliva korenin.

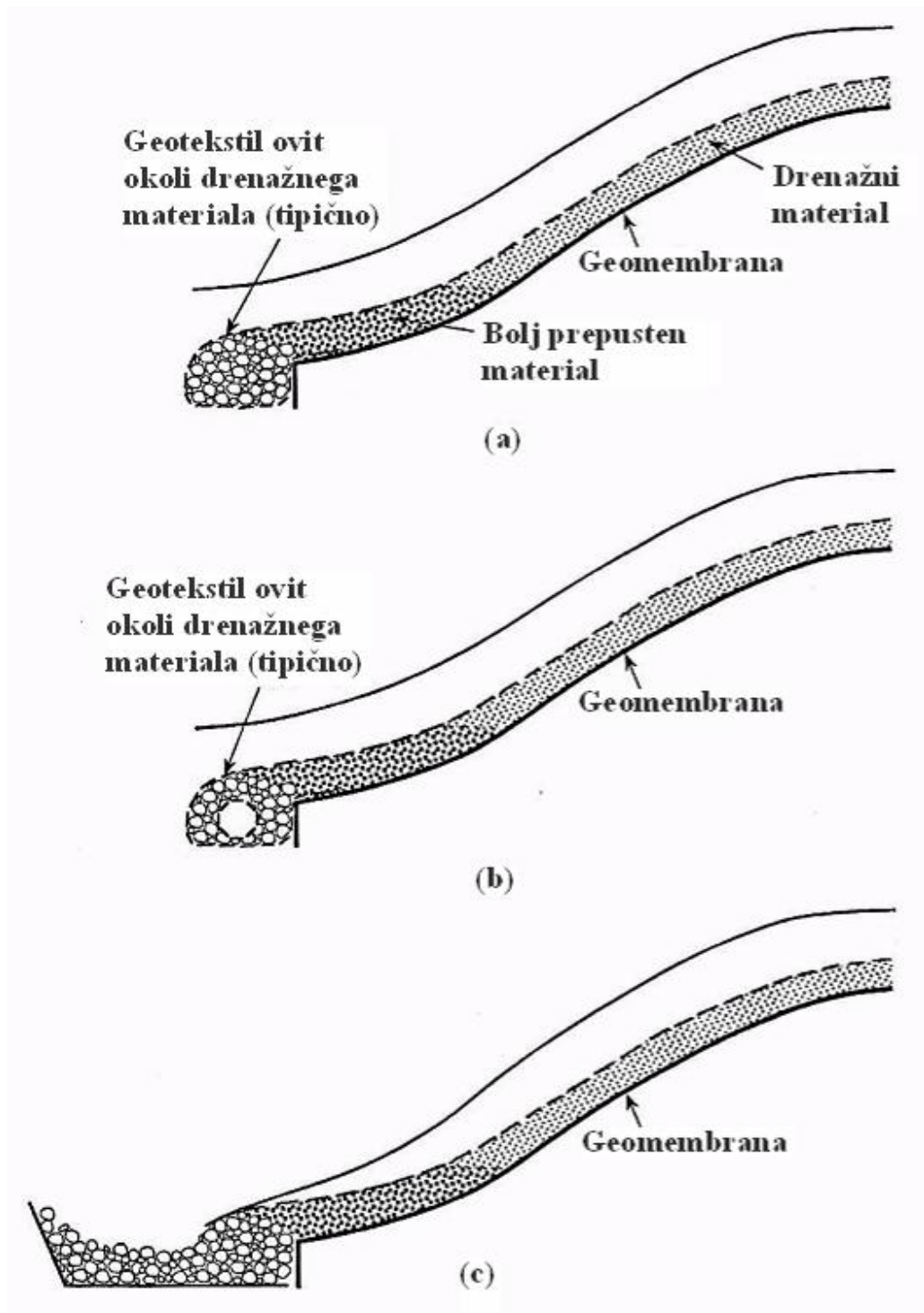
4.3 Drenažna plast

Drenažni sloj se največkrat nahaja med zaščitnim in tesnilnim slojem.

Drenažni sloj je zaželen in potreben iz treh razlogov:

- zmanjšuje tlake vode na tesnilno plast
- drenira zaščitni sloj in pri tem povečuje njegovo kapaciteto zadrževanja vode
- zmanjšuje in kontrolira porne tlake v vrhnji zemljini in s tem zagotavlja stabilnost brežine.

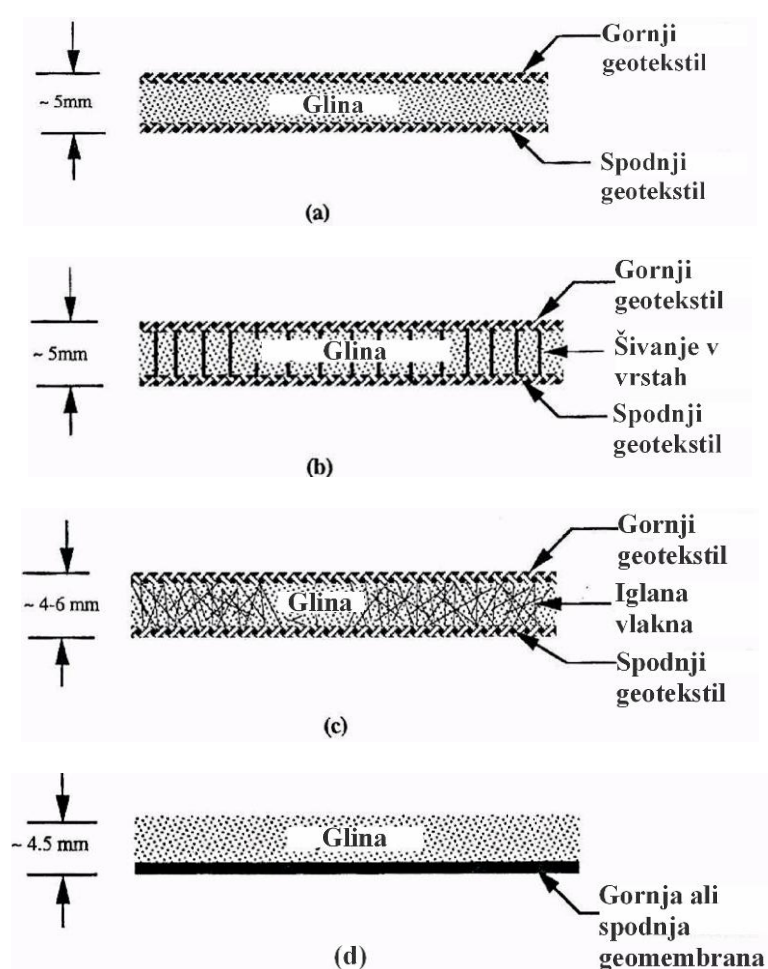
Za drenažno plast se uporabljajo nevezljivi, zrnati materiali ali pa drenažni geosintetiki. Od naravnih materialov se skoraj vedno uporabljata pesek ali gramoz. Priporočljiva debelina te plasti je 300 mm, koeficient vodoprepustnosti pa $k \geq 1 \cdot 10^{-3}$ m/s.



Slika: Različni primeri izvedbe drenaže (Soog in Koerner,1996, cit. po Koerner, R. in Daniel, D., 1997)

4.4 Tesnilna plast

Tesnilna plast je v splošnem obravnavana kot najpomembnejša komponenta pokrovnega sistema. Tesnilna plast preprečuje infiltriranje padavinske vode v odpadke in omogoča, da se pronikle vode z izhlapevanjem ponovno vrnejo v atmosfero. Prav tako je naloga tesnilne plasti, da prepreči izpust plinov v atmosfero, saj velja, da so deponijski plini velik onesnaževalec zraka in vplivajo na tanjšanje ozonske plasti. V splošnem tesnilno plast sestavljajo plast kompaktirane gline v debelini 600 mm in s koeficientom prepustnosti $k \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s. V zadnjem času pa se plast kompaktirane gline vse bolj nadomešča z bentonitnim tesnilnim trakom (GCL), ki je v večini primerov lažje dostopen, enostavnejši za polaganje in bolj homogene kakovosti.



Slika: Različni tipi bentonitnih trakov GCL – lepljenje, šivanje, iglanje, lepljenje na geomembrano (vir: Koerner, R., Daniel, D., 1997, str. 75)

4.5 Plast za odvajanje plinov

Namen plasti za odvajanje plinov je zbiranje plinov in njihovo odvajanje. Materiali, ki jih uporabljamo za to plast so lahko gramoz, geomreže, geotekstilije, geokompoziti ali drugi prepustni materiali. Poleg naštetih materialov plast za odvajanje plinov sestavljajo tudi cevi za odvajanje plinov.

4.6 Temeljna plast

Temeljna plast je najnižji sloj v pokrovnem sistemu, ki nosi vse ostale sloje in je položena direktno na odpadke. Lahko je predhodno že vgrajena kot priprava za podlago pokrova z dodatnim zgoščanjem, še preden se začne izvajati pokrovni sistem. Temeljne plasti se med seboj razlikujejo glede na vrsto odpadkov.

5 PROBLEMATIKA PREKRIVANJA KOMUNALNEGA ODLAGALIŠČA

5.1 Splošno

Prekrivanje komunalnega odlagališča je pomemben in hkrati zelo zahteven postopek, kateremu je potrebno posvetiti veliko pozornosti. V splošnem so glavni vzroki slabega delovanja pokrovnega sistema:

- posedanje in/ali pogrezanje odpadkov
- nestabilnost brežin
- neustrezno dreniranje infiltrirane vode
- neprimerno odvajanje plinov
- dolgotrajna erozija
- neprimerna končna raba in izgled površin

5.1.1 Posedanje in/ali pogrezanje

Odpadki se s časoma posedajo, s tem pa povzročijo pogrezanje vseh plasti pokrovnega sistema, torej celotnega pokrova. Velikost posedanja in čas, v katerem se bodo odpadki dokončno posedli je odvisna od vrste odpadkov, od stopnje komprimacije odpadkov in od višine deponije. Pri projektiranju pokrova je potrebno analizirati vse možne vplive neenakomernega posedanja na stabilnost in trajno funkcionalnost pokrova.

5.1.2 Nestabilnost brežin

Pokrovni sistemi so skoraj vedno izvedeni v naklonih, ki zagotavljajo odtekanje meteorne vode in maksimalno izkoriščenost volumna deponije za odpadke. Včasih so ti nakloni zelo strmi, tudi 1:1, zato je zelo pomembna izbira materiala za pokrovne plasti. Za preveritev ustrezne varnosti je potrebno izdelati analizo stabilnosti brežin. Izboljšanje stabilnosti in varnosti proti zdrsu lahko zagotovimo z naslednjimi ukrepi:

- zmanjšanjem naklona brežin
- prekinitvijo dolge brežine z vmesnimi bermami
- izvedbo podpornih zidov ali čelnih nasipov
- ojačitvami z geomrežami in drugimi armaturnimi geosintetiki

5.1.3 Neustrezno dreniranje infiltrirane vode

Pri drenažni plasti obstaja nevarnost izpiranja materiala iz zaščitne plasti, kar povzroča zmanjšanje prepustnosti drenažne plasti. Voda ne odteka, temveč se zadržuje v pokrovu in s tem močno vpliva na stabilnost pokrovnega sistema. Zaščitna plast ne sme biti položena direktno na drenažni sloj. Vmes mora biti ločilni material, ki je lahko geosintetik ali pesek.

5.1.4 Neprimerno odvajanje plinov

Vsak pokrovni sistem mora vsebovati plast za odvajanje plinov, ki zagotavlja ustrezno odvajanje številnih plinov, ki jih proizvedejo odpadki. Pri neprimerni izvedbi te plasti obstaja nevarnost eksplozije. Pline na odlagališčih se lahko vodi do bakle, kjer izgorevajo, lahko pa se jih uporablja za proizvodnjo električne energije, kot je to primer na deponiji Barje v Ljubljani.

5.1.5 Dolgotrajna erozija

Za pokrovni sistem je zelo nevarna erozija vode in vetra. Če je zaradi erozije poškodovana površinska plast, so hkrati z njo ogroženi spodnji sloji, saj postanejo izpostavljeni različnim vplivom. Zaradi erozije lahko pride do zamašitve jaškov za odvajanje vode. Erozijo lahko preprečimo z uporabo geosintetičnih materialov ali drugimi sonaravnimi ukrepi, kot so popleti iz vrbovega šibja, ipd.

5.1.6 Neprimerna končna raba in izgled

Odlagališča odpadkov se pogosto nahajajo v bližini naselij, zato je treba pozornost posvetiti tudi končnemu izgledu. Zaprto odlagališče se lahko uporabi za različne namene (igrišče za golf, športno igrišče, kolesarske in sprehajalne steze, itd.). Neprimerno pa je, če se na odlagališču odpadkov izvajajo aktivnosti, ki lahko poškodujejo pokrovni sistem.

5.2 Napake pri izvedbi

Gradnja pokrovov na odlagališčih odpadkov je v nasprotju z drugimi vrstami zemeljskih del filigransko delo, pri katerem so zelo pomembni detajli. Iz svetovne literature in iz domače

prakse je znana cela vrsta primerov, ko je prišlo do porušitev ali slabega delovanja pokrovov zaradi neprimerne izvedbe.

Tako so se tudi pri gradnji pokrova odlagališča CEROD Leskovec dogajale nepravilnosti:

- Na sliki 5.1 je prikazan značilen primer nepravilnega polaganja in prekrivanja sosednjih bentonitnih trakov na brežini. Kot je vidno iz slike, so namesto uporabe strešnega tipa prekrivanja, trakovi prekrivani v nasprotni smeri. Poleg tega so brežine prestrme za prekrivanje tesnilnega geosintetika z drenažno plastjo, zato drenažni gramoz drsi po brežini. Tesnilnega geosintetika se tudi ne sme polagati tako, da nastanejo gube, saj se v gubah pod tesnilnim slojem lahko začne nabirati deponijski plin, nad tesnilnim slojem pa padavinska voda.
- Na sliki 5.2 je prikazan nerazumno slab primer polaganja geosintetikov na kroni odlagališča. Pod krovno mineralno plastjo so geosintetični trakovi pretrgani, nagubani itd.
- Na odlagališču Leskovec je prišlo do napake pri gradnji pokrova na stiku starega in novega odlagališča. Na bermi, kjer se stikujeta stari in novi del odlagališča, se je v času padavin začela nabirati izcedna voda (slika 5.3). Napako so sanirali novembra 2009. Ugotovili so, da je prišlo do napake na površini okoli 4 m² (slika 5.4), kjer izcedna voda ni odtekala v drenažo. Razlog je bila vgraditev neprimerne materiala. Drenaža se nahaja po celotni širini pod staro deponijo v dolžini okoli 50 m, zato so pri sanaciji preverili material na celotni dolžini.



Slika 5.1: Tipičen primer nepravilne gradnje pokrova



Slika 5.2: Popolnoma nepravilno polaganje geosintetikov



Slika 5.3: Odlagališče Leskovec. Sanacija berme zaradi nabiranja izcedne vode na bermi



Slika 5.4: Zamenjava neprimerne materiala

6 ODLAGALIŠČE LESKOVEC – ANALIZA OBNAŠANJA POKROVA

6.1 Splošno

V svoji diplomski nalogi sem obravnaval projektirani štiri plastni pokrov odlagališča Leskovec. Ker so nakloni brežin zelo različni, sem preveril varnost proti zdrsu za naklone od $26,6^\circ$ (1:2) pa do 45° (1:1), pri višini brežin 10 m. Pri izračunu sem upošteval vpliv talne vode po EBGeo in obtežbo snega. EBGeo upošteva vpliv podzemne vode na ta način, da upošteva hidrostatsko obremenitev po trikotniku, kjer je tlak vode na kroni 0 in ob izteku brežine 50% debeline drenažnega sloja. Vpliv snega sem upošteval po SIST EN 1991-1-3 (Vplivi na konstrukcije: splošni vplivi – obtežba snega). Območje odlagališča Leskovec je v coni A₂, za katero je na 300 m nadmorske višine predpisana obtežba snega $s_k = 1,51 \text{ kN/m}^2$.

Zahtevan faktor varnosti za drenirane pogoje po standardu Evrokod 7 (SIST EN 1997-1:2005) znaša 1,25.

Obravnaval sem tri primere:

- naklon brežine 1:1 (45°)
- naklon brežine 1:1,5 ($33,7^\circ$)
- naklon brežine 1:2 ($26,6^\circ$)

V izračunih sem preveril tudi stabilnost brežin pokrova z vgrajenim bentonitnim trakom - GCL tesnilni geosintetik.

6.2 Račun stabilnosti pokrova z mineralnim tesnilnim slojem

Račun stabilnosti pokrova odlagališča izvedenega z glinenim tesnilnim slojem sem izvedel v programu Slide 5.0 (Rocscience). Program Slide 5.0 računa stabilnost pobočij z lamelno metodo. Program lahko predpostavi krožno ali poligonalno porušnico, stabilnost pa računa po različnih postopkih. Izbral sem metodo po Bishopu.

6.3 Račun stabilnosti pokrova z uporabo tesnilnega geosintetika po EBGeo

6.3.1 Splošno o EBGeo

EBGeo (**E**mpfehlungen für **B**ewehrungen aus **G**eokunststoffen) so najnovejše smernice za uporabo armaturnih geosintetikov. Smernice je izdal strokovni oddelek za geosintetične materiale Nemškega geotehniškega društva. Priporočila so nastala v okviru evropskega usklajevanja norm glede na nov varnostni koncept po DIN 1054, ki ni povsem identičen Evrokodu 7.

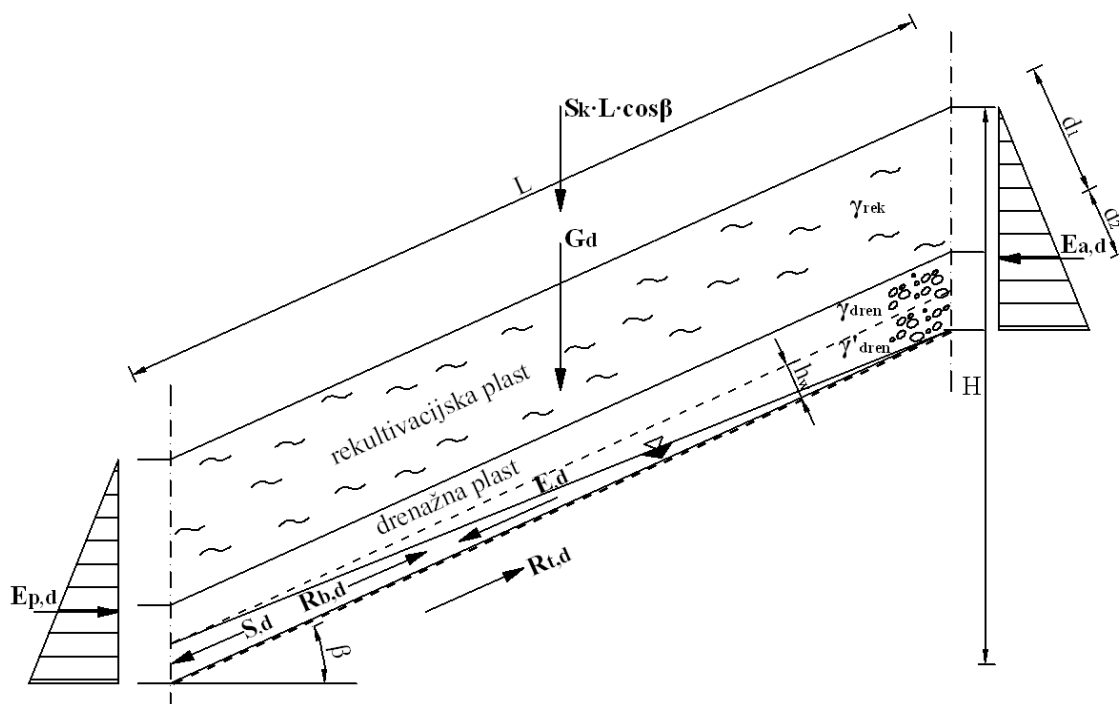
V smernice EBGeo je vključena tudi gradnja odlagališč in pokrovov na odlagališčih.

6.3.2 Račun stabilnosti pokrova po EBGeo:

6.3.2.1 Račun stabilnosti brežine pokrova in potrebne nosilnosti armaturnega geosintetika

Za prikaz varnosti, je potrebno izračunati vse projektne vplive (teža zemljine na brežini, strujna sila, sneg...) in projektni odpor zemljine. Če so vplivi večji od odpora, je potrebno vgraditi armaturni geosintetik, v nasprotnem primeru pa armaturni geosintetik ni potreben. Potrebno nosilnost armaturnega geosintetika določimo kot razliko projektnih vplivov in projektne odpora pomnoženo z dodatnimi redukcijskimi faktorji določenimi za izbrani armaturni geosintetik.

Na sliki 6.1 je prikazan karakteristični računski prerez.



Oznake: G_d ...teža zemljine na brežini, S_d ...strujna sila, $E_{p,d}$...projektni vplivi, $R_{b,d}$...projektni odpor armaturnega geosintetika, $R_{t,d}$...projektni odpor zemljine, d_1 ...debelina rekultivacijske plasti, d_2 ...debelina drenažne plasti, L ...dolžina brežine, H ...višina brežine, $E_{p,d}$...pasivni zemeljski pritisk, $E_{a,d}$...aktivni zemeljski pritiski, γ_i ...specifična teža zemljine, β ... naklon brežine, h_w ...nivo vode

Slika 6.1: Karakteristični računski prerez

PROJEKTNI VPLIVI:

Teža zemljine na brežini

$$G_d = \gamma_G \left(\gamma_{dren} \left(d_2 - \frac{1}{2} h_w \right) + \gamma'_{dren} \frac{1}{2} h_w \right) L + \gamma_{rek} d_1 L + \gamma_Q s_k L \cos \beta \quad (1)$$

Oznake: G_d ...projektna teža zemljine na brežini, γ_i ...specifična teža zemljine, d_1 ...debelina rekultivacijske plasti, d_2 ...debelina drenažne plasti, h_w ...nivo vode, L ...dolžina brežine, s_k ...karakteristična obtežba snega, β ...naklon brežine, γ_G ...delni faktor za stalne vplive, γ_Q ...delni faktor za spremenljive vplive

Opomba: upoštevamo še ostale spremenljive obtežbe (delovni stroji, ...)

Strujna sila

$$S_d = \gamma_g \frac{1}{2} \gamma_w i h_w L$$

$$i = \sin \beta$$
(2)

Oznake: S_d ...strujna sila, γ_w ...prostorninska teža vode, i ...hidravlični gradient

VREDNOSTI UČINKOV VPLIVOV

$$E_d = G_d \sin \beta + S_d + E_{a,d}$$
(3)

Oznake: E_d ...vrednosti učinkov vplivov, $E_{a,d}$...aktivni zemeljski pritiski

PROJEKTNI ODPOR ZEMLJINE:

$$R_{t,d} = G_d \cos \beta \frac{\tan \delta_k}{\gamma_\delta} + \frac{a_k}{\gamma_a} L + E_{p,d}$$
(4)

$R_{t,d}$...projektni odpor zemljine, δ_k ...strižni kot tesnilnega sklopa (geosintetik – zemljina), a_k ... adhezija tesnilnega sklopa (geosintetik – zemljina), $\gamma_\delta = \gamma_a$ delni faktor za strižni kot in adhezijo (zemljina – geosintetik)
 $E_{p,d}$...pasivni zemeljski pritiski

PREVERJANJE STATIČNEGA RAVNOVESJA

$$R_{t,d} + R_{b,d} - E_d \geq 0$$
(5)

$R_{b,d}$...projektni odpor armaturnega geosintetika

6.3.2.1.1 Določitev potrebnega armaturega geosintetika

Z enačbo 5, dobimo potrebno projektno nosilnost armaturnega geosintetika. Z enačbo 6 pa preverimo karakteristično nosilnost armaturnega geosintetika z upoštevanjem redukcijskih faktorjev (lezenje, poškodbe zaradi transporta in vgraditve, obdelovanje, vplivi okolja), delnega faktorja na nosilnost armaturnega geosintetika (γ_M) in delni faktor na silo v geosintetiku (η_M). Delni faktor sile v geosintetiku (η_M) je podan glede na projektni pristop. Podobno so podani delni faktorji odpornosti za plitvo temeljenje (SIST 1997-1).

Redukcijske faktorje poda proizvajalec geosintetikov na podlagi testov za posamezen geosintetik oziroma sklop geosintetik-zemljina. V kolikor proizvajalec nima opravljenih

potrebnih testov za izbrani geosintetik, so v EBGEO podane konservativne ocene redukcijskih faktorjev. Redukcijski faktorji zajemajo:

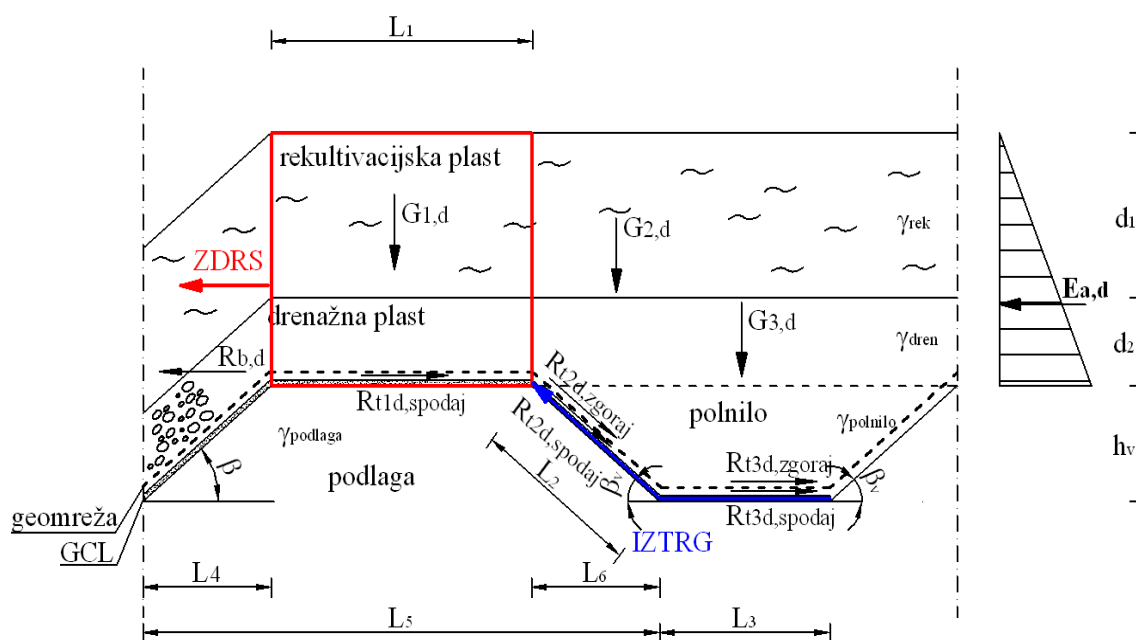
- A_1 ...vpliv lezenja geosintetika (dolgotrajnosti obtežbe)
- A_2 ...vpliv poškodb med transportom, rokovanjem in vgradnjo geosintetika
- A_3 ...vpliv obdelave površine geosintetika
- A_4 ...vpliv staranja geosintetika (biološki, kemični in UV razkroj geosintetika)

$$R_{b,d} = \frac{R_{b,k}}{A_1 A_2 A_3 A_4} \frac{1}{\gamma_M \eta_M} \quad (6)$$

Oznake: $R_{b,k}$...karakteristični odpor armaturnega geosintetika

6.3.2.2 Račun potrebnih dimenzij sidrnega jarka:

Sidrni jarek zgradimo za prenos sile iz armaturnega geosintetika v zemljinjo. Sila v armaturnem geosintetiku izračunana po enačbi 5 se v zemljinjo prenaša preko trenja, ki se vzpostavi v sidrnem jarku (slika 6.2).



Legenda: rdeče – zdrs geosintetika skupaj z zemljinjo, modro – iztrg geosintetika

Oznake: h_v ...globina jarka, L_i ...dolžine posameznih segmentov sidrnega jarka, $G_{i,d}$...teže zemljine posameznih segmentov sidrnega jarka, $R_{ti,d}$...projektni odpor vzdolž L_i , $R_{b,d}$...sidrna sila armaturnega geosintetika, β ...naklon »brežin« sidrnega jarka. Ostale oznake po sliki 6.1.

Slika 6.2: Detajl sidrnega jarka

Z ravnovesno enačbo 7 preverimo, ali dimenzije sidrnega jarka omogočajo varen prenos sile iz armaturnega geosintetika v zemljino.

$$R_{t,d} - R_{b,d} - E_{a,d} \geq 0 \quad (7)$$

Oznake: $R_{t,d}$...projektni odpor zemljine (sidrana sila), $R_{b,d}$...sila v armaturnem geosintetiku

Projektni odpor $R_{t,d}$ predstavlja največjo možno silo, ki jo lahko preko trenja varno prenesemo iz armaturnega geosintetika v zemljino. Posamezne projektne odpore $R_{t,d}$ po segmentih sidrnega jarka izračunamo po enačbi 8 in jih po enačbi 9 seštejemo v celotni projektni odpor $R_{t,d}$. Odpor upoštevamo na zgornji in spodnji strani armaturnega geosintetika, razen na polju L_1 , kjer pride do zdrsa geosintetika skupaj z zemljino. Odpor na zgornji strani armaturnega geosintetika je odvisen od zaklinjanja zrn zemljine v strukturo armaturnega geosintetika (geomreže), odpor na spodnji strani armaturnega geosintetika pa je odvisen od trenjskega kota med armaturnim geosintetikom in tesnilnim geosintetikom oziroma med tesnilnim geosintetikom in zemljino spodaj, karkoli je nižje.

Obtežbe snega ne upoštevamo, saj le ta deluje ugodno.

$$R_{i,d} = \left(\left(\gamma_{k,i} d_i \frac{\tan \delta_{k,i}}{\gamma_\delta} + \frac{a_{i,k}}{\gamma_a} \right) L_i \right) + \left(\left(\gamma_{k,i} d_i \lambda \frac{\tan \varphi_{i,k}}{\gamma_\varphi} + \frac{c_{i,k}}{\gamma_c} \right) L_i \right) \quad (8)$$

Oznake: λ redukcijski faktor prenosa strižne sile geomreža – zemljina, $\varphi_{i,k}$...strižni kot zemljine, $c_{i,k}$...kohezija zemljine, $\gamma_\varphi = \gamma_c$...delni faktor za strižni kot in kohezijo (zemljina), i ... i-ti segment sidrnega jarka

$$R_{t,d} = \sum_i R_{i,d} \quad (9)$$

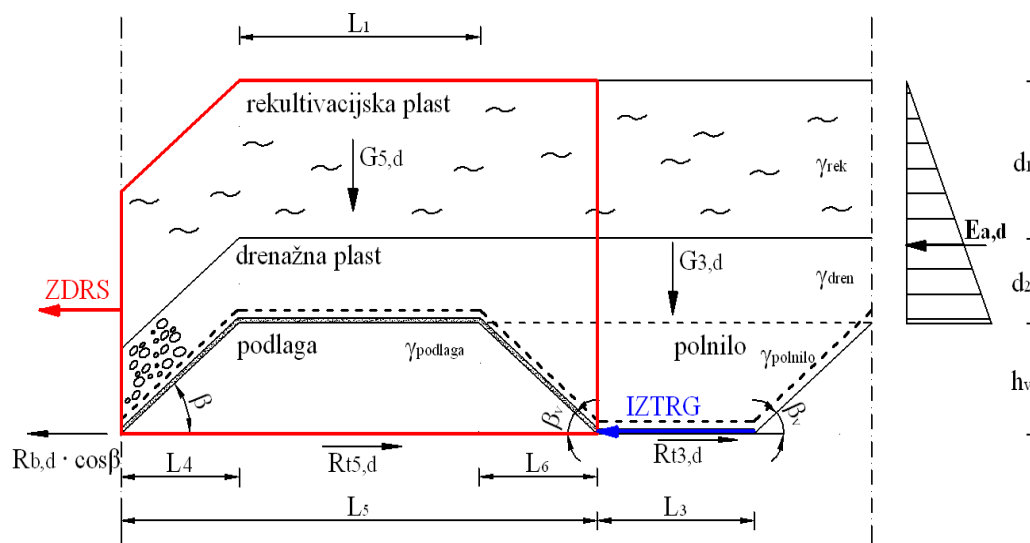
V kolikor so aktivni zemeljski pritiski majhni, jih lahko zanemarimo. V tem primeru enačbo 7 poenostavimo v enačbo 10.

$$R_{t,d} \geq R_{b,d} \quad (10)$$

V primeru da pogoj iz enačbe 10 ni izpolnjen, je potrebno povečati dimenzije sidrnega jarka.

6.3.2.3 Račun varnosti proti poružitvi krone brežine

Poleg poružitve sidrnega jarka, moramo preveriti varnost proti zdrsu območja krone pokrova med robom in sidrnim jarkom. Porušitev krone brežine je prikazana na sliki 6.3. Razdelimo jo na dve območji: območje L_5 – zdrs zemljine in območje L_3 – zdrs armaturnega geosintetika in zgornje zemljine po spodnji zemljini.



Legenda: rdeče – porušitev krone, modro – iztrg geosintetika

Oznake: glej sliki 6.1 in 6.2

Slika 6.3: Detajl krone brežine

Zadostno varnost proti poružitvi imamo, če izpolnimo pogoj pri enačbi 11.

$$R_{t,d} - R_{b,d} \cos \beta - E_{a,d} \geq 0 \quad (11)$$

Posamezne projektne odpore $R_{ti,d}$ po segmentih sidrnega jarka izračunamo po enačbi 12 in jih po enačbi 13 seštejemo v celotni projektni odpor $R_{t,d}$.

segment L_5 :

$$R_{ti,d} = (\sigma_{vi,d} \tan \varphi'_{i,d} + c'_{i,d}) L_i \quad (12)$$

segment L_3 :

$$R_{ti,d} = (\sigma_{vi,d} \tan \delta_{i,d} + a_{i,d}) L_i$$

Oznake: $\sigma_{vi,d}$... vertikalne napetosti

$$R_{t,d} \geq R_{b,d} \quad (13)$$

Opombi:

- Zaradi običajno majhnih vplivov lahko aktivne in pasivne zemeljske pritiske v vseh izračunih zanemarimo.
- Zaradi visoke nezanesljivosti kohezije in adhezije slednji običajno zanemarimo.

6.4 Izračun pokrova odlagališča CEROD Leskovec

Pri stabilnostni analizi pokrova odlagališča CEROD Leskovec sem uporabil materialne parametre, ki so prikazani v preglednici 6.1. Materialni podatki za geosintetik se nahajajo v tabeli 6.3, delni faktorji za material in vplive, redukcijski faktorji in faktor varnosti na računski pristop pa v tabeli 6.2.

Računal sem 11,3 m visoko brežino v naklonih 1:1, 1:1,5 in 1:2 za primer uporabe mineralnega tesnilnega sloja ter bentonitnega tesnilnega traku. Podatki dimenzij brežine in sidrnega jarka se nahajajo v preglednici 6.4.

Preglednica 6.1: Geotehnični parametri za posamezne sloje

Sloj	Prostorninska teža (γ) kN/m ³	Kohezija (c') kPa	Strižni kot (ϕ') °
Rekultivacijski sloj $d_1 = 1$ m	18	3	27
Drenažni sloj $d_2 = 0,3$ m	21	0	38
Tesnilni sloj- Glina $d_3 = 1$ m	19	5	25
Odpadki	14	1	35
Polnilo sidrnega jarka	21	0	38
Podlaga krone brežine plino-drenažni sloj	21	0	38

Preglednica 6.2: Delni faktorji za material in vplive, redukcijski faktorji za armaturni geosintetik in varnostni faktor na računski pristop.

Delni varnostni faktorji	Delni faktor za stalni vpliv	γ_g	kombinacija 2 / 1 1,0 / 1,35
	Delni faktor za spremenljivi vpliv	γ_q	1,3 / 1,5
	Delni faktor za strižni kot in kohezijo (zemljina)	$\gamma_\phi = \gamma_c$	1,25 / 1,0
	Delni faktor za strižni kot in adhezijo (zemljina – geosintetik)	$\gamma_a = \gamma_\delta$	1,25 / 1,0
	Delni faktor za nosilnost armaturnega geosintetika	γ_M	1,4
	Varnostni faktor za računski pristop	η_M	1,1
Redukcijski faktorji za armaturni geosintetik	Lezenje	A_1	1,36
	Poškodbe zaradi transporta in vgraditve	A_2	1,05
	Obdelovanje površine in spojev	A_3	1,0
	Vplivi okolja (vreme, kemikalije, mikroorganizmi)	A_4	1,0

Preglednica 6.3: Materialni podatki geosintetika.

Strižni kot tesnilnega sklopa (geosintetik – zemljina)	δ_k	27°
Adhezija tesnilnega sklopa (geosintetik – zemljina)	a_k	0 kN/m ²
Redukcijski faktor prenosa strižne sile geomreža –zemljina	λ	0,9

Preglednica 6.4: Dimenzije pokrova in geometrija sidrnega jarka.

PODATKI:				
Dimenzije pokrova	Naklon brežine	β	26,6 / 33,7 / 45	°
	Debelina rekul. sloja	d_1	1,0	m
	Debelina dren. sloja	d_2	0,30	m
	Višina vode	h_w	0,15	m
	Dolžina brežine	L	25,24 / 20,37 / 15,98	m
	Višina brežine	H	10	m
Geometrija sidrnega jarka	Širina krone brežine	L_1	1,0	m
	Naklon jarka	β_v	26,6 / 33,7 / 45	°
	Globina jarka	h_v	0,8	m
	Dolžina dna jarka	L_3	0,6	m
	Dolžina brežine jarka	L_2	1,79 / 1,44 / 1,13	m
	Dolžina krone	L_5	4,20 / 3,40 / 2,60	m
	Hor. dolžina brežine jarka	$L_4=L_6$	1,60 / 1,20 / 0,80	m

Stabilnostne analize za primer naravnega tesnilnega sloja sem izvedel v programu Slide 5.0. Pri tem sem uporabil metodo računa stabilnosti po Bishop-u. Stabilnost sem preveril za primer krožne in poligonalne drsine. Za stabilnost pokrova so kritični kontakti med različnimi plastmi, v našem primeru je za zdrs najbolj ranljiv kontakt med tesnilno in drenažno plastjo.

Stabilnost brežin z uporabo bentonitnega tesnilnega traku sem izračunal po nemških smernicah EBGeo.

Vsi računski modeli so priloženi v prilogah. V nadaljevanju pa podajam rezultate za primer naklona 26,6°.

6.4.1 Stabilnost brežin različnih naklonov iz naravnih materialov

Nakloni brežin na pokrovu odlagališča CEROD Leskovec so zelo različni in na nekaterih delih tudi zelo strmi. Zato sem preveril stabilnost pokrova za običajne (26,6°), pa tudi za zelo strme brežine (45°).

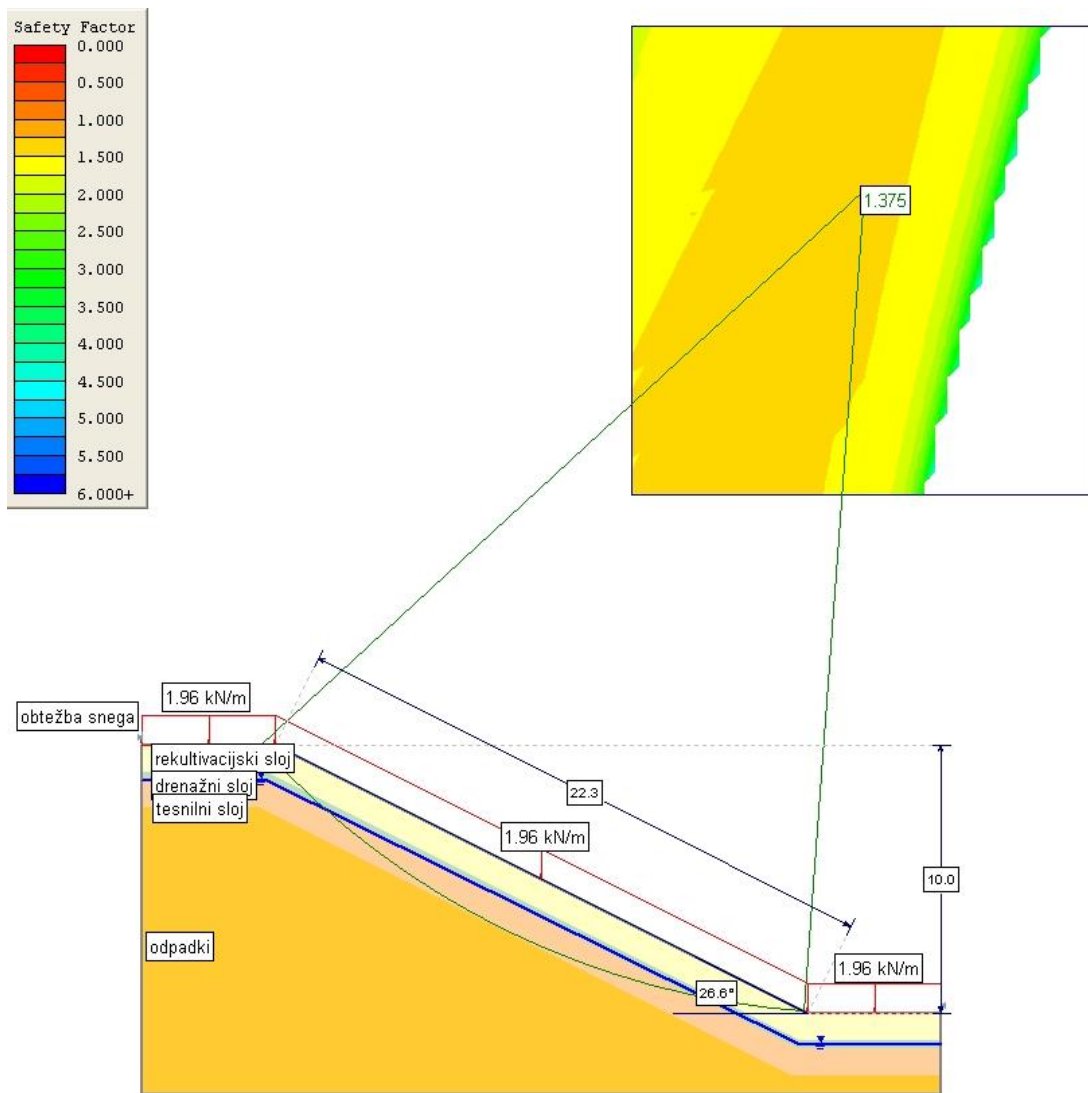
Pokazalo se je, da je pokrov odlagališča varen v naklonu 1:2. V naklonu 1:1,5 je izvedba pokrova sicer možna, vendar z nezadostnim faktorjem varnosti ($1,1 < 1,25$). V naklonu 1:1 pa izvedba ni možna, saj je faktor varnosti manjši od 1,0 (Preglednica 6.5).

Poligonalna drsina ima manjše faktorje varnosti, saj poteka po kritičnem kontaktu v pokrovu. V našem primeru je to kontakt gline in plinodrenažnega sloja. Krožna drsina pa se tega kontakta lahko dotakne le v 1 (2) točki.

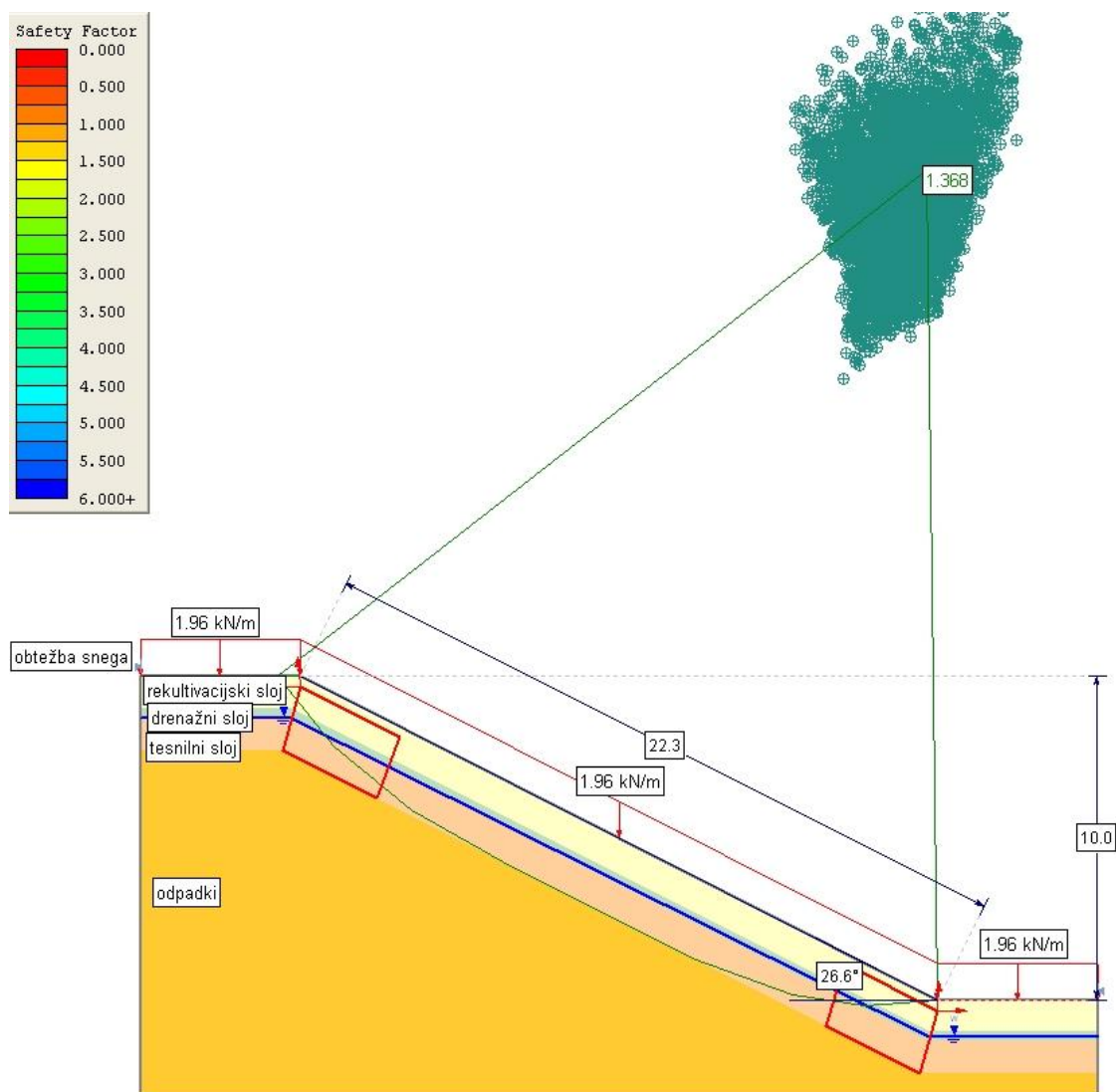
Na slikah 6.4 (krožna drsina) in 6.5 (poligonalna drsina) predstavljam primer izračuna stabilnosti brežine naklona 1:2 v programu Slide 5.0. Ostali izračuni so priloženi v prilogah.

Preglednica 6.5: Varnostni faktorji za različne naklone brežine

	Varnostni faktorji za različne naklone brežin		
	Naklon 1:1 (45 °)	Naklon 1:1,5(33,7 °)	Naklon 1:2 (26,6 °)
Krožna drsina	0,840	1,098	1,375
Poligonalna drsina	0,825	1,093	1,368



Slika 6.4: Primer izračuna stabilnosti brežine naklona 1:2 (krožna drsina)



Slika 6.5: Primer izračuna stabilnosti brežine naklona 1:2 (poligonalna drsina)

6.4.2 Stabilnost brežin z uporabo GCL tesnilnega geosintetika

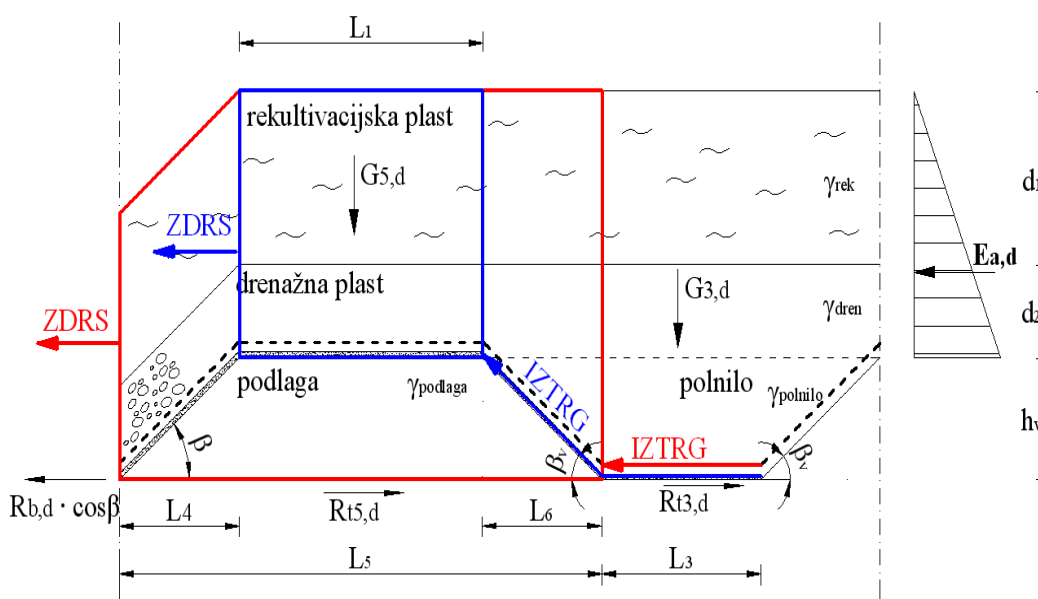
Pri analizi stabilnosti pokrova odlagališča z uporabo GCL tesnilnega geosintetika sem uporabil nemške smernice EBGEO. Pri tem sem upošteval projektni pristop 1. Izkazalo se je, da je najbolj kritična kombinacija 2 (faktorji varnosti na materialne karakteristike).

V primeru, ko so izračuni pokazali nezadostno varnost, sem izračunal potrebno nosilnost armaturnega geosintetika za ojačitev kontakta med tesnilnim GCL geosintetikom in mineralnim drenažnim slojem. Preveril sem tudi dimenzije sidrnega jarka in v kolikor ni bil varen sem povečal njegove dimenzije. V preglednici 6.6 podajam rezultate izračunov.

Projektne dimenzije sidrnega jarka so varne samo za brežino z naklonom 1:2, za strmejšje brežina pa je potrebno povečati dimenzije sidrnega jarka. V projektu predviden armaturni geosintetik nima potrebne nosilnosti. V projektu podana nosilnost armaturnega geosintetika je brez redukcijskih faktorjev!

Iz preglednice 6.6 vidimo, da se z večanjem naklona brežine nosilnost armaturnega geosintetika in potrebne dimenzije sidrnega jarka povečujejo. Za naklon $26,6^\circ$ je izbrani armaturni geosintetik srednje nosilnosti, za naklon 45° pa sodi med najmočnejše armaturne geosintetike. Ocenjujem, da je uporaba slednjega zaradi cene nesmiselna, prav tako pa bi bilo potrebno rešiti stabilnost drenažnega in rekultivacijskega sloja.

Izračuni so priloženi v prilogah.



Legenda: rdeče – porušitev krone, modro – porušitev sidrnega jarka

Oznake: h_v ... globina jarka, L_i ... dolžine posameznih segmentov sidrnega jarka, $G_{i,d}$... teže zemljine posameznih segmentov sidrnega jarka, $R_{ii,d}$... projektni odpor vzdolž L_i , β_v ... naklon »brežin« sidrnega jarka. Ostale oznake po sliki 6.1.

Slika 6.6: Detajl sidrnega jarka. Prikazana sta oba tipa porušitev

Preglednica 6.6: Računske dimenzije sidrnega jarka in krone brežine

	NAKLON		
Naklon brežine β	45°	33,7°	26,6°
Potrebna projektna nosilnost armaturnega geosintetika (kN/m')	175,41	119,12	61,66
Izbrani armaturni geosintetik (kN/m')	400	280	150
Predviden sidrni jarek			
Globina jarka (m)	0,8	0,8	0,8
Dolžina dna jarka (m)	0,6	0,6	0,6
Dolžina krone brežine (m)	1,0	1,0	1,0
Varnost proti poružitvi sidrnega jarka	PORUŠITEV	PORUŠITEV	VARNO
Varnost proti poružitvi krone brežine	PORUŠITEV	PORUŠITEV	VARNO
Potrebni sidrni jarek			
Globina jarka (m)	1,0	1,0	0,8
Dolžina dna jarka (m)	3,2	1,6	0,6
Dolžina krone brežine (m)	4,6	3,0	1,0

6.5 Analiza rezultatov

Iz rezultatov analize stabilnosti pokrova z uporabo naravnih materialov je vidno, da je pri danih karakteristikah materialov, varnost zagotovljena le pri brežini z naklonom 1:2. Pri naklonu 1:1,5 bi bila potrebna izvedba vmesnih berm ali pa uporaba naravnih materialov v kombinaciji z armiranjem. Pri naklonu 1:1 pa je že s tehnološkega vidika gradnja z uporabo naravnih materialov nemogoča, računski analiza pa služi le kot dokaz nestabilnosti, ki jo lahko enostavno ocenimo.

Iz analize gradnje pokrova z uporabo GCL tesnilnega geosintetika je prav tako vidno, da je brežina v naklonu 1:2 varna z uporabo armaturne mreže s srednje visoko natezno trdnostjo. Pri tem naklonu je varnost zagotovljena tudi v sidrnem jarku. Pri naklonu brežine 1:1 pa so potrebne zelo močne mreže, ki pa še vedno ne omogočajo izvedbe stabilne zaščitne plasti.

Pri naklonu brežine 1:1,5 se je izkazalo, da varnost proti poružitvi sidrnega jarka ni zadostna, zato je potrebno poglobiti s projektom predvideni sidrni jarek in povečati oddaljenost sidrnega jarka od roba krone.

7 ZAKLJUČEK

Kot študent sem sodeloval pri fizičnih delih pri gradnji pokrovov na odlagališču Leskovec, zato me je problematika gradnje pokrovov začela zanimati tudi s projektantskega vidika.

V diplomskem delu sem se osredotočil predvsem na stabilnost pokrova na brežinah ter z njim povezano problematiko na odlagališču Leskovec. Pri študiju projektne dokumentacije in iz opazovanj med praktičnim delom sem ugotovil, da je bila pri projektiranju pokrovov na različnih delih odlagališča in njihovi stabilnosti namenjena premajhna pozornost in da so nadzorni inženirji med samim delom morali sprožiti vrsto akcij in popravkov, da so bile izpolnjene minimalne zahteve glede varnosti pokritih brežin. S svojimi izračuni sem tudi pokazal, da bi v primeru, če bi se v Sloveniji uveljavile nemške smernice EBGEO, morali pokrove na odlagališču Leskovec graditi z uporabo močnih armaturnih geosintetikov, globljo izvedbo sidrnih jarkov in z drugačnimi bermami.

Pri gradnji pokrovov na starih odlagališčih, kot je Leskovec, se srečujemo tudi s fenomenom »zatečenega stanja«, ko so brežine zelo strme in jih je zelo težko ublažiti in ko zaradi mejnih zadev ni možno urediti ustreznega obodnega dreniranja, saj segajo odpadki vse do ograje in je za reševanje meteornih voda treba uporabiti najrazličnejše »zasilne« rešitve. V takih primerih ni možno zasnovati »teoretsko« pravilne zgradbe pokrova, temveč je treba z uporabo geosintetičnih materialov poiskati najboljše možne izvedbene rešitve.

Po podatkih upravljavcev odlagališča pokrov starega dela odlagališča Leskovec »diha« in se je do sedaj posedel za cca. 50 cm. Do lokalnih porušitev pokrova zaenkrat še ni prišlo, čeprav sem pri pregledu brežin opazil lokalne zdrse (slika 7.2).



Slika 7.1: Pokrov na odlagališču Leskovec



Slika 7.2: Posledica zdrsa površinske plasti

Vzroki za zastajanje izcedne vode na brežinah in sanacija odseka, kjer se stikujeta stari in novi del odlagališča so opisani v točki 5.2. Če bi se podobna izguba funkcije drenaže zgodila na brežini, ki je ne bi imeli možnosti nadzorovati, bi dvig izcedne vode zagotovo povzročil porušitev brežine.

V nalogi sem pokazal, da je treba vsako vrsto pokrova obravnavati posebej, pri čemer so zelo pomembni projektni in izvedbeni detajli.

Zelo pomemben del je projektiranje in računske analize pred gradnjo, saj se s tem lahko izognemo številnim problemom med gradnjo in po njej. S primerjalnimi analizami sem pokazal, kako pomemben je geotehnični vidik obravnave pokrova. Če pride do porušitve pokrova na brežini, je ogrožena celotna funkcija pokrova in varnost širše okolice deponije. Pokrovov na brežini ne bi smeli načrtovati pavšalno, temveč bi morali zgradbo pokrova prilagajati dejanskim razmeram na terenu.

Mislím, da bi morali v prihodnosti zahteve za projektiranje in gradnjo pokrovnih sistemov poostriiti. Strožji pa bi moral biti tudi nadzor med gradnjo, saj bi s tem prihranili veliko časa in denarja.

Opomba: Analize, prikazane v nalogi je možno na podoben način uporabiti tudi pri projektiranju zaščitnih sistemov na brežinah prometnic, kadar te potekajo preko vodovarstvenih pasov oz. na brežinah v akumulacijskih bazenih.

VIRI

Beg, D., Pogačnik, A. 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije

EBGEO 2009. Deponiebau – Bewehrung oberflächenparalleler Systeme: 20 str.

HIS, d.o.o. 2005. Projekt PGD Center za ravnanje z odpadki dolenske, Ljubljana

Koerner, R., Daniel, D. 1997. Final covers for solid waste Landfills and abandoned dumps. Reston, America Society of Civil Engineers: 256 str.

Poročilo o pregledu projektne dokumentacije z naslovom: Center za ravnanje z odpadki dolenske – Leskovec, projekt št. 01/05 PZI, 2005

Pravilnik o odlaganju odpadkov. UL RS št 5/2000: 259

Stoewahse, C., Dixon, N. 2002. Geosynthetic interface shear behaviour. Ground engineering,

Uredba o odlaganju odpadkov na odlagališčih UL RS št. 32/2006 z dne 28.03.2006: 1311

Uredba o ravnanju z odpadki UL RS št. 34/2008 z dne 07.04.2008: 1358

Uredba o spremembah in dopolnitvah Uredbe o odlaganju odpadkov na odlagališčih UL RS, št. 53/2009: 2645

Van Impe, W.F. 1995. Fundament of environment geotechnich

Žmavc, J. 1997. Gradnja cest: voziščne konstrukcije. Ljubljana

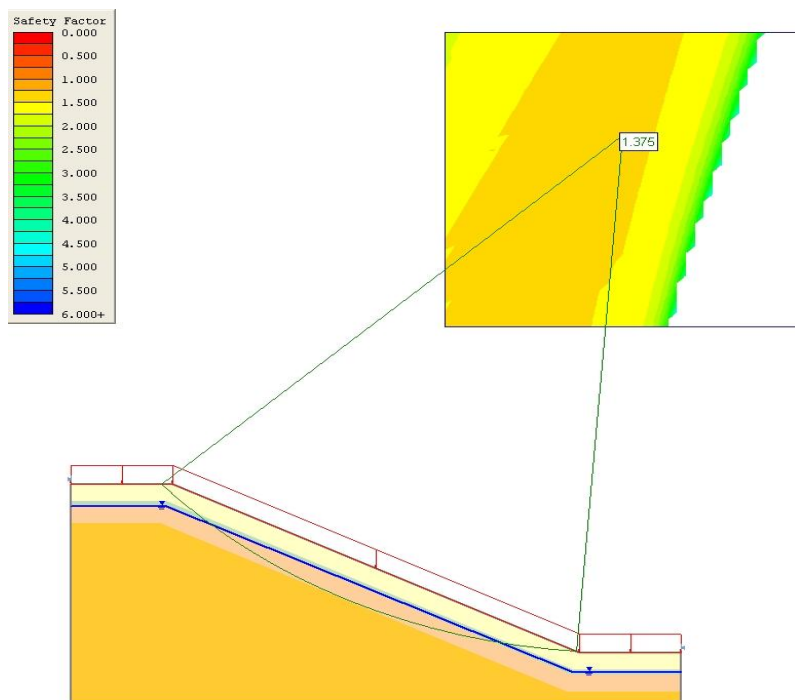
<https://portal.hassen.de> (15.11.2009)

Abfallgesetz AbfG, 2009: Artikel 1 V.v. BGB1. <http://buzer.de/gesetz> (20.10.2009)

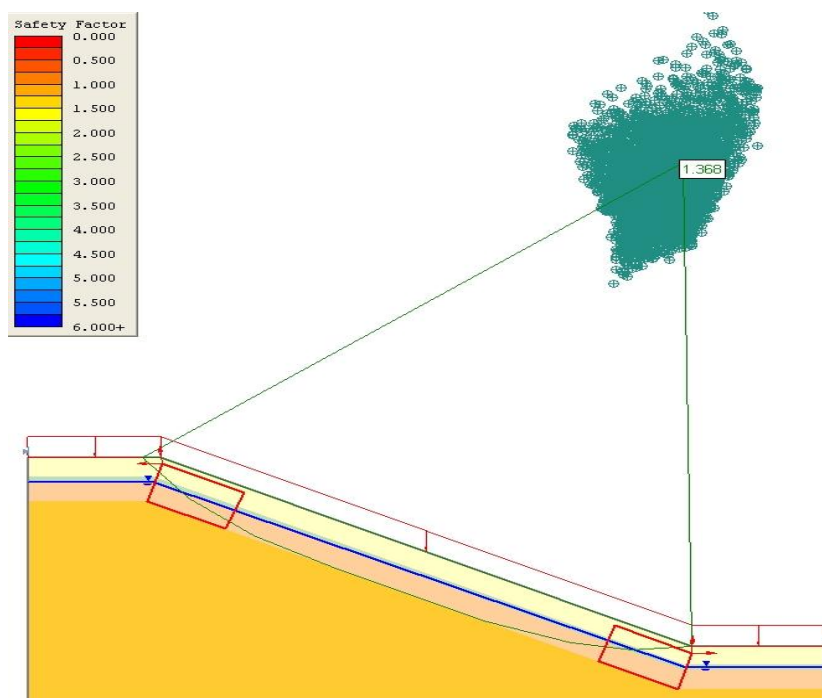
PRILOGA1: STABILNOST BREŽIN IZ NARAVNIH MATERIALOV (SLIDE 5.0),

1 BREŽINA Z NAKLONOM 1:2 (26,6°)

1.1 Krožna drsina

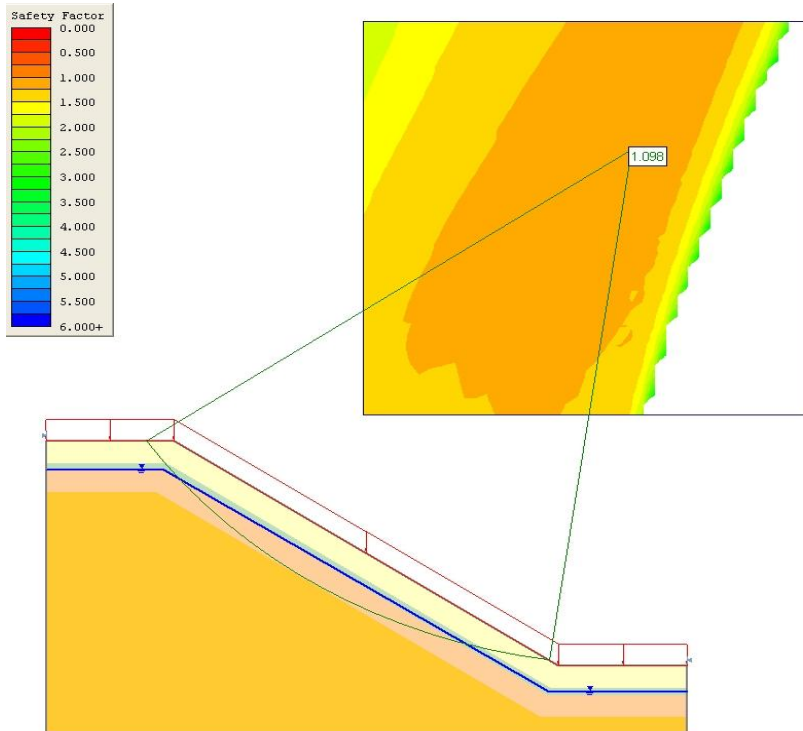


1.2 Poligonalna drsina

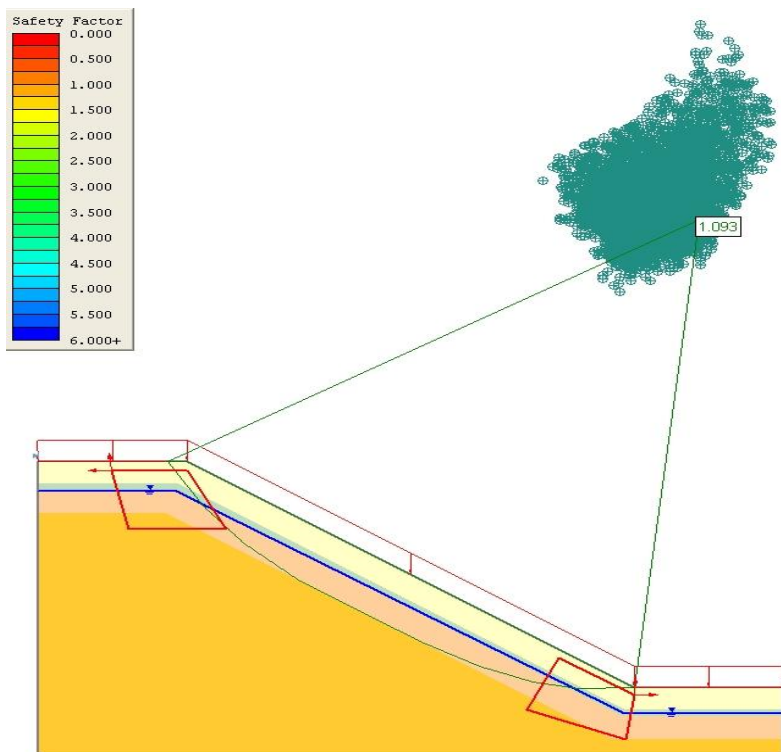


2 BREŽINA Z NAKLONOM 1:1,5 (33,7°)

2.1 Krožna drsina

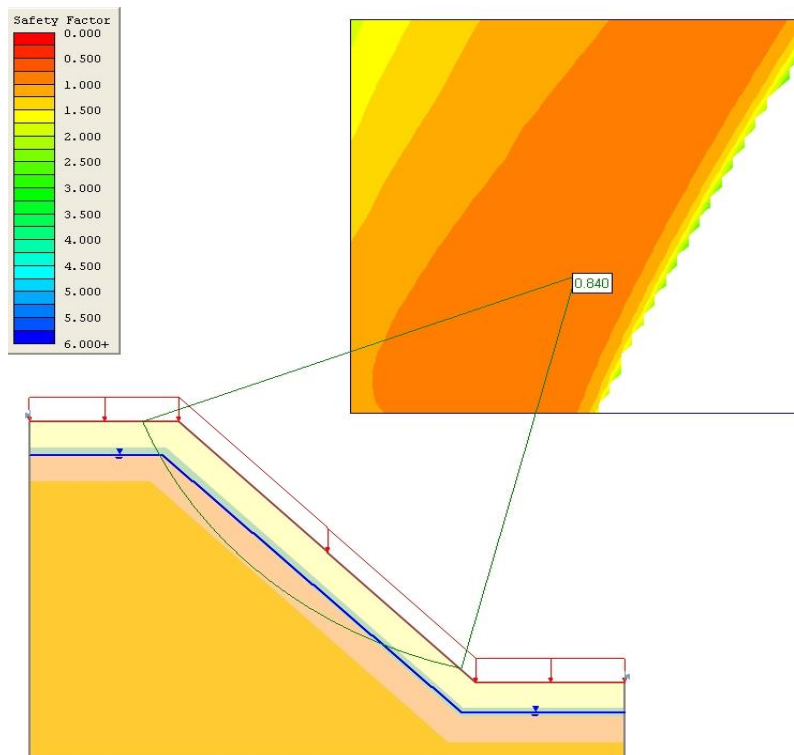


2.2 Poligonalna drsina

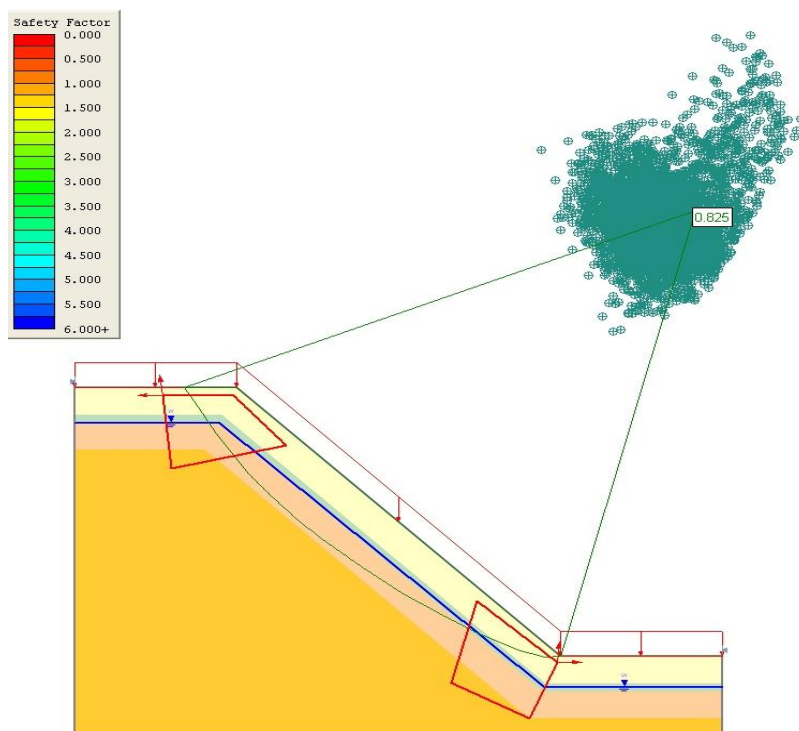


3 BREŽINA Z NAKLONOM 1:1 (45°)

3.1 Krožna drsina



3.2 Poligonalna drsina



PRILOGA 2: RAČUN STABILNOSTI POVRŠINSKEGA TESNENJA DEPONIJE Z UPORABO GEOSINTETIKOV – PROJEKTNI PRISTOP 1, KOMBINACIJA 2 (EBGEO - Deponienbau)

1 RAČUN STABILNOSTI BREŽINE

PODATKI:				
Dimenzije pokrova	naklon brežine	β	26,6/33,7/45	°
	debelina rekul. sloja	d_1	1,0	m
	debelina dren. sloja	d_2	0,30	m
	višina vode	h_w	0,15	m
	dolžina brežine	L	25,24/20,37/15,98	m
	višina brežine	H	11,3	m
Delni varnostni faktorji	Delni faktor za stalni vpliv	γ_g	1,0	
	Delni faktor za spremenljivi vpliv	γ_q	1,3	
	Delni faktor za strižni kot in kohezijo (zemljina)	$\gamma_\phi = \gamma_c$	1,25	
	Delni faktor za strižni kot in adhezijo (zemljina – geosintetik)	$\gamma_a = \gamma_\delta$	1,25	
	Delni faktor za nosilnost armaturnega geosintetika	γ_M	1,4	
	Varnostni faktor za računski pristop	η_M	1,1	
Redukcijski faktorji za armaturni geosintetik	lezenje	A_1	1,36	
	poškodbe zaradi transporta in vgraditve	A_2	1,05	
	Obdelovanje površine in spojev	A_3	1,0	
	Vplivi okolja (vreme, kemikalije, mikroorganizmi)	A_4	1,0	

1.1 RAČUN STABILNOSTI BREŽINE V NAKLONU 1:2 (26,6°) – Projektni pristop 1

1.1.1 Projektni vplivi

- Teža zemljine na brežini

$$G_k = (\gamma_{\text{dren}} \cdot (d_2 - \frac{1}{2} \cdot h_w) + \gamma'_{\text{dren}} \cdot \frac{1}{2} \cdot h_w) \cdot L + \gamma_{\text{rek}} \cdot d_1 \cdot L + S_d \cdot L = 638,62 \text{ KN/m'}$$

- Strujna sila

$$S_d = \gamma_g \cdot \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot i \cdot h_w \cdot L = 8,48 \text{ KN/m'}$$

- Vrednost učinkov vplivov

$$E_d = \gamma_g \cdot G_k \cdot \sin \beta + S_d = 294,42 \text{ KN/m'}$$

1.1.2 Projektni odpor zemljine

$$R_{t,d} = G_k \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a \cdot L + E_{p,d} = 232,76 \text{ KN/m'}$$

1.1.3 preverjanje statičnega ravnovesja

$$R_{t,d} + R_{b,d} - E_d \geq 0$$

$$R_{b,d} \geq E_d - R_{t,d} = 61,66 \text{ KN/m'}$$
 potrebna sila armature

1.1.4 Dimenzioniranje armature

$$R_{b,d} = R_{b,k} / (A1 \cdot A2 \cdot A3 \cdot A4) \cdot 1 / (\gamma_M \cdot \eta_M) = 68,21 \text{ KN/m}$$

IZBEREM ARMATURO 150 KN/m'

$$R_{b,d} = 68,21 \text{ KN/m} > 61,66 \text{ KN/m'}$$

1.2 RAČUN STABILNOSTI BREŽINE V NAKLONU 1:1,5 (33,7°) – Projektni pristop 1

1.2.1 Projektni vplivi

- Teža zemljine na brežini

$$G_k = (\gamma_{dren} \cdot (d_2 - \frac{1}{2} \cdot h_w) + \gamma'_{dren} \cdot \frac{1}{2} \cdot h_w) \cdot L + \gamma_{rek} \cdot d_1 \cdot L + s_d \cdot L = 512,88 \text{ KN/m'}$$

- Strujna sila

$$S_d = \gamma_g \cdot \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot i \cdot h_w \cdot L = 8,48 \text{ KN/m'}$$

- Vrednost učinkov vplivov

$$E_d = \gamma_g \cdot G_k \cdot \sin \beta + S_d = 293,04 \text{ KN/m'}$$

1.2.2 Projektni odpor zemljine

$$R_{t,d} = G_k \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a \cdot L + E_{p,d} = 173,93 \text{ KN/m'}$$

1.2.3 preverjanje statičnega ravnovesja

$$R_{t,d} + R_{b,d} - E_d \geq 0$$

$$R_{b,d} \geq E_d - R_{t,d} = 119,12 \text{ KN/m'}$$
 potrebna sila armature

1.2.4 Dimenzioniranje armature

$$R_{b,d} = R_{b,k} / (A1 \cdot A2 \cdot A3 \cdot A4) \cdot 1 / (\gamma_M \cdot \eta_M) = 127,32 \text{ KN/m}$$

IZBEREM ARMATURO 280 KN/m'

$$R_{b,d} = 127,32 \text{ KN/m} > 119,12 \text{ KN/m}'$$

1.3 RAČUN STABILNOSTI BREŽINE V NAKLONU 1:1 (45°) – Projektni pristop 1

1.3.1 Projektni vplivi

- Teža zemljine na brežini

$$G_k = (\gamma_{\text{dren}} \cdot (d_2 - \frac{1}{2} \cdot h_w) + \gamma'_{\text{dren}} \cdot \frac{1}{2} \cdot h_w) \cdot L + \gamma_{\text{rek}} \cdot d_1 \cdot L + S_d \cdot L = 398,53 \text{ KN/m}'$$

- Strujna sila

$$S_d = \gamma_g \cdot \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot i \cdot h_w \cdot L = 8,48 \text{ KN/m}'$$

- Vrednost učinkov vplivov

$$E_d = \gamma_g \cdot G_k \cdot \sin \beta + S_d = 290,27 \text{ KN/m}'$$

1.3.2 Projektni odpor zemljine

$$R_{t,d} = G_k \cdot \cos \beta \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a \cdot L + E_{p,d} = 114,87 \text{ KN/m}'$$

1.3.3 preverjanje statičnega ravnovesja

$$R_{t,d} + R_{b,d} - E_d \geq 0$$

$$R_{b,d} \geq E_d - R_{t,d} = 175,41 \text{ KN/m}' \quad \text{potrebna sila armature}$$

1.3.4 Dimenzioniranje armature

$$R_{b,d} = R_{b,k} / (A1 \cdot A2 \cdot A3 \cdot A4) \cdot 1 / (\gamma_M \cdot \eta_M) = 181,89 \text{ KN/m}$$

IZBEREM ARMATURO 400 KN/m'

$$R_{b,d} = 181,89 \text{ KN/m} > 175,41 \text{ KN/m}'$$

2.1 Račun potrebnih dimenzij sidrnega jarka za naklon brežine 1:2 (26,6°)

Upor vzdolž L1 (upošteva se samo upor na spodnji strani):

$$R_{t1,d,spodaj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1) \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a) \cdot L_1 = 9,91 \text{ KN/m'}$$

Upor vzdolž L2:

$$R_{t2,d,spodaj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v \cdot 1/2) \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a) \cdot L_2 \cdot \cos \beta$$
$$R_{t2,d,spodaj} = 20,51 \text{ KN/m'}$$

$$R_{t2,d,zgoraj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v \cdot 1/2) \cdot \lambda \cdot (\tan \varphi'_k) / \gamma_\phi + c_k / \gamma_c) \cdot L_2 \cdot \cos \beta$$
$$R_{t2,d,zgoraj} = 18,46 \text{ KN/m'}$$

Upor vzdolž L3:

$$R_{t3,d,spodaj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v) \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a) \cdot L_3 = 9,46 \text{ KN/m'}$$

$$R_{t3,d,zgoraj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v) \cdot \lambda \cdot (\tan \varphi'_k) / \gamma_\phi + c_k / \gamma_c) \cdot L_3 = 8,52 \text{ KN/m'}$$

Upor skupaj:

$$\Sigma R_{ti,d} = R_{t1,d,spodaj} + R_{t2,d,spodaj} + R_{t2,d,zgoraj} + R_{t3,d,spodaj} + R_{t3,d,zgoraj} = 66,86 \text{ KN/m'}$$

$$R_{t,d} \geq R_{b,d}$$

$$\Sigma R_{ti,d} = 66,86 \text{ KN/m} < 61,66 \text{ KN/m'}$$

VARNO

2.2 Račun potrebnih dimenzij sidrnega jarka za naklon brežine 1:1,5 (33,7°)

Upor vzdolž L1 (upošteva se samo upor na spodnji strani):

$$R_{t1,d,spodaj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1) \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a) \cdot L_1 = 9,91 \text{ KN/m'}$$

Upor vzdolž L2:

$$R_{t2,d,spodaj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v \cdot 1/2) \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a) \cdot L_2 \cdot \cos \beta$$
$$R_{t2,d,spodaj} = 15,40 \text{ KN/m'}$$

$$R_{t2,d,zgoraj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v \cdot 1/2) \cdot \lambda \cdot (\tan \varphi'_k) / \gamma_\phi + c_k / \gamma_c) \cdot L_2 \cdot \cos \beta$$
$$R_{t2,d,zgoraj} = 13,86 \text{ KN/m'}$$

Upor vzdolž L3:

$$R_{t3,d,spodaj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v) \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a) \cdot L_3 = 9,46 \text{ KN/m'}$$

$$R_{t3,d,zgoraj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v) \cdot \lambda \cdot (\tan \varphi'_k) / \gamma_\phi + c_k / \gamma_c) \cdot L_3 = 8,52 \text{ KN/m'}$$

Upor skupaj:

$$\Sigma R_{ti,d} = R_{t1,d,spodaj} + R_{t2,d,spodaj} + R_{t2,d,zgoraj} + R_{t3,d,spodaj} + R_{t3,d,zgoraj} = 57,15 \text{ KN/m'}$$

$$R_{t,d} \geq R_{b,d}$$

$$\Sigma R_{ti,d} = 57,15 \text{ KN/m} < 119,12 \text{ KN/m'}$$

PORUŠITEV!!! (potrebno je povečati dimenzije sidrnega jarka)

2.3 Račun potrebnih dimenzij sidrnega jarka za naklon brežine 1:1 (45°)

Upor vzdolž L1 (upošteva se samo upor na spodnji strani):

$$R_{t1,d,spodaj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1) \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a) \cdot L_1 = 9,91 \text{ KN/m'}$$

Upor vzdolž L2:

$$R_{t2,d,spodaj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v \cdot 1/2) \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a) \cdot L_2 \cdot \cos$$
$$R_{t2,d,spodaj} = 10,27 \text{ KN/m'}$$

$$R_{t2,d,zgoraj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v \cdot 1/2) \cdot \lambda \cdot (\tan \varphi'_k) / \gamma_\phi + c_k / \gamma_c) \cdot L_2 \cdot \cos \beta$$
$$R_{t2,d,zgoraj} = 9,24 \text{ KN/m'}$$

Upor vzdolž L3:

$$R_{t3,d,spodaj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v) \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a) \cdot L_3 = 9,46 \text{ KN/m'}$$

$$R_{t3,d,zgoraj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v) \cdot \lambda \cdot (\tan \varphi'_k) / \gamma_\phi + c_k / \gamma_c) \cdot L_3 = 8,52 \text{ KN/m'}$$

Upor skupaj:

$$\Sigma R_{ti,d} = R_{t1,d,spodaj} + R_{t2,d,spodaj} + R_{t2,d,zgoraj} + R_{t3,d,spodaj} + R_{t3,d,zgoraj} = 47,41 \text{ KN/m'}$$

$$R_{t,d} \geq R_{b,d}$$

$$\Sigma R_{ti,d} = 47,41 \text{ KN/m} < 175,41 \text{ KN/m'}$$

PORUŠITEV!!! (potrebno je povečati dimenzije sidrnega jarka)

3 RAČUN VARNOSTI PROTI PORUŠITVI KRONE BREŽINE

$$R_{t,d} - R_{b,d} \cdot \cos\beta - E_{a,d} \geq 0$$

pri

$$R_{t,d} = \sum R_{ti,d} = \underset{\text{zgoraj}}{(\sigma_{vi,d} \cdot \tan \varphi'_{i,d} + c'_{i,d}) \cdot L_i} + \underset{\text{spodaj}}{(\sigma_{vi,d} \cdot \tan \delta_{i,d} + a_{i,d}) \cdot L_i}$$

Ploščina likov:

$$P_1 = \frac{1}{2} \cdot L_7 \cdot h_v$$

$$P_2 = L_1 \cdot h_v$$

$$P_3 = L_6 \cdot h_v$$

$$P_4 = (L_7 / \cos \beta) \cdot d_2$$

$$P_5 = (L_7 / \cos \beta) \cdot d_1$$

$$P_6 = L_1 \cdot d_2$$

$$P_7 = L_1 \cdot d_1$$

$$P_8 = \frac{1}{2} \cdot L_6 \cdot h_v$$

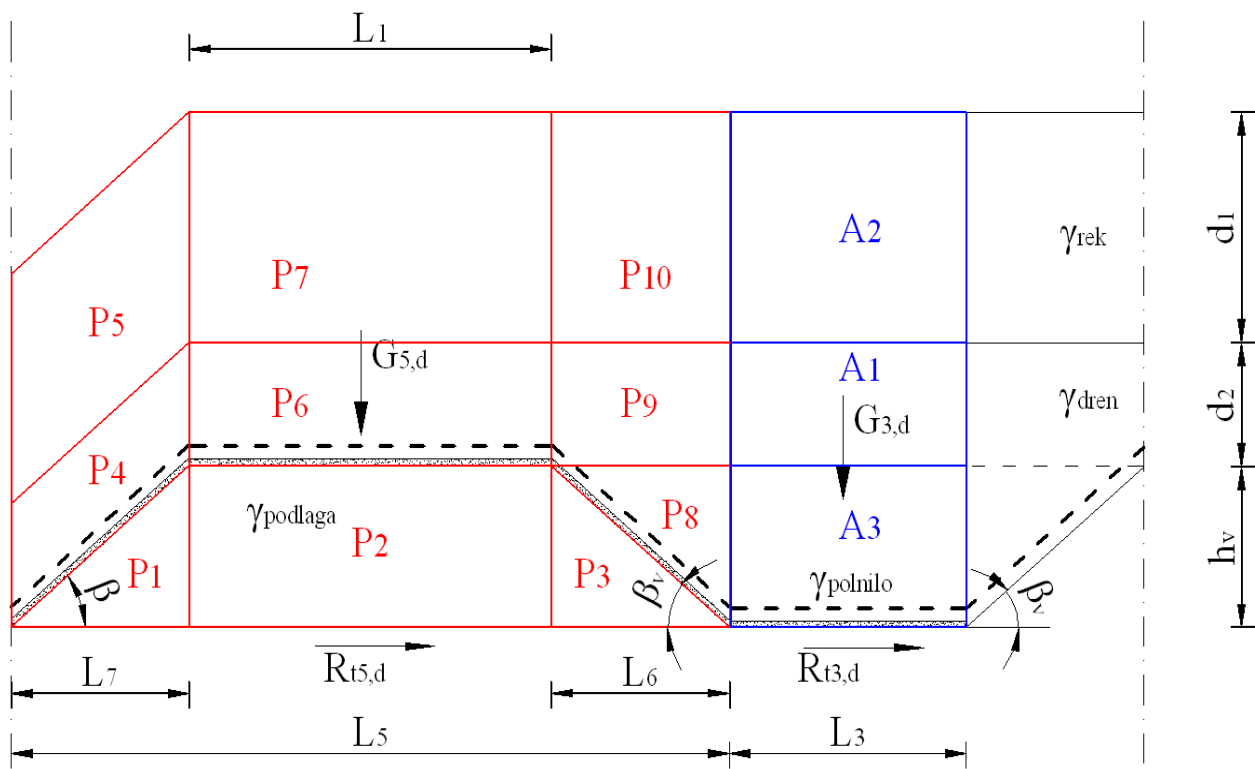
$$P_9 = L_6 \cdot d_2$$

$$P_{10} = L_6 \cdot d_1$$

$$A_1 = L_3 \cdot d_2$$

$$A_2 = L_3 \cdot d_1$$

$$A_3 = L_3 \cdot h_v$$



3.1 Račun varnosti proti poružitvi krone brežine za naklon 1:2 (26,6)

Upor vzdolž L3

$$R_{t3,d,spodaj} = (\sigma_{vi,d} \cdot \tan \delta_{i,d} + a_{i,d}) \cdot L_i$$
$$R_{t3,d,spodaj} = (A_1 \cdot \gamma_{dren} + A_2 \cdot \gamma_{rek} + A_3 \cdot \gamma_{polnilo}) \cdot (\tan \delta) / \gamma_{\delta} = 9,46 \text{ KN/m'}$$

Upor vzdolž L5

$$R_{t5,d} = (\sigma_{vi,d} \cdot \tan \varphi'_{i,d} + c'_{i,d}) \cdot L_i$$
$$R_{t5,d} = ((P_1 \cdot \gamma_{podlaga} + P_2 \cdot \gamma_{podlaga} + P_3 \cdot \gamma_{podlaga}) + (P_4 \cdot \gamma_{dren} + P_5 \cdot \gamma_{rek}) + (P_6 \cdot \gamma_{dren} + P_7 \cdot \gamma_{rek}) + P_8 \cdot \gamma_{polnilo}) + (P_9 \cdot \gamma_{dren} + P_{10} \cdot \gamma_{rek}) \cdot \tan \varphi / \gamma_{\varphi} = 67,0 \text{ KN/m'}$$

$$\Sigma R_{ti,d} = R_{t3,d,spodaj} + R_{t5,d} = 76,47 \text{ KN/m'}$$

$$\Sigma R_{ti,d} \geq R_{b,d} \cdot \cos \beta = 55,14 \text{ KN/m}$$

$$\Sigma R_{ti,d} = 76,47 \text{ KN/m} < 55,14 \text{ KN/m'} \quad \text{VARNO}$$

3.2 Račun varnosti proti poružitvi krone brežine za naklon 1:1,5 (33,7°)

Upor vzdolž L3

$$R_{t3,d,spodaj} = (\sigma_{vi,d} \cdot \tan \delta_{i,d} + a_{i,d}) \cdot L_i$$
$$R_{t3,d,spodaj} = (A_1 \cdot \gamma_{dren} + A_2 \cdot \gamma_{rek} + A_3 \cdot \gamma_{polnilo}) \cdot (\tan \delta) / \gamma_{\delta} = 9,46 \text{ KN/m'}$$

Upor vzdolž L5

$$R_{t5,d} = (\sigma_{vi,d} \cdot \tan \varphi'_{i,d} + c'_{i,d}) \cdot L_i$$
$$R_{t5,d} = ((P_1 \cdot \gamma_{podlaga} + P_2 \cdot \gamma_{podlaga} + P_3 \cdot \gamma_{podlaga}) + (P_4 \cdot \gamma_{dren} + P_5 \cdot \gamma_{rek}) + (P_6 \cdot \gamma_{dren} + P_7 \cdot \gamma_{rek}) + P_8 \cdot \gamma_{polnilo}) + (P_9 \cdot \gamma_{dren} + P_{10} \cdot \gamma_{rek}) \cdot \tan \varphi / \gamma_{\varphi} = 55,53 \text{ KN/m'}$$

$$\Sigma R_{ti,d} = R_{t3,d,spodaj} + R_{t5,d} = 65,0 \text{ KN/m'}$$

$$\Sigma R_{ti,d} \geq R_{b,d} \cdot \cos \beta = 99,10 \text{ KN/m}$$

$$\Sigma R_{ti,d} = 65,0 \text{ KN/m} < 99,10 \text{ KN/m'}$$

PORUŠITEV!!! (potrebno je povečati dimenzije sidrnega jarka in krone brežine)

3.3 Račun varnosti proti poružitvi krone brežine za naklon 1:1 (45°)

Upor vzdolž L3

$$R_{t3,d,spodaj} = (\sigma_{vi,d} \cdot \tan \delta_{i,d} + a_{i,d}) \cdot L_i$$
$$R_{t3,d,spodaj} = (A_1 \cdot \gamma_{dren} + A_2 \cdot \gamma_{rek} + A_3 \cdot \gamma_{polnilo}) \cdot (\tan \delta) / \gamma_{\delta} = 9,46 \text{ KN/m'}$$

Upor vzdolž L5

$$R_{t5,d} = (\sigma_{vi,d} \cdot \tan \varphi'_{i,d} + c'_{i,d}) \cdot L_i$$

$$R_{t5,d} = ((P_1 \cdot \gamma_{podlaga} + P_2 \cdot \gamma_{podlaga} + P_3 \cdot \gamma_{podlaga}) + (P_4 \cdot \gamma_{dren} + P_5 \cdot \gamma_{rek}) + (P_6 \cdot \gamma_{dren} + P_7 \cdot \gamma_{rek}) + P_8 \cdot \gamma_{polnilo}) + (P_9 \cdot \gamma_{dren} + P_{10} \cdot \gamma_{rek}) \cdot \tan \varphi / \gamma_\varphi = 44,39 \text{ KN/m'}$$

$$\Sigma R_{ti,d} = R_{t3,d,spodaj} + R_{t5,d} = 53,85 \text{ KN/m'}$$

$$\Sigma R_{ti,d} \geq R_{b,d} \cdot \cos \beta = 124,03 \text{ KN/m}$$

$$\Sigma R_{ti,d} = 53,85 \text{ KN/m} < 124,03 \text{ KN/m'}$$

PORUŠITEV!!! (potrebno je povečati dimenzije sidrnega jarka in krone brežine)

4 RAČUN POTREBNIH DIMENZIJ SIRNEGA JARKA IN KRONE BREŽINE

4.1 Račun za naklon brežine 1:1,5 (33,7°)

4.1.1 Račun za sidrni jarek

Potrebne dimenzije sidrnega jarka in krone brežine

Širina krone brežine	L_1	3,0 m
Globina jarka	h_v	1,0 m
Dolžina dna jarka	L_3	1,6 m

Upor vzdolž L1 (upošteva se samo upor na spodnji strani):

$$R_{t1,d,spodaj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1) \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a) \cdot L_1 = 29,72 \text{ KN/m'}$$

Upor vzdolž L2:

$$R_{t2,d,spodaj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v \cdot 1/2) \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a) \cdot L_2 \cdot \cos \beta$$
$$R_{t2,d,spodaj} = 20,35 \text{ KN/m'}$$

$$R_{t2,d,zgoraj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v \cdot 1/2) \cdot \lambda \cdot (\tan \phi'_k) / \gamma_\phi + c_k / \gamma_c) \cdot L_2 \cdot \cos \beta$$
$$R_{t2,d,zgoraj} = 18,32 \text{ KN/m'}$$

Upor vzdolž L3:

$$R_{t3,d,spodaj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v) \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a) \cdot L_3 = 27,59 \text{ KN/m'}$$

$$R_{t3,d,zgoraj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v) \cdot \lambda \cdot (\tan \phi'_k) / \gamma_\phi + c_k / \gamma_c) \cdot L_3 = 24,83 \text{ KN/m'}$$

Upor skupaj:

$$\Sigma R_{ti,d} = R_{t1,d,spodaj} + R_{t2,d,spodaj} + R_{t2,d,zgoraj} + R_{t3,d,spodaj} + R_{t3,d,zgoraj} = 120,80 \text{ KN/m'}$$

$$R_{t,d} \geq R_{b,d}$$

$$\Sigma R_{ti,d} = 120,80 \text{ KN/m} > 119,12 \text{ KN/m'}$$

VARNO

4.1.2 Račun za krono brežine

Upor vzdolž L3

$$R_{t3,d,spodaj} = (\sigma_{vi,d} \cdot \tan \delta_{i,d} + a_{i,d}) \cdot L_i$$

$$R_{t3,d,spodaj} = (A_1 \cdot \gamma_{dren} + A_2 \cdot \gamma_{rek} + A_3 \cdot \gamma_{polnilo}) \cdot (\tan \delta) / \gamma_\delta = 27,59 \text{ KN/m'}$$

Upor vzdolž L5

$$R_{t5,d} = (\sigma_{vi,d} \cdot \tan \varphi'_{i,d} + c'_{i,d}) \cdot L_i$$

$$R_{t5,d} = ((P_1 \cdot \gamma_{podlaga} + P_2 \cdot \gamma_{podlaga} + P_3 \cdot \gamma_{podlaga}) + (P_4 \cdot \gamma_{dren} + P_5 \cdot \gamma_{rek}) + (P_6 \cdot \gamma_{dren} + P_7 \cdot \gamma_{rek}) + P_8 \cdot \gamma_{polnilo}) + (P_9 \cdot \gamma_{dren} + P_{10} \cdot \gamma_{rek}) \cdot \tan \varphi / \gamma_\varphi$$

$$R_{t5,d} = 107,24 \text{ KN/m'}$$

$$\Sigma R_{ti,d} = R_{t3,d,spodaj} + R_{t5,d} = 134,83 \text{ KN/m'}$$

$$\Sigma R_{ti,d} \geq R_{b,d} \cdot \cos \beta = 99,10 \text{ KN/m}$$

$$\Sigma R_{ti,d} = 134,83 \text{ KN/m} > 99,10 \text{ KN/m'}$$

VARNO

4.2 Račun za naklon brežine 1:1 (45°)

4.2.1 Račun za sidrni jarek

Potrebne dimenzije sidrnega jarka in krone brežine

Širina krone brežine	L_1	4,6 m
Globina jarka	h_v	1,0 m
Dolžina dna jarka	L_3	3,2 m

Upor vzdolž L1 (upošteva se samo upor na spodnji strani):

$$R_{t1,d,spodaj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1) \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a) \cdot L_1 = 45,56 \text{ KN/m'}$$

Upor vzdolž L2:

$$R_{t2,d,spodaj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v \cdot 1/2) \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a) \cdot L_2 \cdot \cos$$

$$R_{t2,d,spodaj} = 13,57 \text{ KN/m'}$$

$$R_{t2,d,zgoraj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v \cdot 1/2) \cdot \lambda \cdot (\tan \varphi'_k) / \gamma_\varphi + c_k / \gamma_c) \cdot L_2 \cdot \cos \beta$$

$$R_{t2,d,zgoraj} = 12,22 \text{ KN/m'}$$

Upor vzdolž L3:

$$R_{t3,d,spodaj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v) \cdot (\tan \delta_k) / \gamma_\delta + a_k / \gamma_a) \cdot L_3 = 55,18 \text{ KN/m'}$$

$$R_{t3,d,zgoraj} = ((\gamma_{k,dren} \cdot d_2 + \gamma_{k,rek} \cdot d_1 + \gamma_{k,polnilo} \cdot h_v) \cdot \lambda \cdot (\tan \varphi'_k) / \gamma_\varphi + c_k / \gamma_c) \cdot L_3 = 49,66 \text{ KN/m'}$$

Upor skupaj:

$$\Sigma R_{ti,d} = R_{t1,d,spodaj} + R_{t2,d,spodaj} + R_{t2,d,zgoraj} + R_{t3,d,spodaj} + R_{t3,d,zgoraj} = 176,19 \text{ KN/m'}$$

$$R_{t,d} \geq R_{b,d}$$

$$\Sigma R_{ti,d} = 176,19 \text{ KN/m} > 175,41 \text{ KN/m}'$$

VARNO

4.2.2 Račun za krono brežine

Upor vzdolž L3

$$R_{t3,d,spodaj} = (\sigma_{vi,d} \cdot \tan \delta_{i,d} + a_{i,d}) \cdot L_i$$

$$R_{t3,d,spodaj} = (A_1 \cdot \gamma_{dren} + A_2 \cdot \gamma_{rek} + A_3 \cdot \gamma_{polnilo}) \cdot (\tan \delta) / \gamma_{\delta} = 55,18 \text{ KN/m}'$$

Upor vzdolž L5

$$R_{t5,d} = (\sigma_{vi,d} \cdot \tan \varphi'_{i,d} + c'_{i,d}) \cdot L_i$$

$$R_{t5,d} = ((P_1 \cdot \gamma_{podlaga} + P_2 \cdot \gamma_{podlaga} + P_3 \cdot \gamma_{podlaga}) + (P_4 \cdot \gamma_{dren} + P_5 \cdot \gamma_{rek}) + (P_6 \cdot \gamma_{dren} + P_7 \cdot \gamma_{rek}) + P_8 \cdot \gamma_{polnilo}) + (P_9 \cdot \gamma_{dren} + P_{10} \cdot \gamma_{rek}) \cdot \tan \varphi / \gamma_{\varphi}$$

$$R_{t5,d} = 121,59 \text{ KN/m}'$$

$$\Sigma R_{ti,d} = R_{t3,d,spodaj} + R_{t5,d} = 176,76 \text{ KN/m}'$$

$$\Sigma R_{ti,d} \geq R_{b,d} \cdot \cos \beta = 124,03 \text{ KN/m}$$

$$\Sigma R_{ti,d} = 176,76 \text{ KN/m} > 124,03 \text{ KN/m}'$$

VARNO