

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Kodre, J. H., 2015. Geotehnične analize kasete za odlaganje bagranega materiala v Luki Koper. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Logar, J., somentor Kuder, S.): 19 str.

Datum arhiviranja: 23-10-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Kodre, J. H., 2015. Geotehnične analize kasete za odlaganje bagranega materiala v Luki Koper. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Logar, J., co-supervisor Kuder, S.): 19 pp.

Archiving Date: 23-10-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*

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



UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO

Kandidatka:

JELKA HELENA KODRE

**GEOTEHNIČNE ANALIZE KASETE ZA ODLAGANJE
BAGRANEGA MATERIALA V LUKI KOPER**

Diplomska naloga št.: 239/B-GR

**GEOTECHNICAL ANALYSIS OF A SETTLING PIT
FOR THE DISPOSAL OF DREDGED MATERIAL IN
PORT OF KOPER**

Graduation thesis No.: 239/B-GR

Mentor:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

asist. mag. Sebastjan Kuder

Ljubljana, 20. 10. 2015

IZJAVE

Podpisana **JELKA HELENA KODRE** izjavljam, da sem avtorica diplomskega dela z naslovom: »Geotehnične analize kasete za odlaganje bagranega materiala v Luki Koper«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju.

Ljubljana, 1. september 2015

Jelka Helena Kodre

BIBLIOGRAFSKA – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 624.131(497.4Koper)(043.2)
Avtor: Jelka Helena Kodre
Mentor: izr. prof. dr. Janko Logar
Somentor: asist. mag. Sebastjan Kuder
Naslov: Geotehnične analize kasete za odlaganje bagranega materiala v Luki Koper
Tip dokumenta: Diplomaska naloga – Univerzitetni študij
Obseg in oprema: 19 str., 4 pregl., 11 sl.
Ključne besede: Luka Koper, nasip, stabilnostna analiza, kasete, usedalne kasete,

IZVLEČEK

Diplomska naloga obravnava geotehnične analize ene od kaset, ki jih v Luki Koper uporabljajo za odlaganje materiala, izkopanega pri poglobljanju morskega dna. Kasete stojijo na mehkih tleh v Ankaranski Bonifiki ob reki Rižani. V nalogi so, na podlagi Evrokod standardov, ocenjene lastnosti tal na podlagi dilatometrijskih in laboratorijskih preiskav, izvedenih na območju pod kaseto in v njeni okolici. S pomočjo teh ocen so izračunani pričakovani posedki in globalna stabilnost kasete. Globalna stabilnost je izračunana s programom Rocscience Slide za dve fazi: takoj ko so postavljeni obrobni nasipi in ko je kasete napolnjena s konsolidiranim materialom.

Za obe fazi rezultati kažejo, da objekt globalno ni varen. Na koncu naloge je predlog nasipa podobnih dimenzij, na enakih tleh, ki bi bil sprejemljivo varen.

Vsi izračuni v nalogi so narejeni na podlagi Evrokod standardov.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624.131(497.4Koper)(043.2)
Author: Jelka Helena Kodre
Supervisor: Assoc. prof. Janko Logar, Ph. D.
Co-supervisor: Assist. Sebastjan Kuder, M. Sc.
Title: Geotechnical analysis of a settling pit for the disposal of dredged material in Port of Koper
Document type: Bachelor thesis – University level
Notes: 19 p., 4 tab., 11 fig.
Key words: Port of Koper, embankment, stability analysis, settling pit

ABSTRACT

The thesis deals with a geotechnical analysis of one of the settling pits that is used in the Luka Koper seaport, for disposal of dredged material which has accumulated in the course of waterway maintenance and deepening. The settling pit is located on the soft marshy ground of Ankaranska Bonifika next to the Rižana River. It is surrounded by watertight embankments on all sides. In the thesis, there are estimations of the ground properties based on dilatometer and laboratory tests of the underlying soil and in close proximity to the pit. The estimated properties are then used in calculations of the expected ground settlement and overall stability of the structure. The computer program Rocscience Slide is used to calculate the overall stability of the constructed pit. The first calculation evaluates an empty pit while in the second calculation the pit is filled with the consolidated material.

The calculations for both stages of the pit reveal that the structure is not safe. An example of an acceptably safe embankment with similar dimensions, built on the same ground is provided.

All the calculations estimates in this work are done in accordance with the Eurocode standards.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju izr. prof. dr. Janku Logarju, ki mi je pri izdelavi diplomske naloge svetoval in me usmerjal, ter somentorju asist. mag. Sebastjanu Kudru za pomoč in nasvete pri računskem delu naloge.

Zahvaljujem se tudi svojim staršem za podporo v času študija.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKA – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
KAZALO OKRAJŠAV	VII
KAZALO SLIK	VIII
KAZALO TABEL	IX
1 UVOD	1
2 OPIS PROJEKTA	2
3 TEORETIČNA IZHODIŠČA	3
3.1 ANALIZA REZULTATOV PREISKAV – KARAKTERISTIČNE VREDNOSTI IN NAJVERJETNEJŠE VREDNOSTI	3
3.2 Posedki	4
3.3 Dodatne napetosti	5
3.4 Projektni pristop 3.....	6
3.5 Globalna stabilnost krožne drsine	7
4 RAČUNSKI DEL	9
4.1 Analiza rezultatov preiskav	9
4.2 Konsolidacija	12
4.2.1 Prva faza	12
4.2.2 Druga faza	12
4.2.3 Tretja faza.....	14
4.3 Globalna stabilnost	14
4.3.1 Druga faza	15
4.3.2 Tretja faza.....	16
4.4 Ukrepi za povečanje varnosti.....	17
5 ZAKLJUČEK	18
6 VIRI	19

SEZNAM OKRAJŠAV

PGD	projekt za gradbeno dovoljenje
SIST	Slovenski inštitut za standardizacijo
EC	evrokod
MSN	mejno stanje nosilnosti
MSU	mejno stanje uporabnosti
C_u, C_{u_k}, C_{u_d}	nedrenirana strižna trdnost (karakteristična in projektna vrednost)
M, M_k, M_d	modul stisljivosti (karakteristična in projektna vrednost)
X_k	karakteristična vrednost iskanega parametra
X_{mean}	srednja vrednost iskanega parametra
s	standardna deviacija
k_n	statistični koeficient, odvisen od števila rezultatov preiskav
V_X	koeficient variacije
σ_v	vertikalne napetosti
z	globina merjena od nivoja tal
$\gamma, \gamma_k, \gamma_d$	prostorninska teža zemljine (karakteristična in projektna vrednost)
σ_v'	efektivne napetosti
u	porni tlaki
γ_w	prostorninska teža vode
z_w	globina merjena od nivoja talne vode
ρ	končni posedek tal,
$\Delta\sigma_v$	lokalne vrednosti dodatnih vertikalnih napetosti
E_{oed}	edometrski modul, ki je enak modulu stisljivosti (M)
R_d	projektna odpornost
E_d	projektna obremenitev
Γ	stopnja izkoriščenosti
q	obtežba
$\varphi, \varphi_k, \varphi_d$	strižni kot (karakteristična in projektna vrednost)

KAZALO SLIK

Slika 1: Parcela z vrisano lokacijo kasete.....	1
Slika 2: Račun napetosti pod trakasto obtežbo [4].....	6
Slika 3: Legenda oznak diagramov	10
Slika 4: Diagrama nedrenirane strižne trdnosti in modula elastičnosti	10
Slika 5: Diagram prostorninske teže.....	11
Slika 6: Prerez računskega modela nasipa	12
Slika 7: Diagrami dodatnih napetosti pod nasipom.....	13
Slika 8: Izračunani posedki pod nasipom	13
Slika 9: Globalna stabilnost v drugi fazi.....	16
Slika 10: Globalna stabilnost v tretji fazi	16
Slika 11: Primer rešitve s podaljšano bermo, geosintetikom in piloti.....	17

KAZALO TABEL

Tabela 1: Karakteristične vrednosti lastnosti tal po slojih	11
Tabela 2: Posedki pod nasipom	14
Tabela 3: Posedki pod napolnjeno kaseto.....	14
Tabela 4: Projektne vrednosti lastnosti tal.....	15

1 UVOD

Pri poglobljanju morskega dna zaradi obnov in posodobitev plovni poti v Luki Koper nastajajo velike količine bagranega materiala. Ta material se odlaga v kasete na območju depresije v Ankaranski Bonifiki severno od reke Rižane.

Ker odlagani material vsebuje veliko vode, morajo biti nasipi, ki obdajajo kaseto, vodotesni. Ko se suh material poseda na dno in konsolidira, se voda izceja skozi dve laguni in izteka v bližnjo reko Rižano. Ko bo kaseto zapolnjena, je predvidena izravnava terena na višino vrhnje kote nasipa. [1]

V diplomski nalogi bom preverila stabilnost nasipov, ki obdajajo kaseto. Najprej bom iz rezultatov raziskav tal na terenu, predvidenem za izgradnjo kasete in v okolici, ocenila mehanske lastnosti tal, nato pa na podlagi teh ocen izračunala predvidene posedke tal pod nasipom in pod napolnjeno kaseto ter ocenila globalno stabilnost projekta.

Globalno stabilnost je potrebno računati za tri faze izgradnje in uporabe kaset, saj lahko pride do porušitve v katerikoli izmed njih. Prva faza predstavlja obstoječe stanje, druga izdelavo nasipov, tretja pa zapolnitev kasete z bagranim materialom do kote 3,0 metrov nadmorske višine.



Slika 1: Parcela z vrisano lokacijo kasete

2 OPIS PROJEKTA

V tehničnem poročilu za PGD so o projektu navedeni naslednji podatki.

Območje je neposeljeno in namenjeno kmetijski rabi.

Obstoječi nivo terena je med -0,6 in 0,6 m nadmorske višine. Predvidena končna zgornja kota nasipa znaša 3,5 m n.v. Pričakovani so posedki 0,3 m, zato je predvideno nadvišanje nasipa za 0,5 m. Začasna kota bo torej 4,0 m. V primeru, da bodo končni posedki manjši od 0,5 m, bo potrebno nasip znižati, ker je v državnem prostorskem načrtu predvidena kota izravnave 3,5 m.

Stene nasipa bodo izvedene v naklonu 2:3. Dno nasipa do višine 0,5 m bo razširjeno v 3 m široko bermo v naklonu 1:1. Skupna dolžina nasipa znaša 1237 m.

Ker bo odlagani material vseboval veliko vode, je zelo pomembno, da so nasipi vodotesni, zato bo za njihovo izvedbo in za izvedbo dna kasete uporabljen fliš natanko določenih frakcij, da bo dosežena prepustnost manjša od 10^{-6} cm/s . Kontrolirano odvajanje vode bo potekalo s pomočjo dveh lagun na jugozahodni in jugovzhodni strani, kjer se bo voda začasno akumulirala in nato odtekla v reko Rižano.

Površina dna kasete znaša 77621 m², končna površina kasete, zapolnjene do višine 3,0 m nadmorske višine, pa 84116 m². Končni posedek odloženega materiala je ocenjen na 0,5 m. Predvidena bruto količina deponiranega materiala po konsolidaciji je 197600 m³, volumen odvedene vode iz kasete pa 420000 m³.

Bagrani material bo v kaseto dovajan po tlačnem cevovodu izmenično na severovzhodnem in severozahodnem delu kasete. Na vstopnem delu se bo material začel posedati, voda pa bo odtekala proti lagunam na južnem delu kaset.

Vsi podatki v tem poglavju so izključno iz vira 1.

3 TEORETIČNA IZHODIŠČA

Vsi izračuni v tej nalogi so narejeni na osnovi Evrokod standardov in sicer SIST EN 1990 Evrokod 0 – osnove projektiranja, SIST EN 1991 Evrokod 1 – vplivi na konstrukcije in SIST EN 1997 Evrokod 7 – geotehnično projektiranje. Za razlago teh standardov sem uporabila Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih, Designers' Guide to EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical design – General rules in Eurocode 7: Geotechnical Design Worked examples.

3.1 ANALIZA REZULTATOV PREISKAV – KARAKTERISTIČNE VREDNOSTI IN NAJVERJETNEJŠE VREDNOSTI

Standard Evrokod pozna dve osnovni mejni stanji, mejno stanje nosilnosti (MSN) in mejno stanje uporabnosti (MSU).

V mejnem stanju nosilnosti preverjamo stabilnost celotnega objekta ali njegovih posameznih delov. Stabilnost vedno računamo z določeno verjetnostjo, kot kombinacijo verjetnosti odstopanja lastnosti materialov, velikosti zunanjih vplivov in napake v računskem postopku. Zato pri računu uporabimo karakteristične vrednosti, ki so najneugodnejše z določeno verjetnostjo (več o tem v odstavku o karakterističnih vrednostih) in jih pomnožimo (obtežbe) ali delimo (materialne lastnosti, odpornosti) z delnim varnostnim faktorjem. V primeru več spremenljivih obtežb, za katere je verjetnost, da se bodo pojavile hkrati v zelo neugodni kombinaciji, majhna, uporabimo še kombinacijske faktorje, ki te obtežbe reducirajo. Tako na podlagi računa v mejnem stanju nosilnosti lahko zagotovimo, da bo objekt obstal, razen v primeru dogodkov manjše verjetnosti, kot je dovoljena teoretična verjetnost porušitve.

Po standardih Evrokod je karakteristična vrednost tista vrednost, za katero velja največ 5 % verjetnost, da bo dejanska vrednost bolj neugodna. Pri interpretaciji preiskav se to običajno upošteva tako, da je največ 5 % vseh rezultatov bolj neugodnih od izbrane karakteristične vrednosti. Mejo lahko postavimo pri zgornjih ali spodnjih 5 % rezultatov, odvisno od tega, kako v računu deluje posamezen parameter, ugodno ali neugodno.

Če nas je pri mejnem stanju nosilnosti zanimala najneugodnejša še dovoljena kombinacija dogodkov, nas pri mejnem stanju uporabnosti zanima najverjetnejša. Zanima nas čim bolj točen podatek, kakšni bodo dejanski pomiki, razpoke in deformacije. Zato Evrokod pri računih v MSU ne predpiše dodatnih varnostnih faktorjev, ampak običajno uporablja kar karakteristične vrednosti.

V geotehniko imamo pri preiskavah običajno zelo velik raztros rezultatov posameznih meritev, zato se 95 % karakteristična vrednost pogosto močno odmakne od najverjetnejše. EC 7 2.4.5.2 govori o izbiri karakteristične vrednosti geotehničnih parametrov. Poudarja, da je karakteristično vrednost geotehničnega parametra treba izbrati kot varno oceno srednje vrednosti, ki vpliva na pojav mejnega stanja. Dovoljuje tudi uporabo statističnih metod pod pogojem, da je računaska verjetnost, da je vrednosti, ki bistveno vpliva na obravnavano mejno stanje, še slabša, manjša od 5%. Izbira karakteristične vrednosti mora biti tudi odvisna od projekta. Potrebno je presoditi, ali obstaja nevarnost lokalne porušitve. Če je objekt dovolj tog, se obtežba iz lokalno šibkejšega dela zemljine lahko prenese na ostalo površino, zato nas zanima vrednost, ki je bližje povprečni vrednosti parametra na območju objekta; če pa obstaja nevarnost lokalne porušitve objekta, nas zanima najnižja vrednost na majhnem volumnu zemljine. Statistične metode, ki jih najpogosteje najdemo v literaturi, so [2,3]:

- Schneiderjeva enačba: $X_k = X_{mean} - 0,5 \cdot s$, kjer so X_{mean} srednja vrednost iskanega parametra, X_k karakteristična vrednost, s standardna deviacija,
- $X_k = X_{mean} \cdot (1 - k_n \cdot V_X)$, kjer je k_n statistični koeficient, odvisen od števila rezultatov preiskav, V_X pa koeficient variacije.

3.2 POSEDKI

Do posedkov tal pride zaradi iztiskanja vode in zraka, ki sta v porah med zrnca zemljine, pod obtežbo na površju.

Preden tla obtežimo, so vertikalne napetosti v njih odvisne od prostorninske teže zemljine in od globine [4]:

$$\sigma_v = \int_0^z \gamma(z) \cdot dz$$

kar je vsota debelin slojev pomnoženih z njihovo prostorninsko težo. Tem napetostim rečemo tudi totalne vertikalne napetosti (σ_v) in so sestavljene iz efektivnih napetosti (σ'_v) in pornih tlakov (u). Efektivne napetosti so napetosti med posameznimi zrnca zemljine, porni tlaki pa so vzgonski tlaki vode v porah zemljine, ki te napetosti zmanjšujejo.

$$u = \gamma_w \cdot z_w,$$

$$\sigma'_v = \sigma_v - u$$

Takoj po nanosu vso obtežbo prevzame voda v porah in porni tlaki se povečajo za dodatne porne tlake (Δu), ki so v normalno konsolidiranih zasičenih tleh enaki dodatnim napetostim

zaradi obtežbe v tej točki ($\Delta\sigma_v$). Zaradi tlakov, ki so večji od hidrostatskih vodnih tlakov, se voda začne izcejati in vedno večji del dodatnih napetosti prevzemajo napetosti med zrni. Ko je proces končan, so dodatni porni tlaki enaki 0, efektivne napetosti pa se povečajo za $\Delta\sigma_v$. Totalne napetosti, ki so vsota efektivnih napetosti in pornih tlakov, se pod obtežbo na začetku povečajo za $\Delta\sigma_v$, potem pa ostajajo enake. Temu procesu pravimo konsolidacija, njena posledica je posedanje terena za toliko, kolikor vode in zraka se izcedi iz zemljine. Trajanje konsolidacije je odvisno od prepustnosti zemljine in od tega, kakšne možnosti ima voda za izcejanje (recimo, ali se lahko izceja samo na površje ali pa imamo kakšne dodatne drenaže, ki skrajšajo njeno pot).

Velikost posedkov računamo po naslednji enačbi:

$$\rho = \int_0^z \frac{\Delta\sigma_v}{E_{oed}} \cdot dz,$$

Kjer so:

ρ končni posedek tal,

$\Delta\sigma_v$ lokalne vrednosti dodatnih vertikalnih napetosti,

E_{oed} edometriški modul, ki je enak modulu stisljivosti (M).

Ker bi radi predvideli dejanske posedke pod nasipom in pod bagranim materialom, jih računamo v mejnem stanju uporabnosti.

3.3 DODATNE NAPETOSTI

Potek dodatnih napetosti v tleh je odvisen od oblike obtežbe, ki jih povzroča. V tej diplomski nalogi bom uporabila dva različna modela, s katerima bom poenostavila vplive obtežbe na zemljino.

Obtežbo znotraj kasete, pod bagranim materialom, sem aproksimirala z brezkraino obtežbo, kar je dovoljeno in smiselno, če je najkrajša dimenzija obtežbe vsaj trikrat večja od debeline temeljnih tal. Velikost obtežbe je enaka prostorninski teži bagranega materiala, pomnoženi z njegovo debelino. To je najpreprostejši model, pri katerem so dodatne vertikalne napetosti kar enake velikosti obtežbe in so neodvisne od globine.

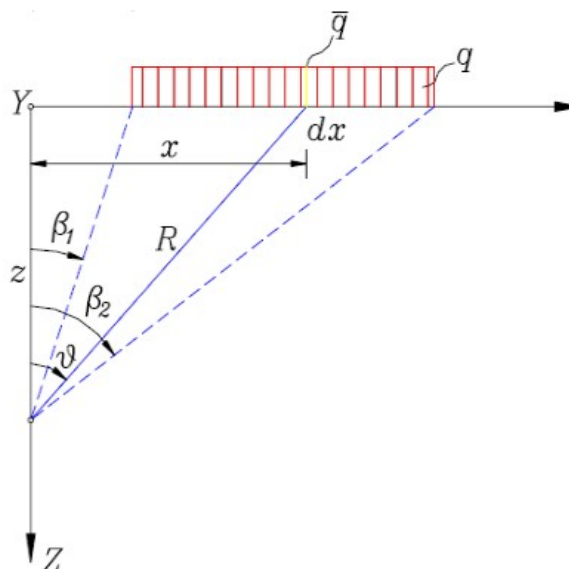
Nasip sem nadomestila z enakomerno trakasto obtežbo, ki ima eno dimenzijo brezkraino, širina pa je enaka širini krone plus polovici širine brežin, ki sta izdelani v naklonu. Na ta način trapezni prerez nasipa nadomestim s pravokotnim enake površine. Tako velikost obtežbe ostane enaka, razpored pa se rahlo spremeni, ker namesto linearne razporeditve obtežbe

dobim konstantno. Napetosti se spreminjajo z globino in z oddaljenostjo od osi nasipa. Računamo jih po naslednjih formulah [4]:

$$\Delta\sigma_v = \frac{q}{\pi} \cdot (2\varepsilon + \cos(2\psi) \cdot \sin(2\varepsilon))$$

$$2\psi = \beta_2 + \beta_1$$

$$2\varepsilon = \beta_2 - \beta_1$$



Slika 2: Račun napetosti pod trakasto obtežbo [4]

3.4 PROJEKTNI PRISTOP 3

Stabilnost računamo po mejnem stanju nosilnosti, natančneje po projektnem pristopu 3 (PP3). Glavni pogoj mejnega stanja nosilnosti je projektna odpornost, večja ali enaka projektni obremenitvi. Torej

$$E_d \leq R_d,$$

kjer je: $E_d = E_k \cdot \gamma_E$ in $R_d = R_k \cdot \gamma_R$.

Po projektnem pristopu 3 so:

delni varnostni faktor za neugodne stalne vplive $\gamma_{G,sup} = 1,35$;

delni varnostni faktor za ugodne stalne vplive $\gamma_{G,inf} = 1,00$;

delni varnostni faktor za ugodne spremenljive vplive $\gamma_{Q,inf} = 0,00$;

delni varnostni faktor za neugodne spremenljive vplive $\gamma_{Q,sup} = 1,50$,

delni varnostni faktor za trenje $\gamma_\varphi = 1,25$;

delni varnostni faktor za kohezijo $\gamma_c = 1,25$;

delni varnostni faktor za nedrenirano strižno trdnost $\gamma_{cu} = 1,40$;

varnostni faktor za odpornost $\gamma_R = 1,00$.

$\gamma_R = 1,00$ pomeni, da pri tem pristopu, za razliko od projektne pristopa 2, končne odpornosti ne reduciramo, ampak reduciramo posamezne parametre odpornosti zemljine pred začetkom računanja. [5]

3.5 GLOBALNA STABILNOST KROŽNE DRSINE

Za račun globalne stabilnosti v MSN nacionalni dodatek k Evrokodu predpisuje projektne pristop 3, kar pomeni, da materialne lastnosti reduciramo z delnimi faktorji varnosti, in nam zato ni treba reducirati končne odpornosti. Osnovna zahteva mejnega stanja nosilnosti je [5]:

$$E_d \leq R_d \text{ ali } \frac{E_d}{R_d} = \Gamma \leq 1$$

Ker bomo pri računu globalne stabilnosti računali ravnovesje momentov, E_d in R_d izrazimo z razmerjem pripadajočih momentov in zaradi uporabe PP3 (momenta reaktivnih sil nam ni treba dodatno reducirati), lahko zahtevo mejnega stanja nosilnosti zapišemo takole:

$$\Gamma = \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1,$$

kjer je Γ , ki sem ga že prej omenila, stopnja izkoriščenosti, njegova obratna vrednost F pa je globalni faktor varnosti. Ker smo varnost že prej upoštevali, po Evrokodu zadošča, da je $F = 1,0$.

Globalna stabilnost v geotehniko običajno pomeni stabilnost tal proti porušitvi po določeni najverjetnejši drsni ploskvi. Pri nasipih to ploskev običajno aproksimiramo z drsino v obliki krožnega loka, po kateri del drsine zdrsne glede na ostali del zaradi pomanjkanja strižne odpornosti. Ker gre samo za zasuk okoli središča te namišljene krožnice, lahko varnost predstavimo z razmerjem momentov. Eden od načinov računanja faktorja varnosti krožne drsine je znana Bishopova enačba [5]:

$$F = \frac{1}{\sum_{i=1}^n [(W_i + Q_i) \cdot \sin \alpha_i]} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{c_i \cdot b_i + (W_i + Q_i - u_i \cdot b_i) \cdot \tan \varphi_i}{\cos \alpha_i + \frac{\tan \varphi_i \cdot \sin \alpha_i}{F}}$$

Kjer so:

n – število lamel,

W_i – teža lamele

Q_i – navpična sila na površini v težišču lamele,

b_i – širina lamele,

α_i – naklon dna lamele,

c_i in φ_i – strižni karakteristiki na dnu lamele,

u_i – porni tlak v dnu lamele in

F – globalni faktor varnosti.

Bishopova enačba je samo eden od načinov za ta izračun, vendar mora biti drsina, za katero bo računana varnost, pri vseh že vnaprej poznana.

V primeru, da drsina ni že vnaprej določena, je potrebno preveriti več drsin, po krožnicah z različnimi središči in polmeri. Ta račun si lahko olajšamo z uporabo kakšnega od temu namenjenih računalniških programov, recimo Rocscience Slide. Program pri podani geometriji prereza, lastnostih zemljine, obteži in podatkih o predvidenih dodatnih ukrepih, kot so uporaba sider in geosintetikov, določi varnost za drsine, ki ležijo na krožnicah, katerih središča ležijo v mreži, ki jo določi uporabnik.

4 RAČUNSKI DEL

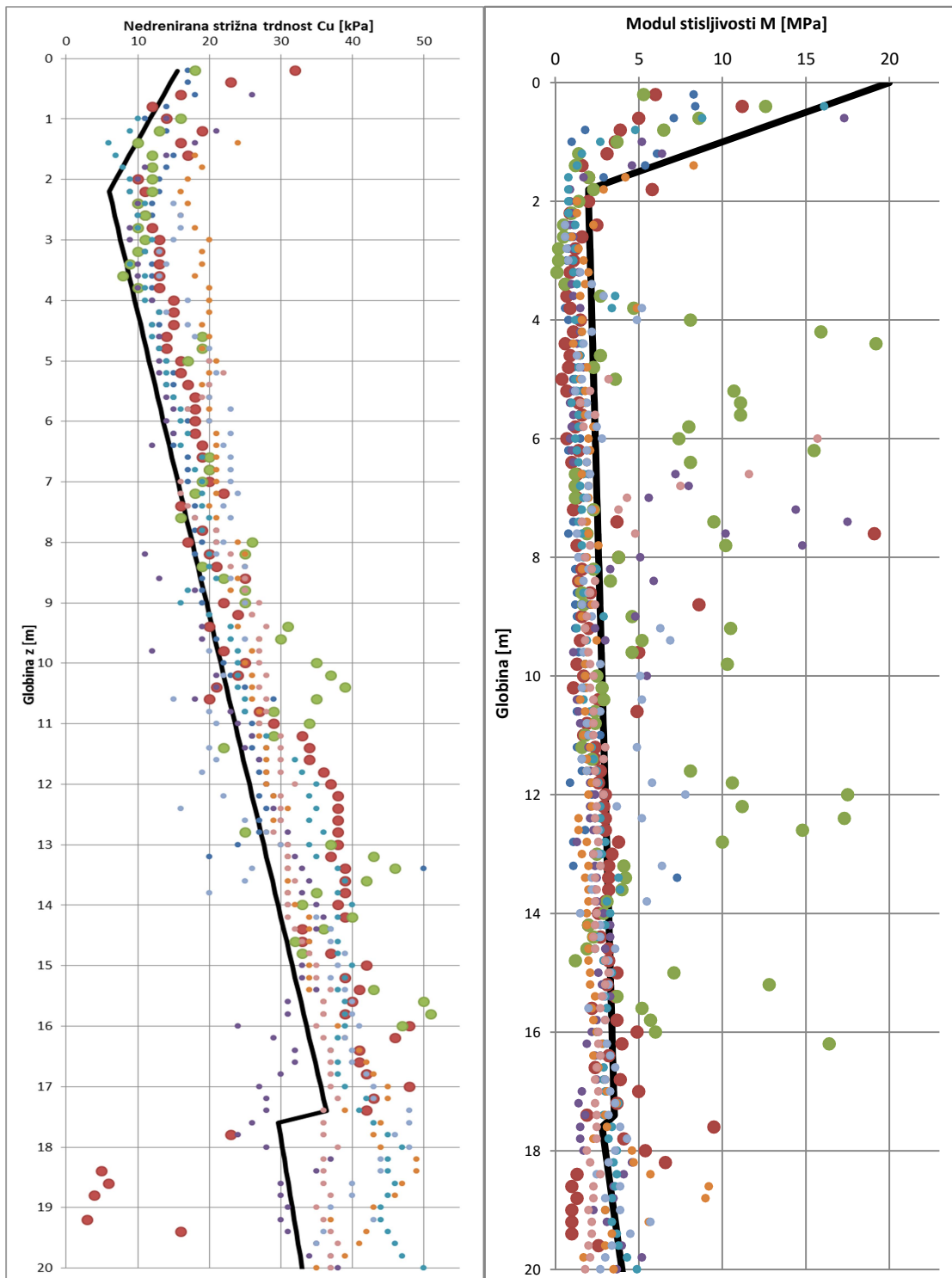
4.1 ANALIZA REZULTATOV PREISKAV

Podatki o temeljnih tleh (priloga 2) pod kaseto so dobljeni iz rezultatov osmih dilatometriških preiskav na območju pod kaseto in v okolici. Večina preiskav se začne pri $z = 0$, na koti terena, končajo pa pri različnih globinah, najgloblja pri 28,6 m. Dilatometer opravi meritve na vsakih 20 cm globine in nato s pomočjo priložene programske opreme interpretira rezultate teh meritev. Tako dobimo ocene prostorninske teže, efektivnih napetosti, pornih tlakov, strižnega kota, modula stisljivosti zemljine in nedrenirane strižne trdnosti na vsakih 20 cm globine za vsako vrtino [6].

V nadaljevanju naloge so potrebne karakteristične vrednosti prostorninske teže, modula stisljivosti in nedrenirane strižne trdnosti. V tem poglavju so prikazani tudi diagrami z rezultati meritev preiskav za te parametre v odvisnosti od globine. Različne barve točk predstavljajo rezultate iz posameznih vrtin, kot je prikazano v legendi na sliki 3. Debeleje so z zeleno in temno rdečo označeni rezultati preiskav »DMT1 voda 0_5m« in »DMT2 voda 0_5m«, ki sta bili izvedeni na mestu, predvidenem za gradnjo kasete.

Karakteristična vrednost nedrenirane strižne trdnosti (C_u) ni samo ena vrednost, ampak linearen potek, ki se spreminja z globino.

Glede na naklon naraščanja C_u z globino lahko temeljna tla razdelimo na tri sloje: V prvem sloju, ki sega od vrha do globine 2 m, je vrednost skoraj konstantna. V drugem sloju, ki sega do globine 17,5 m, imamo majhen raztros in vrednost kar strmo narašča, v tretjem sloju, ki sega do 20 m, pa je raztros rezultatov večji in strmina naraščanja manjša.



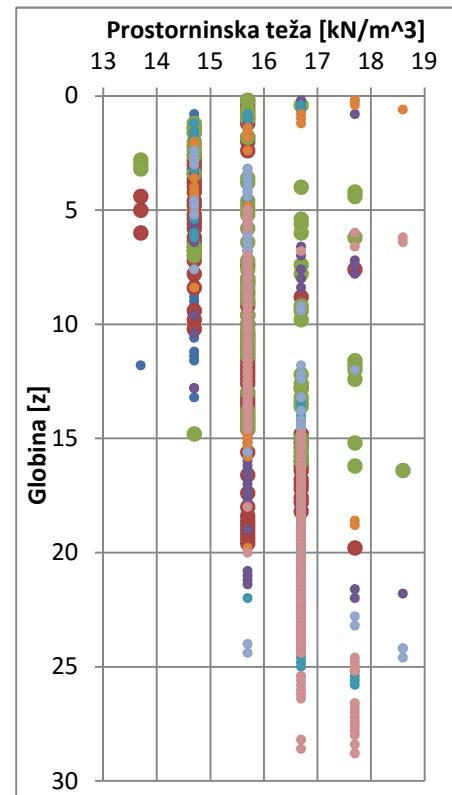
Slika 4: Diagrama nedrenirane strižne trdnosti in modula elastičnosti

- DMT-A1 ankaranska vpadnica
- DMT1 voda 0_5m
- DMT2_2004 voda 0_5m
- pentlja DMT1
- DMT/NC2
- DMT/NC3
- DMT2 voda 0_5m
- DMT/NC1

Slika 3: Legenda oznak diagramov

Regresijske premice, ki jih izračuna program Excel, potekajo vzporedno navidezному

trendu večine rezultatov. Za določanje karakteristične vrednosti je potrebno to premico še nekoliko zamakniti proti levi. Ta zamik lahko izračunamo tako, da enačbi regresijske premice odštejemo polovico standardne deviacije (Schneider). Na diagramu $Cu(z)$ na sliki 4 so ti rezultati za Schneiderjevo metodo prikazani s črno linijo. Modul stisljivosti (M) se tako kot nedrenirana strižna trdnost spreminja z globino, ker je odvisen od napetosti v zemljini. Zato je karakteristična vrednost določena na podoben način kot Cu . A ker je modul stisljivosti potreben za račun posedkov v mejnem stanju uporabnosti sem uporabila srednjo vrednosti, ki se ujema z regresijsko premico in bi morala dati rezultate čim bližje realnim. Priložen graf s točkami prikazuje rezultate meritev M po posameznih vrtinah.



Slika 5: Diagram prostorninske

Karakteristično vrednost prostorninske teže zemljine sem **teže**

računala na podlagi istih slojev kot Cu in M , le da je bilo tokrat precej bolj preprosto, ker sem predpostavila, da se prostorninska teža (γ) ne spreminja z globino. Rezultate iz dilatometriških preiskav sem primerjala tudi z laboratorijskimi, ki jih je sicer precej manj, a se z njimi dobro ujemajo.

Spodnja tabela predstavlja zbrane karakteristične vrednosti vseh parametrov, ki sem jih za račun v tej nalogi potrebovala (z je globina od vrhnje kote terena in ne od roba sloja).

Tabela 1: Karakteristične vrednosti lastnosti tal po slojih

z [m]	Cu_k [kPa]	γ_k $\left[\frac{kN}{m^3}\right]$	M_k [MPa]
0 – 2	$16,5 - 4,8 \cdot z$	16	$20 - 10 \cdot z$
4 – 17,5	$1,6 + 2,0 \cdot z$	16	$1,8 + 0,1 \cdot z$
17,5 – 20	$5 + 1,4 \cdot z$	17	$-6 + 0,5 \cdot z$

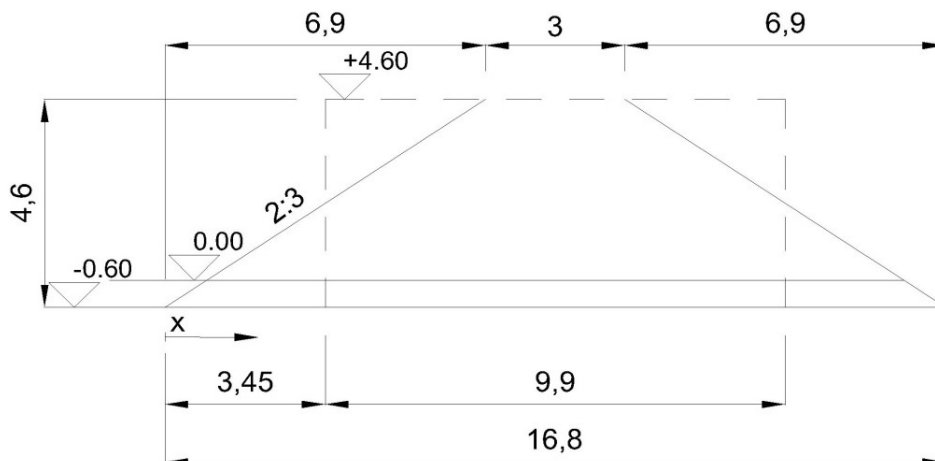
4.2 KONSOLIDACIJA

4.2.1 PRVA FAZA

Prva faza predstavlja stanje pred začetkom gradnje kasete. V tleh imamo samo prvotne napetosti, ki so enake $\sigma_v = \int_0^z \gamma(z) \cdot dz$.

4.2.2 DRUGA FAZA

V drugi fazi je nasip zgrajen do kote 4 m. Nasip predstavlja enakomerno razporejeno trakasto obtežbo na temeljnih tleh. Kota krone nasipa je določena neodvisno od nadmorske višine temeljnih tal. Zato se velikost obtežbe spreminja z nadmorsko višino. Največja obtežba je v prerezu s koto tal $-0,6$ m, kjer je višina nasipa enaka 4,6 m. V tem prerezu so tudi računani posedki. Načrtovane dimenzije prereza nasipa na tem mestu so take, kot jih prikazuje slika. [1]

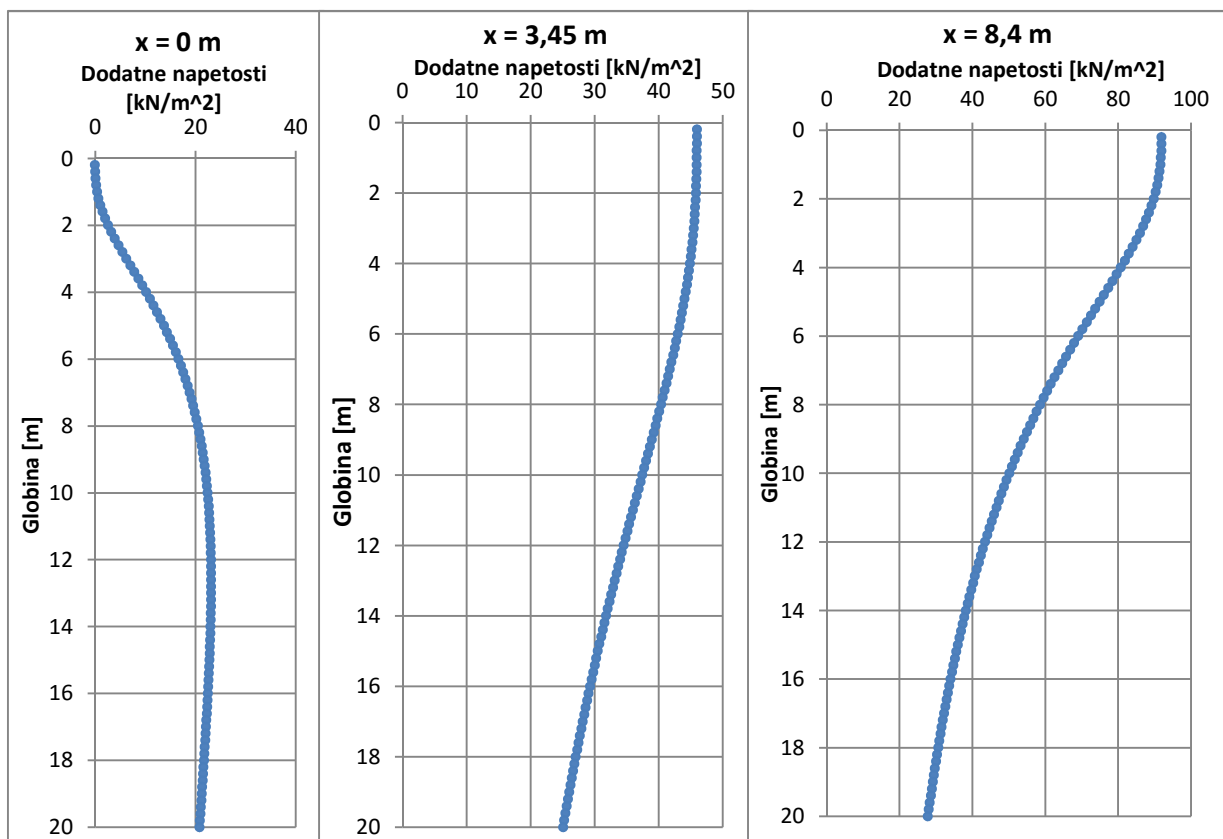


Slika 6: Prerez računskega modela nasipa

Za računski model sem vzela pravokoten prerez višine 4,6 m in širine 9,9 m, ki je na sliki 6 prikazan črtkano.

Tako dobimo obtežbo $q = 20 \frac{kN}{m^3} \cdot 4,6 m = 92 \frac{kN}{m^2}$. Pod to obtežbo računamo dodatne napetosti v treh točkah. Prva točka, v kateri je definirano izhodišče ordinatne osi ali $x = 0$, je na začetku dejanskega nasipa (kot prikazuje slika). Druga točka je pri $x = 3,45 m$ ali na robu računskega nasipa, tretja točka pa je v osi nasipa ali $x = 8,4 m$. Napetosti in posedki na drugi strani osi nasipa so enake tem, prezrcaljenim čez os. Napetosti so računane samo do

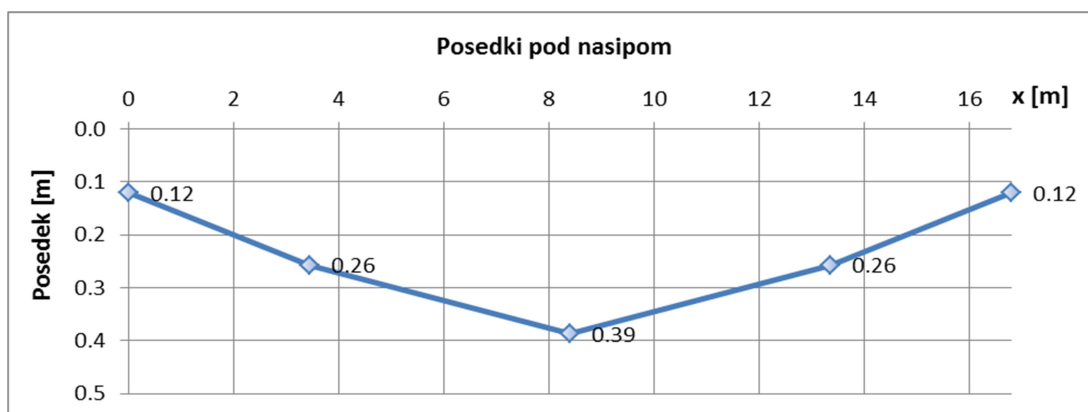
globine 20 m, ker iz rezultatov preiskav DMT1 in DMT2, ki sta izvedeni na lokaciji kasete, vidimo, da stisljiva tla segajo največ do te globine, saj preiskavi sami segata prva do globine 19,8 m, druga pa do 16,4 m. Rezultati izračunov dodatnih napetosti so prikazani v naslednjih diagramih:



Slika 7: Diagrami dodatnih napetosti pod nasipom

Količnike teh napetosti s pripadajočim modulom stisljivosti v vsaki točki integriramo po globini, tako da jih množimo z $dz = 0,20$ m in jih na koncu seštejemo.

Rezultati računa končnih posedkov pod nasipom so takšni:



Slika 8: Izračunani posedki pod nasipom

Tabela 2: Posedki pod nasipom

$x [m]$	0	3,45	8,4	13,35	16,8
$\rho [m]$	0,12	0,26	0,39	0,26	0,12

4.2.3 TRETJA FAZA

Tretja faza nastopi, ko je kasete napolnjena z bagranim materialom in se začnejo tla pod obtežbo posedati, hkrati pa voda iz materiala odteka in izhlapeva. Material bo odlagan do nadmorske višine 3,0 m, kota dna kasete pa se bo gibala med – 0,3 m in 0,3 m n. v. V tehničnem poročilu za kaseto sem za bagrani material dobila naslednje podatke: $\gamma = 12 \frac{kN}{m^3}$, $\varphi_k = 0^\circ$ in $c_k = 0 kPa$ v nekonsolidiranem stanju in $\gamma = 16 \frac{kN}{m^3}$, $\varphi_k = 17^\circ$, $c_k = 2 kPa$ v konsolidiranem stanju [1].

Ko voda odteka in se material konsolidira, se kasete polni z dodatnim materialom, dokler ne pride do stanja, ko je kasete do vrhnje kote napolnjena s konsolidiranim materialom. Ker je s stališča posedkov najbolj zanimivo končno stanje (največji posedki), za računsko obtežbo vzamemo podatke za konsolidiran material. Ker je največja debelina bagranega materiala 3,3 m, je obtežba na tla kasete enaka: $q = 3,3 m \cdot 16 \frac{kN}{m^3} = 52,8 \frac{kN}{m^2}$. V tem delu računa sem uporabila enak potek modulov stisljivosti kot pri računu posedkov pod nasipom in tudi tokrat upoštevala, da mehka tla segajo največ do globine 20 m.

Dobljeni posedki po posameznih slojih in skupaj so:

Tabela 3: Posedki pod napolnjeno kaseto

$\rho_1 [m] =$	0,010
$\rho_2 [m] =$	0,26
$\rho_3 [m] =$	0,039
$\sum \rho [m] =$	0,31

4.3 GLOBALNA STABILNOST

Po PP3 [6] so projektne vrednosti, potrebne za izračun globalne stabilnosti kasete, naslednje:

Temeljna tla:

Tabela 4: Projektne vrednosti lastnosti tal

z [m]	Cu_d [kPa]	γ_d $\left[\frac{kN}{m^3}\right]$
0 - 2	$11,8 - 3,4 \cdot z$	16
4 - 17,5	$1,1 + 1,4 \cdot z$	16
17,5 - 20	$1 + 3,6 \cdot z$	17

Nasip:

$$\gamma_d = 20 \frac{kN}{m^3}$$

$$c_d = 1,6 \text{ kPa}$$

$$\varphi_d = 23^\circ$$

Nekonsolidiran bagrani material:

$$\gamma_d = 12 \frac{kN}{m^3}$$

$$c_d = 0 \text{ kPa}$$

$$\varphi_d = 0^\circ$$

Konsolidiran bagrani material:

$$\gamma_d = 16 \frac{kN}{m^3}$$

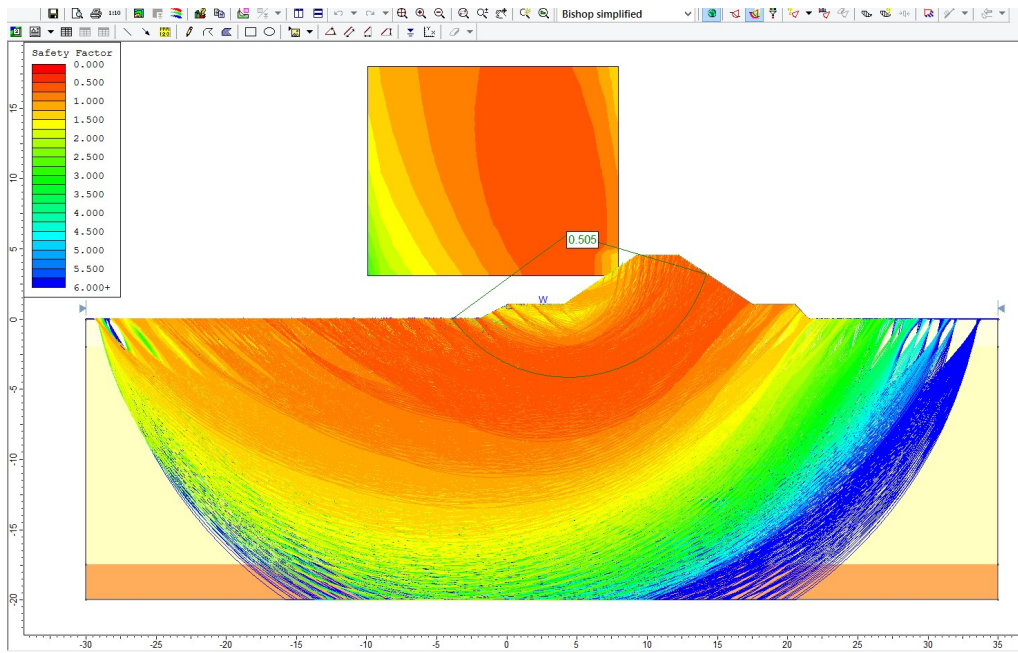
$$c_d = 1,6 \text{ kPa}$$

$$\varphi_d = 13,7^\circ$$

Program Rocscience Slide po posameznih fazah življenjske dobe kasete z uporabo poenostavljene Bishopove metode, da naslednje rezultate.

4.3.1 DRUGA FAZA

Računalniški model za račun globalne stabilnosti v drugi fazi je sestavljen iz nasipa v prerezu, kjer je najvišji (4,6 m), razširjenega s 3 m široko bermo na višini 1 m in iz tal z izračunanimi projektnimi vrednostmi lastnosti. Dimenzije nasipa so povzete po načrtu iz projektne dokumentacije za gradnjo kasete [1].

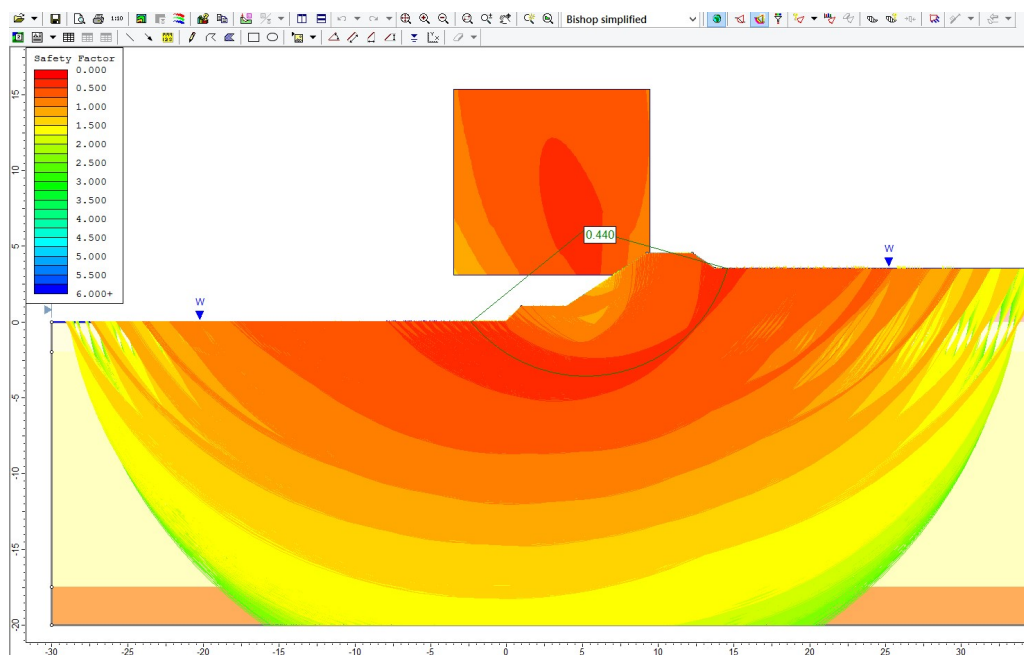


Slika 9: Globalna stabilnost v drugi fazi

S temi vhodnimi podatki je dobljena vrednost za varnost 0,505, ki je zdaleč prenizka.

4.3.2 TRETJA FAZA

V tretji fazi računskemu modelu iz druge faze dodamo še 3,3 m visok sloj bagranega materiala s karakteristikami konsolidiranega stanja. Varnost kritične drsine se še rahlo zmanjša (0,440).



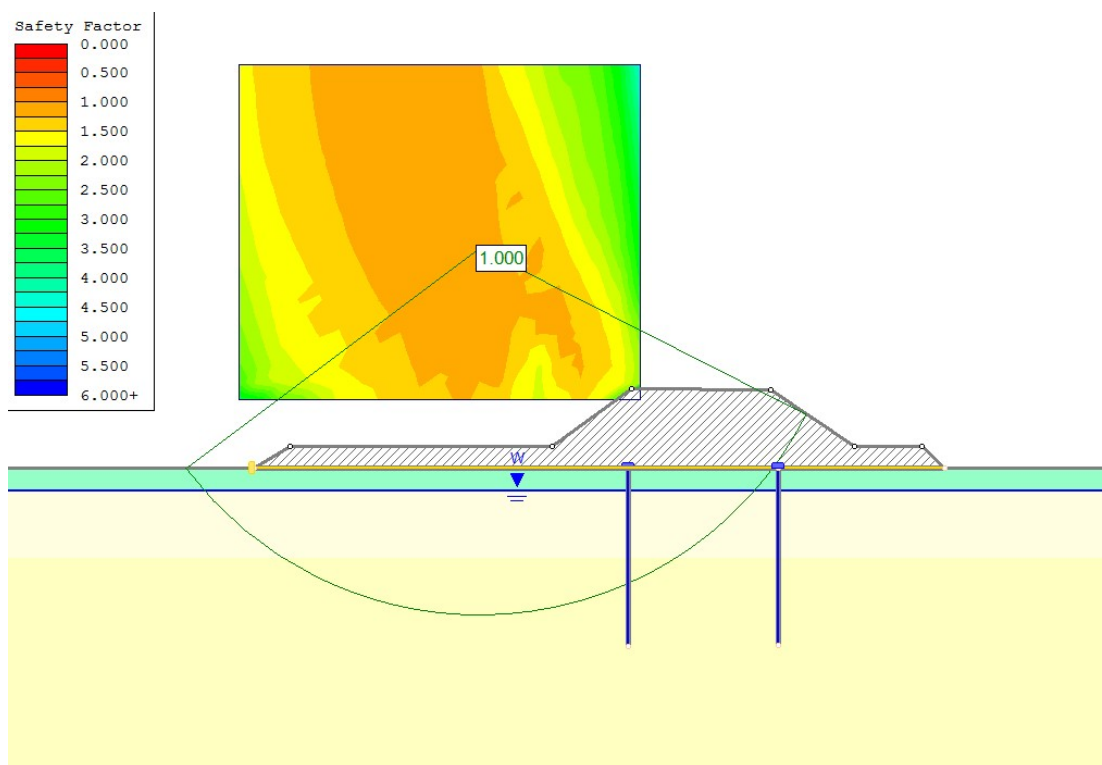
Slika 10: Globalna stabilnost v tretji fazi

4.4 UKREPI ZA POVEČANJE VARNOSTI

Iz analize, opravljene v nalogi, je razvidno, da so posedki zelo blizu predvidenim, problem pa je globalna stabilnost objekta, tako v času gradnje kot tudi uporabe. Če bi želeli zgraditi tako kaseto na teh tleh, bi morali uporabiti nekaj dodatnih ukrepov za povečanje varnosti.

Najpreprostejši od teh ukrepov bi bila postopna gradnja, kot je predlagano tudi v Geološko – geomehanskem poročilu o sondažnih raziskavah, natančneje, da bi nasip gradili po korakih po en meter, vmes pa delo za 50 dni prekinili. Druge možnosti vključujejo podaljšanje spodnje berme, uporabo geosintetikov in uporabo lesenih pilotov. V spodnji rešitvi so uporabljeni vsi naštetni ukrepi razen prvega in varnost komaj preseže 1:

- Piloti, strižna trdnost 40 kN, globina 8 m, na vsak tekoči meter nasipa,
- geomreža, natezna trdnost 40 kN/m, trdnost stika s podlago 5 kN/m², strižni kot trdnosti stika s podlago 30°, pod celotnim nasipom,
- Berma podaljšana iz 1 na 12 m.



Slika 11: Primer rešitve s podaljšano bermo, geosintetikom in piloti

5 ZAKLJUČEK

V nalogi je obdelan problem stabilnosti kasete za odlaganje bagranega materiala v Luki Koper. Problem je težaven, ker so tla v Ankaranski Bonifiki, kjer se kasete nahajajo, zelo slabo nosilna.

Podatki za izračune izhajajo iz dilatometriških preiskav na parceli in v okolici ter iz laboratorijskih preiskav, narejenih v geotehničnem laboratoriju FGG na vzorcih, vzetih iz vrtin na parceli. Karakteristične vrednosti mehanskih lastnosti tal so dobljene iz teh meritev po Schneiderjevi metodi.

V življenjskem ciklu objekta so tri faze, ki so računsko posebej pomembne: Prva faza predstavlja obstoječe stanje (stanje pred začetkom gradnje), druga faza izdelavo nasipov, tretja pa zapolnitev kasete z bagranim materialom. Izračunana je pričakovana velikost posedkov pod nasipom in pod bagranim materialom v napolnjeni kaseti. Za drugo in tretjo fazo je izračunana globalna stabilnost po poenostavljeni Bishopovi metodi s pomočjo programa Rocscience Slide. Izračunana globalna stabilnost je zelo nizka v obeh obravnavanih fazah (okoli 0,5, zahtevana je 1,0).

Pokaže se, da je potrebno uvesti več dodatnih varnostnih ukrepov hkrati, če želimo doseči predpisano varnost, 1,0. Kot primer sem uporabila geosintetik pod nasipom, lesene pilote in podaljšano spodnjo bermo.

6 VIRI

- [1] Lovrenčič, E., Likar, A., 2013. Izdelava projektne dokumentacije PGD in PZI za gradnjo kasete za odlaganje izkopanega materiala na vzhodnem delu parcele 799/29 k. o. Ankaran. Ljubljana, Geoportal d. o. o.: loč. pag.
- [2] Bond, A. J., Schuppener, B. 2013. Eurocode 7: Geotechnical Design Worked examples. Ispra, European Commission <https://ec.europa.eu/jrc/sites/default/files/lbna26227enn.pdf> (Pridobljeno 28. 6. 2015).
- [3] Frank, R., Bauduin, C. 2004. Designers' Guide to EN 1997-1 Eurocode 7: Geotechnical Design - General Rules. London, Thomas Telford, Ltd.: str. 24 – 58.
- [4] Pulko, B. Gradivo za vaje pri predmetu Mehanika tal in inženirska geologija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani FGG: loč. pag.
- [5] Beg, D., Pogačnik, A. 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: str. 7-13 – 7-129.
- [6] Žigman, F., Žigman Voljič, U. 2012. Geološko – geomehansko poročilo o sondažnih raziskavah na območju Ankaranske Bonifike. Ljubljana, Econo d. o. o.: loč. pag.

STANDARDI

- SIST EN 1997. 2.4.5.2 - Karakteristične vrednosti geotehničnih parametrov.
SIST EN 1997. 12.2 - Mejna stanja.